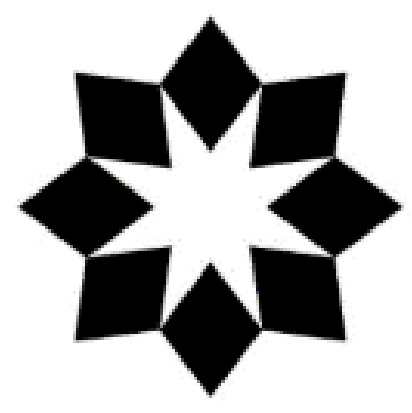




Juan Carlos Goñi

Máquinas, instrumentos y procesos de manufactura

UNIVERSIDAD DE LIMA • FONDO DE DESARROLLO EDITORIAL



UNIVERSIDAD
DE LIMA

Texto digitalizado con fines educativos y de preservación de la memoria académica, científica y cultural de la Universidad de Lima en el marco de la adaptación a la educación virtual.

Lima, diciembre de 2021

38

260

Máquinas, instrumentos y procesos de manufactura

Juan Carlos Goñi

Juan Carlos Goñi

Máquinas, instrumentos y procesos de manufactura

**Universidad de Lima
Fondo de Desarrollo Editorial
2000**



Colección Textos Universitarios
Primera edición 2000
Primera reimpresión 2004

122035

© Fondo de Desarrollo Editorial
Universidad de Lima
Av. Manuel Olgún 125,
Urb. Los Granados, Lima 33
Apartado postal 852, Lima 100, Perú
Teléfono 437-6767, anexos 30130, 30131
Fax 435-3396
fondo_ed@ulima.edu.pe
<http://www.ulima.edu.pe>

Diseño y edición: Fondo de Desarrollo Editorial

Impreso en el Perú

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro por cualquier medio sin permiso expreso del Fondo de Desarrollo Editorial.

ISBN 9972-45-091-0

Hecho el depósito legal 1501402004-1101

*A mi esposa Rosi, y
a mis hijos Christian y Rai*

Índice

Presentación	13
Capítulo I	
GENERALIDADES	15
1. Hidrostática	17
1.1 Presión. Presión absoluta. Presión atmosférica. Presión relativa. Presión de vacío. Presión total, estática y de velocidad. Equivalencias	17
1.2 Principio de Pascal. Empuje sobre las paredes. Principio de Torricelli. Principio de Arquímedes. Peso específico y densidad. Gravedad específica	21
2. Hidrodinámica	26
2.1 Caudal. Flujo de masa. Ecuación de continuidad. Ecuación de Bernoulli. Altura de pérdidas. Factor de Moody y de Fanning. Número de Reynolds. Flujo laminar, transitorio y turbulento. Diagrama de Moody	26
2.2 Medidores de caudal. Medidor tipo orificio. Tobera. Rotámetro. Tubo Venturi o venturímetro. Tubo Pitot. Contómetro. Coeficiente de estrechamiento, coeficiente de reducción de velocidad. Coeficiente de descarga	32
3. Problemas de aplicación y principio de funcionamiento de la prensa hidráulica	39
Capítulo II	
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN, CONTROL Y VERIFICACIÓN	47
1. Fundamento teórico	49
1.1 Vernier o pie de rey. Partes, lectura y precisión	50
1.2 Micrómetro o pálmer. Partes, lectura y precisión	52
1.3 Otros instrumentos de medición. Goniómetro. Profundímetro. Reloj comparador	53
1.4 Instrumentos de control. Medidores de presión. Medidores de temperatura. Medidores de potencia	56
1.5 Instrumentos de verificación. Escuadras y reglas. Calibradores <i>gauge</i> o galgas. Piedra mármol y azul de Prusia	62
2. Problemas de aplicación	66

Capítulo III**TEORÍA DE BANCO**

	79
1. Útiles de trabajo	81
1.1 Herramientas varias. Alicates, destornilladores, llaves, compases, martillos. Otras herramientas	82
1.2 Tornillos de trabajo. Tornillo de banco. Tornillo de máquina	91
1.3 Limas. Partes de la lima. Clasificación de las limas	92
1.4 Sierra de arco manual. Hojas de sierra	94
1.5 Brocas. Tipos de broca	97
1.6 Herramientas de roscar. Machos de roscar. Terraaja para roscar ejes	98
1.7 Fabricación manual de roscas. Fabricación de la rosca interior. Fabricación de la rosca exterior	101
2. Problemas de aplicación	107

Capítulo IV**EL TORNO**

	111
1. Concepto	113
1.1 Superficies de revolución comunes en el torneado	114
1.2 Partes del torno paralelo	117
1.3 Procedimientos de torneado	119
1.4 Tipos de torno. Torno paralelo. Torno revólver	125
1.5 Cuchilla de corte. Cualidades	129
1.6 Tipo de materiales	130
1.7 Partes de una cuchilla. Ángulo de incidencia, filo y ataque. Ajuste del útil del torno	132
1.8 Espesor de la viruta. Ángulo de posición. Fuerza de corte y potencia	135
1.9 Movimientos de trabajo del torno. Movimiento principal. Velocidad de corte y velocidad de giro del husillo del torno	138
1.10 Movimiento de avance. Valores referenciales del avance. Recomendaciones	141
1.11 Movimiento de profundidad de pasada. Recomendaciones	144
1.12 Tiempo total de maquinado	145
2. Problemas de trabajo en el torno	146

Capítulo V**LA FRESADORA**

	163
1. Introducción	165
1.1 Fresado. Partes de la fresadora	166
1.2 Formas de fresado y tipos de fresadora	167
1.3 Tipos de herramienta o fresa. Fresas tipo roseta. Fresas de vástago	173
1.4 Fresas más comunes y su utilidad	173

1.5	Movimientos de trabajo en la fresadora	178
1.6	Tallado de engranajes. Generalidades de las ruedas de dientes. Nomenclatura de engranajes de dientes rectos. Módulo, sistema de transmisión por engranajes	188
2.	Problemas de aplicación en el fresado	201

Capítulo VI

OTRAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS		213
1.	La limadora o cepillo de codo	215
1.1	Partes de una limadora o cepillo de codo	217
1.2	Longitud de carrera y velocidad de corte	218
2.	La rectificadora	220
2.1	Tipos de rectificadora	220
2.2	Operaciones realizadas en una rectificadora	221
3.	La taladradora	222
3.1	Partes de un taladro	223
3.2	Operaciones con el taladro de columna	224
3.3	Movimientos de trabajo del taladrado	227
3.4	Tiempo de taladrado	227
4.	Problemas de aplicación	228

Capítulo VII

ALEACIONES HIERRO-CARBONO		235
1.	Introducción	237
1.1	Acero. Propiedades del hierro. Estructura atómica del hierro	237
2.	Nomenclatura SAE de los aceros	239
2.1	Designación de algunos aceros según las normas DIN	243
2.2	Constituyentes o componentes estructurales de las aleaciones hierro-carbono	244
3.	Producción de hierro y acero	247
3.1	Producción de hierro. Minerales. Producción de lingote. Preparación previa de los minerales	248
3.2	El alto horno y los hornos de refinación del acero. Carga del alto horno. Los hornos de refinación. El horno de oxígeno	252
4.	Clasificación de los aceros	257
4.1	Clasificación de los aceros atendiendo a su procedimiento de fabricación	257
4.2	Clasificación de los aceros según su porcentaje de carbono Clasificación de las fundiciones: blanca, gris	258
4.3	Diagrama de las aleaciones hierro-carbono Temperatura-porcentaje de carbono	259
4.4	Tratamientos térmicos de las aleaciones hierro-carbono. Recocido. Normalizado. Templado en agua, en aceite, hielo, salmuera. Revenido. Diagrama temperatura-tiempo de los tratamientos térmicos	261

4.5	Corrosión y oxidación. Propiedades tecnológicas.	
	Propiedades mecánicas	266
4.6	Durómetros: Rockwell, Brinell, Shore, Vickers. Tabla de escalas de dureza	267
5.	Descripción de algunos aceros comerciales	276
5.1	Acero de transmisión. Características. Aplicaciones	276
5.2	Acero aleado al cromo níquel molibdeno. Características. Aplicaciones. Profundidad de pasada, avance y velocidad de corte en el torneado con pastillas carburadas	277
5.3	Acero aleado para cementación. Características. Aplicaciones	278
6.	Preguntas sobre aceros y materiales	279

Capítulo VIII

LA SOLDADURA

1.	Soldadura de metales	285
1.1	Elementos de una unión soldada. Simbología de los cordones de soldadura	286
2.	Soldadura de materiales	289
2.1	Características de soldadura. Metalurgia de algunos materiales de aleación. Temperatura de fusión de algunos metales. Procedimientos de soldadura de materiales	289
3.	Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido	291
3.1	Electrodos eléctricos revestidos. Funciones del revestimiento de un electrodo eléctrico. Sistema AWS de electrodos eléctricos revestidos	292
4.	Soldadura oxiacetilénica	297
4.1	Soldadura mediante gases	297
5.	Soldadura a presión	300
5.1	Soldadura a presión, con resistencia eléctrica por puntos	300
6.	Soldadura TIG	300
7.	Soldadura MIG-MAG	302
8.	Soldadura blanda y soldadura fuerte	304
8.1	Soldadura blanda	304
8.2	Soldadura fuerte. Soldadura de plata. Soldadura de cobre y aleaciones. Soldadura resistente al calor	305
9.	Precalentamiento de los aceros en soldadura. Carbono equivalente	306
9.1	Precalentamiento de los aceros en soldadura	306
9.2	Carbono equivalente	309
10.	Problemas de aplicación	310

Bibliografía

315

Simbología

317

Presentación

El presente trabajo tiene como objetivo fundamental lograr que las personas interesadas en el campo de la tecnología, en especial estudiantes y profesionales de la ingeniería, encuentren una respuesta que combine lo científico con lo práctico ante cualquier interrogante acerca de las máquinas y equipos.

El contenido de este libro se puede definir como un compendio de los temas más importantes vinculados con la fabricación de herramientas y piezas mecánicas.

Dividido en ocho capítulos *Máquinas, instrumentos y procesos de manufactura* brinda, en su capítulo inicial, conceptos básicos de la hidrostática y la hidrodinámica, precisando el significado de términos como presión y caudal entre otros. Asimismo se trata el principio de funcionamiento de la prensa hidráulica, basado en las leyes de Pascal.

En el segundo capítulo se estudian los instrumentos de medición, control y verificación que existen en toda empresa. Se miden la presión y temperatura; se controlan las velocidades, caudales y, sobre todo, se verifican las geometrías y composición del material para asegurar la buena calidad de un proceso. Esto se complementa con la denominada teoría de banco (capítulo III); representada por las herramientas de taller que se requieren para el montaje y desmontaje de las máquinas y equipos, así como para la creación y fabricación de partes, accesorios y repuestos (alicates, llaves, martillos, tornillos, limas, sierra, brocas, machos de roscar, entre otros).

Los capítulos IV, V y VI están dedicados al estudio de las principales máquinas-herramientas. Así, en los dos primeros se examinan con más profundidad el torno y la fresadora como equipos claves para la fabricación de partes y piezas, mientras que el sexto capítulo se circunscribe a la descripción de otras herramientas (limadora o cepillo, rectificadora y taladro de columna).

En el capítulo VII se presentan las principales aleaciones de hierro-carbono. Se estudian las propiedades del hierro; la designación de algunos aceros según las normas DIN; los componentes estructurales de las aleaciones hierro-carbono; la producción de hierro y acero, y la clasificación de los aceros, según el procedimiento de fabricación y el porcentaje de carbono utilizado.

El último capítulo se ocupa de la soldadura de metales y materiales, sus características y diferentes formas. De la misma manera que en los otros capítulos al final de éste se presentan ejercicios y problemas de aplicación.

El último capítulo se ocupa de la soldadura de metales y materiales, sus características y diferentes formas. De la misma manera que en los otros capítulos al final de éste se presentan ejercicios y problemas de aplicación.

En la elaboración de este libro contribuyeron con sus sugerencias, información técnica y estímulo tanto estudiantes como profesores de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima. A todos ellos expreso mi agradecimiento.

Juan Carlos Goñi

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Para poder comprender el principio de accionamiento y funcionamiento de las herramientas, máquinas y accesorios, es necesario conocer los fundamentos básicos de las propiedades de los materiales, ya sean líquidos, sólidos o gaseosos. En este capítulo se trata la hidrostática, para precisar las diferentes modalidades de indicación de presión. También se incluirá la hidrodinámica, para poder manejar los criterios de flujo de masa, continuidad y pérdida de presión en tuberías. Al tratar los medidores de caudal, se podrá seleccionar el dispositivo adecuado, según sea necesario medir volúmenes, o flujos o también velocidades de flujo.

1. HIDROSTÁTICA

La hidrostática es la ciencia que estudia los fluidos en reposo. A diferencia de los sólidos, cuando un fluido actúa sobre las paredes de un recipiente, lo hace a la misma presión en todas direcciones. Así mismo, de acuerdo con la profundidad, el líquido irá aumentando su presión sobre las paredes. Y si un cuerpo sólido ocupa parte de su volumen, el fluido tenderá a empujarlo hacia arriba. Todos estos principios serán tratados en este subcapítulo.

1.1 Presión. Presión absoluta. Presión atmosférica. Presión relativa. Presión de vacío. Presión total, estática y de velocidad. Equivalencias

Presión

En hidrostática, la presión es la relación entre fuerza y área. Esta propiedad permite estudiar las leyes de los líquidos. Sin embargo, este concepto es válido también para los sólidos y los gases. Así se tiene:

$$P = \frac{F}{A}$$

donde:

P	presión del líquido
F	fuerza actuante sobre un área determinada
A	área o superficie que acciona el fluido

La figura 1 ilustra el concepto de fuerza igual a presión por área.

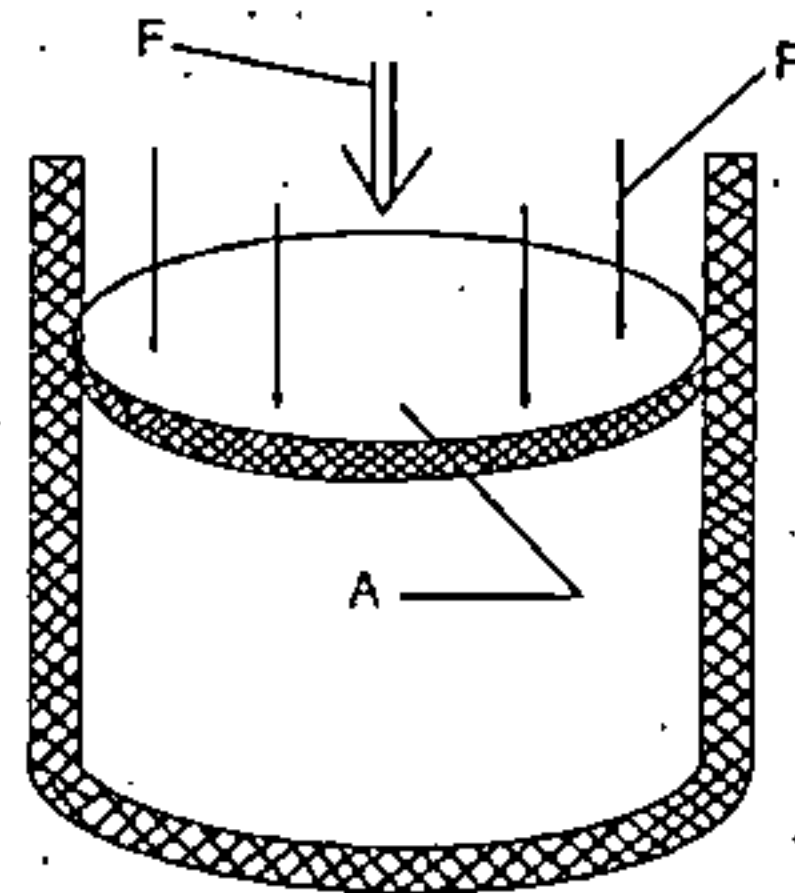


Figura 1. Cilindro de fuerza, área y presión.
F es fuerza, A es área, P es presión.

Presión absoluta

La presión absoluta es la presión que puede ser medida con el barómetro y un manómetro juntos. Se utiliza en las fórmulas y cálculos en general. Su medición con manómetros sólo es posible en forma indirecta.

$$P_a = P_{atm} + P_m$$

donde:

P_a	presión absoluta
P_{atm}	presión ambiente o atmosférica
P_m	presión manométrica

Presión atmosférica

La presión atmosférica es la presión del medio ambiente. Esta presión se mide con el barómetro. A nivel del mar su valor es aproximadamente 1 bar y a 4.000msnm es de aproximadamente 0,6 bar. Se la puede expresar como P_{atm} , P_{amb} , p_{atm} o p_{amb} , de acuerdo al caso.

A continuación se muestra una tabla que indica la presión del medio ambiente de acuerdo con la altura en metros sobre el nivel del mar.

Altitud msnm	Presión atmosférica		
	bar	PSI	MmHg
0	1,012	14,71	760
100	1,006	14,62	756
200	0,993	14,43	746
300	0,981	14,25	737
400	0,970	14,09	728
500	0,956	13,89	718
600	0,941	13,67	707
700	0,934	13,57	701
800	0,922	13,40	692
900	0,905	13,15	680
1000	0,901	13,09	677
1500	0,839	12,19	630
2000	0,798	11,59	599
2500	0,738	10,72	554
3000	0,693	10,07	520
3500	0,650	9,44	488
4000	0,625	9,08	469
4500	0,573	8,33	430
5000	0,544	7,90	409
5500	0,509	7,40	382
6000	0,474	6,89	356
6500	0,443	6,44	333
7000	0,413	6,00	310
7500	0,386	5,61	290
8000	0,358	5,20	269
8500	0,333	4,84	250

Tabla 1. Tabla de presión atmosférica en función de la altura sobre el nivel del mar (msnm: metros sobre el nivel del mar, PSI: lb/pulg²).

La equivalencia de unidades de la presión ambiente al nivel del mar, 0 metros sobre el nivel del mar (0msnm) es la siguiente:

P_{atm}	$\approx 1,012\text{bar}$	$=14,70\text{PSI}$	$=10,33\text{m de agua}$
1bar	$= 1,01972\text{kg/cm}^2$	$=750,062\text{Torr}$	
	$= 750,062\text{mmHg}$	$= 0,9869\text{atm}$	
	$= 2088,55\text{lb/pie}^2$	$=14,50\text{PSI}$	$=14,50\text{lb/pulg}^2$
1atm	$= 1,01325\text{bar}$	$=1,033\text{kg/cm}^2$	$= 760\text{Torr}$
	$= 760\text{mmHg}$	$=2116,22\text{lb/pie}^2$	$= 14,696\text{PSI}$
	$= 14,696\text{lb/pulg}^2$		

Presión relativa

La presión relativa o manométrica es la presión que se obtiene con instrumentos de control o manómetros de medición de los sistemas, instalaciones y equipos. Su valor se obtiene sin considerar la presión atmosférica; es decir, es la presión absoluta menos la presión atmosférica.

La presión manométrica es:

$$P_m = P_a - P_{atm}$$

donde: P_m presión relativa o manométrica (P_m o P_{rel})
 P_a presión absoluta (P_a o P)
 P_{atm} presión ambiente o atmosférica

Presión de vacío

Es la presión por debajo de la presión del medio ambiente. La presión de vacío absoluto siempre será positiva, es decir, $P_{va} > 0$. La presión de vacío manométrica o relativa podrá ser negativa, pero hasta el límite del cero de presión absoluta, es decir:

$$P_{vm} > -P_{atm}$$

En general:

$$0 < P_{va} < P_{atm}$$

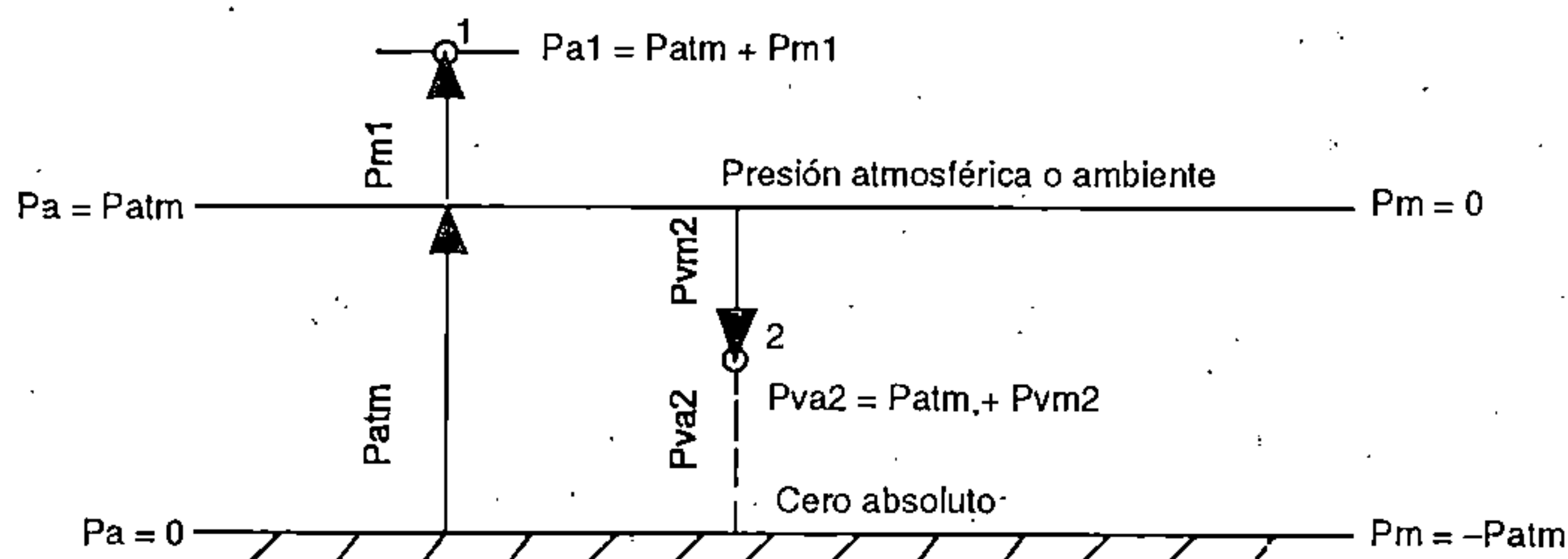
$$-P_{atm} < P_{vm} < 0$$

donde:

P_{va} presión de vacío absoluto

P_{vm} presión de vacío relativo

El siguiente esquema ilustra las presiones absolutas y relativas, tanto atmosféricas (0), como también de sobrepresión (1) y presión de vacío (2).



Esquema 1: Esquema de presiones relativas y absolutas con respecto a la presión atmosférica o ambiente y con respecto al cero absoluto. P_a presión absoluta, P_m presión manométrica, P_{va} presión de vacío absoluta, P_{vm} presión de vacío manométrica.

1.2 Principio de Pascal. Empuje sobre las paredes. Principio de Torricelli. Principio de Arquímedes. Peso específico y densidad. Gravedad específica

Principio de Pascal

El principio o ley de Pascal enuncia que la presión ejercida en un punto de una masa líquida se transmite por igual en todas las direcciones. Si se comprime el pistón de la figura 2 con una cierta fuerza F , sabemos que la presión P ejercida en el líquido en todas direcciones será igual al valor de la fuerza entre la superficie de la cara del pistón A . Es decir $P = F / A$.

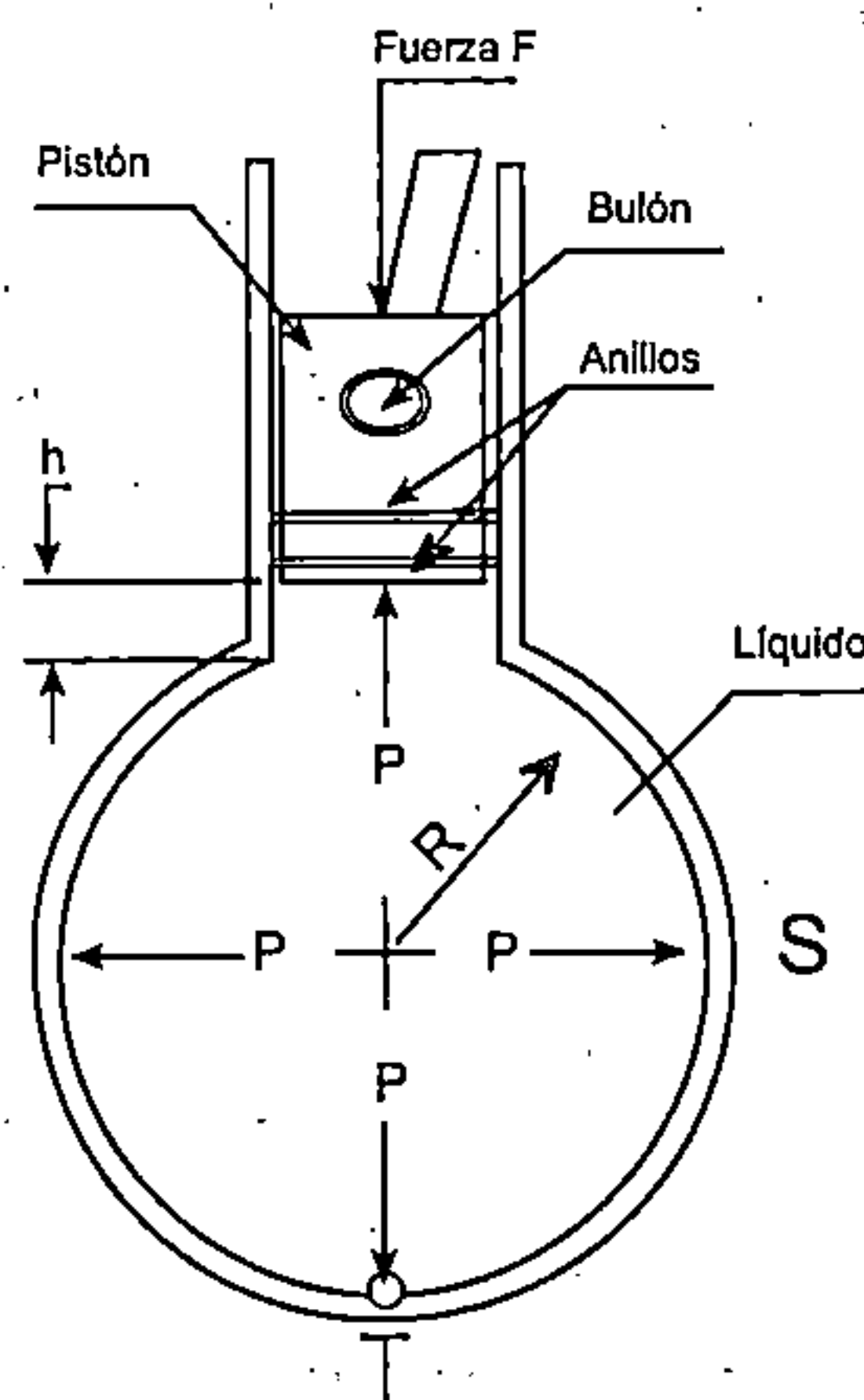


Figura 2. Sistema cámara pistón mostrando el principio de Pascal de la distribución de presiones iguales en todas direcciones para un mismo nivel de altura.

Si el pistón y el sistema están en posición horizontal, entonces la presión en los puntos T y S será exactamente el valor P .

Si el sistema de la figura 2 se encuentra en posición vertical, entonces, las presiones en los puntos T y S estarán afectadas por la columna de líquido. Considerando agua con un peso específico γ_{agua} y una densidad ρ_{agua} se obtienen las presiones absolutas y manométricas de los puntos T y S .

Las presiones manométricas son:

$$P_T = P + \rho_{\text{agua}} \cdot g (2R + h) \quad \text{siendo } (2R + h) \text{ la columna de agua}$$

$$P_S = P + \rho_{\text{agua}} \cdot g (R + h) \quad \text{siendo } (R + h) \text{ la columna de agua}$$

Las presiones absolutas P_a son:

$$P_{aT} = P_{atm} + P_T = P_{atm} + P + \rho_{agua} (2R + h)$$

$$P_{aS} = P_{atm} + P_S = P_{atm} + P + \rho_{agua} (R + h)$$

Podemos observar que a falta de fuerza F ($F=0$), entonces la presión P no existirá ($P=0$), por lo tanto, las presiones absolutas serán:

$$P_{aT} = P_{atm} + \rho_{agua} (2R + h)$$

$$P_{aS} = P_{atm} + \rho_{agua} (R + h)$$

Empuje sobre las paredes

Una columna de líquido con su superficie superior libre actúa en su superficie inferior con una presión que corresponde al peso de su columna entre el área figurada. Así se tiene:

$$p = \frac{dA \cdot h \cdot \gamma}{dA} = h \gamma$$

donde:

- $dA \cdot h$ es el volumen de la columna de líquido
- h la profundidad calculada
- γ peso específico del líquido

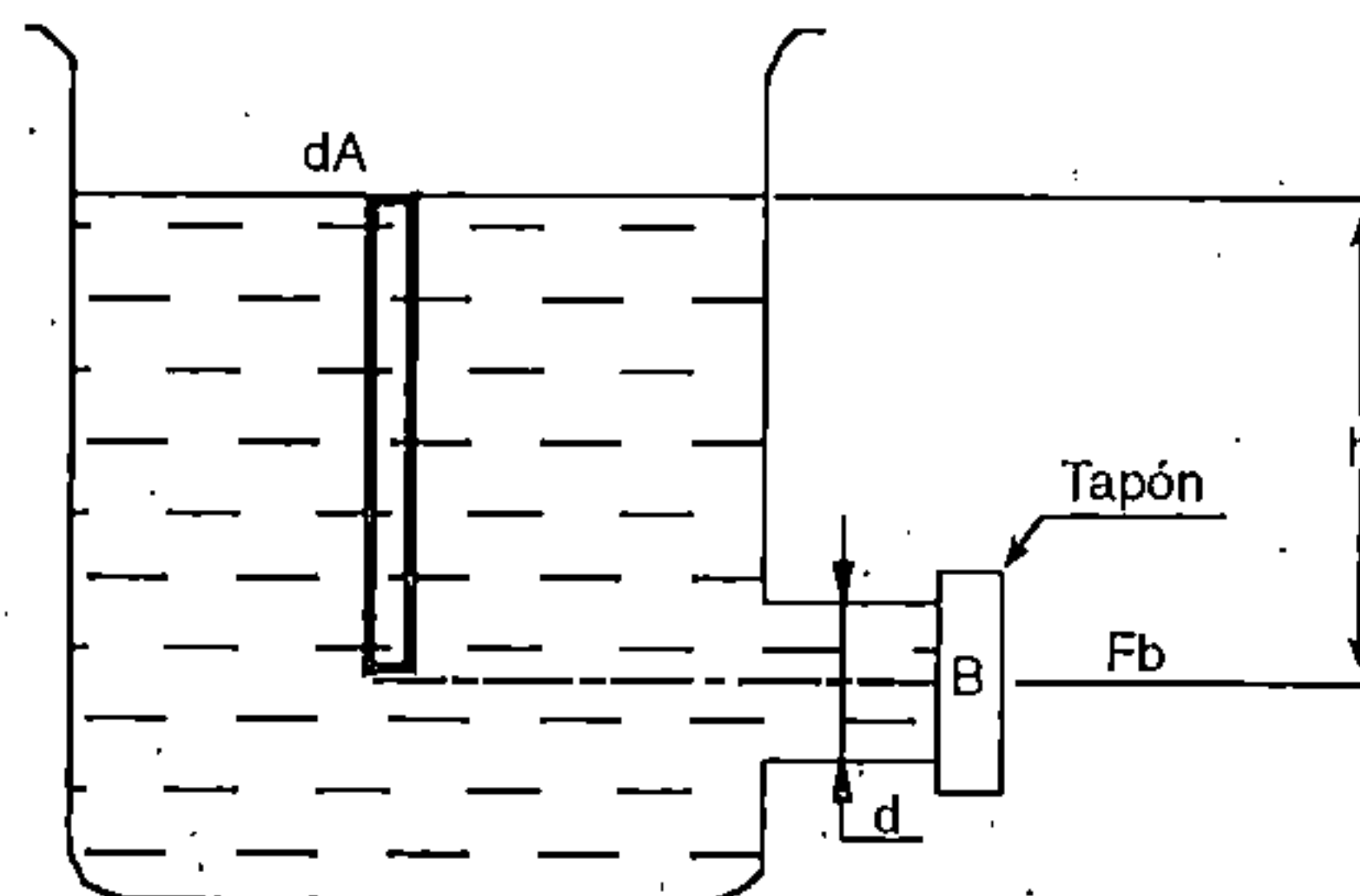


Figura 3. El recipiente de superficie libre muestra el empuje sobre la pared del tapón B a la altura h .

De la figura 3 se puede observar la fuerza de empuje horizontal F_b del líquido sobre el tapón circular de diámetro d , que resulta ser aproximadamente la presión a altura media del tapón B ($p = h\gamma$) por el área.

La fuerza F_b es: $F_b = \gamma h A_B$, donde: $A_B = \frac{\pi}{4} d^2$

Si el área A_B es muy pequeña, entonces: $F_b = \gamma h A_B$

donde:

γ peso específico del líquido

Como $\gamma = \rho g$, también se puede escribir: $F_b = \rho g h A_B$; o, si el área A_B es pequeña $F_b = \rho g h A_B$

donde:

ρ densidad del líquido ($\gamma = \rho g$)

g aceleración de la gravedad ($g=9,81\text{m/seg}^2$)

Principio de Torricelli

El principio de Torricelli también es conocido como el principio de la columna de agua. Si se toma un tubo de vidrio o un sorbete, y se llena de agua u otro líquido, y se voltea de modo que quede el agujero para abajo, el líquido no se derramará. Esto se debe a que la presión atmosférica actúa sobre la superficie libre del líquido. La figura 4 presenta el caso teórico de 10 metros de agua de este principio, y el caso de la práctica o real de aproximadamente 7 metros de columna de agua.

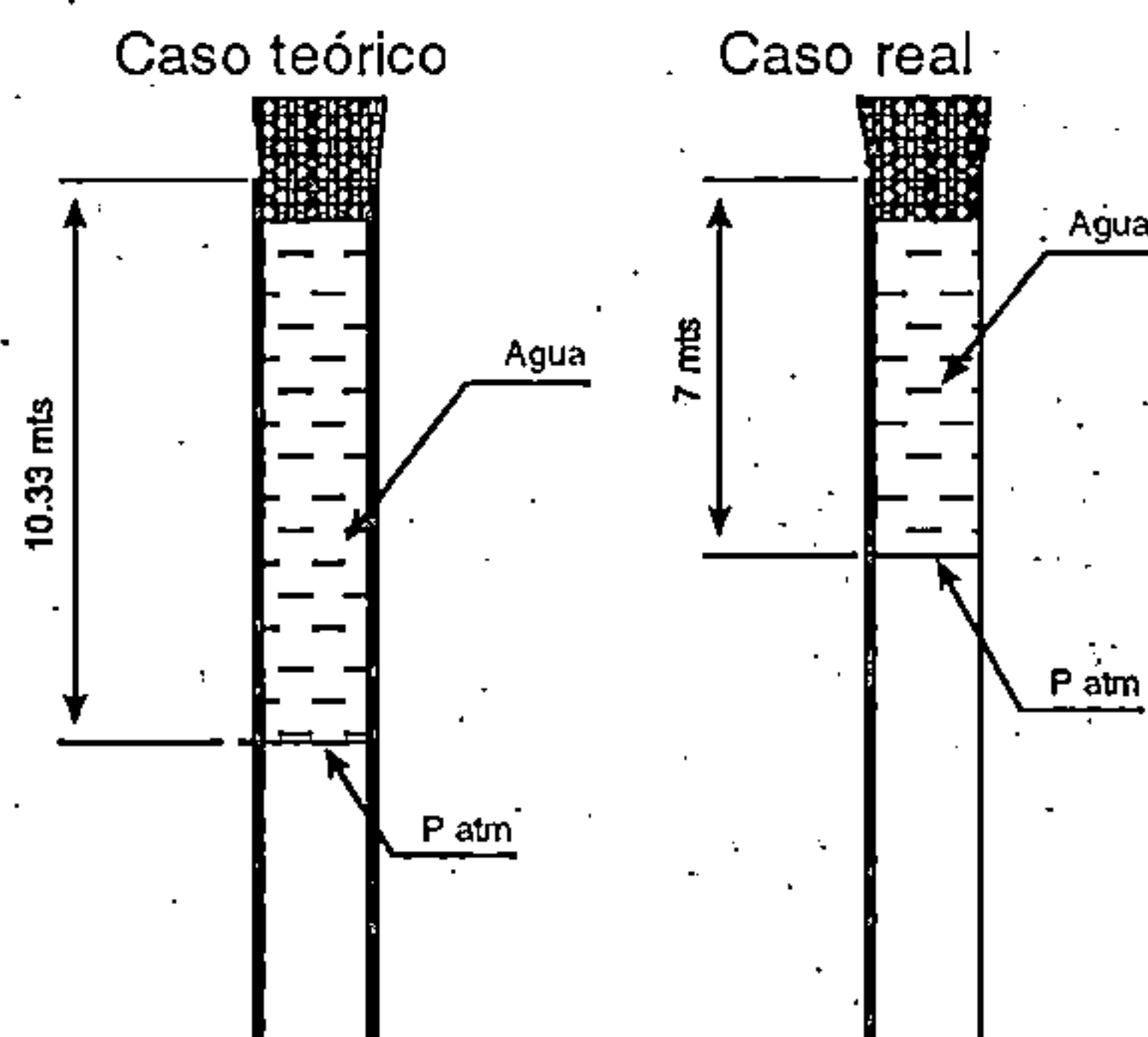


Figura 4. Las columnas muestran el caso teórico de 10,33 metros de agua y el caso real de 7 metros de agua, sostenido por la presión atmosférica, de acuerdo al principio de Torricelli.

Principio de Arquímedes o de empuje hidrostático

El principio de Arquímedes también es conocido como principio de empuje hidrostático. El empuje señalado por Pascal actúa sobre todo cuerpo que se sumerja en un líquido, tendiendo a levantarlo y hacerlo flotar. Todo cuerpo a veces flota, otras se sumerge hasta cierta profundidad y otras se va al fondo. Este efecto de que ocurra flotación o empuje parcial es llamado el principio de Arquímedes.

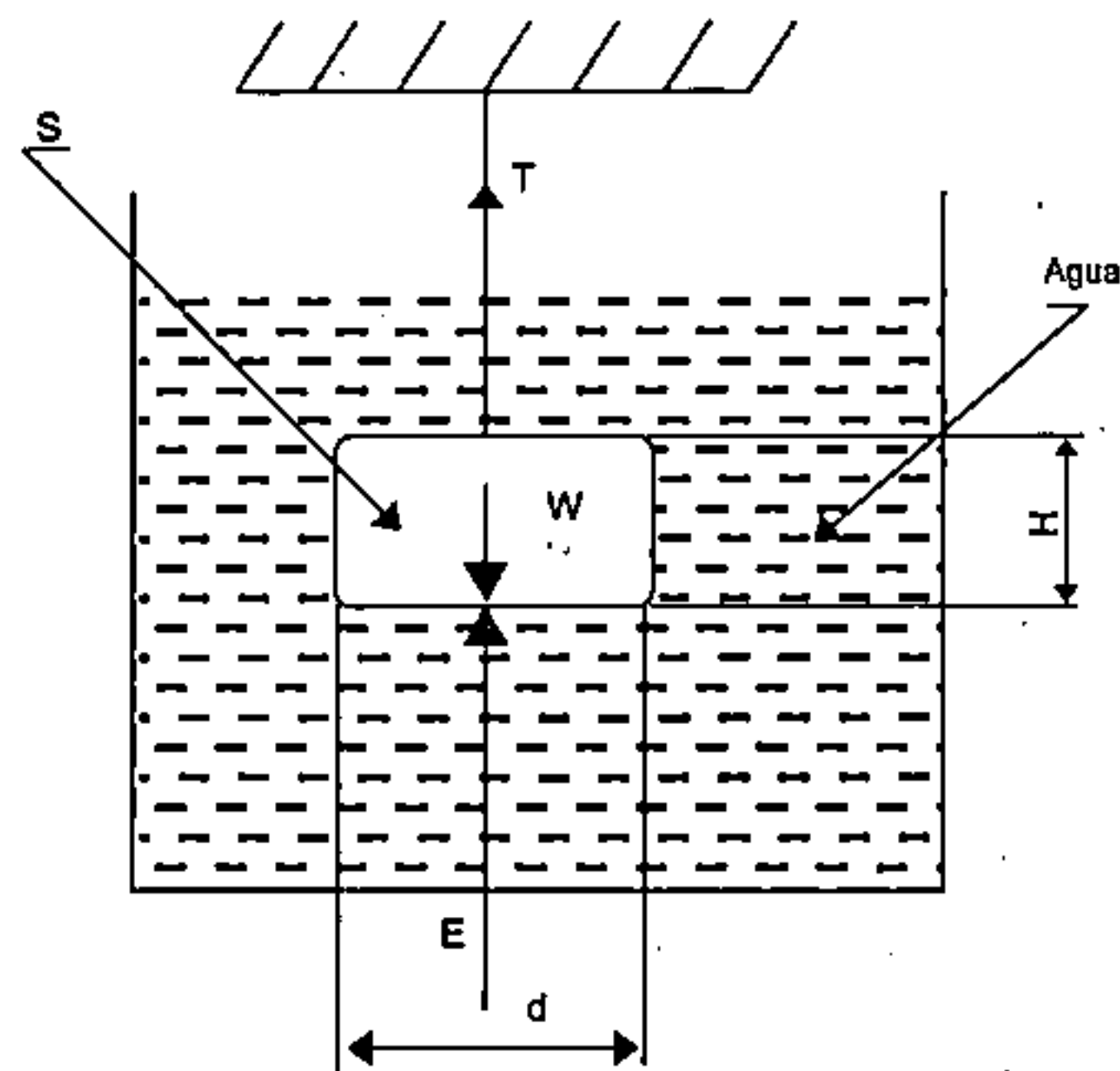


Figura 5. Recipiente y cuerpo colgado en hilo y sumergido en el agua, mostrando el efecto del empuje hidrostático. S sólido, W peso, E empuje, d diámetro del sólido, H altura del sólido.

La figura 5 muestra el principio de Arquímedes, donde el cuerpo de peso W cuelga de un hilo tensado T, donde la fuerza de tensión T será cero si el cuerpo S tiene la misma densidad o peso específico que el agua. Si la densidad es mayor que el agua, existirá una tensión T mayor que cero, y si la densidad de S es menor que la del agua, entonces el cuerpo flotará.

La expresión de las fuerzas será:

$$E = W - T, \quad \text{o} \quad T = W - E$$

donde:

E empuje hidrostático ($E = \gamma_{\text{agua}} \cdot V_s$)

W peso del sólido S ($W = \gamma_s \cdot V_s$)

T tensión del hilo

V_s volumen del sólido $V_s = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$

γ_s peso específico del sólido

γ_{agua} peso específico del agua

Finalmente, la tensión en el hilo será:

$$T = (\gamma_s - \gamma_{\text{agua}}) \cdot V_s$$

Nota: Si

$\gamma_s > \gamma_{\text{agua}}$, entonces existirá T

$\gamma_s = \gamma_{\text{agua}}$, entonces $T = 0$

$\gamma_s < \gamma_{\text{agua}}$, entonces no existirá T

Peso específico y densidad

En valor numérico, la densidad ρ y el peso específico γ son aproximadamente iguales, es decir $\gamma_s = \rho_s$ sólo en número, pero no en unidades.

Las densidades para algunos líquidos importantes son:

Líquido	ρ (Kg/lt)
Aceite	0,90
Gasolina	0,79
Petróleo D2	0,89

Cabe resaltar que el peso específico es: $\gamma = \frac{W}{V}$ y la densidad es: $\rho = \frac{m}{V}$ donde: W peso, M masa ($W = mg$, g gravedad), V volumen del cuerpo.

Para poder tener un orden de magnitud de los pesos específicos de diferentes materiales, se muestra la tabla 2 que selecciona los más comunes como son aceites, gasolinas, aire, vidrio, entre otros.

Material	Peso específico γ (Kg/lt)
Aceites	0,90
Agua	1,00
Aire	$\approx 1,050 \times 10^{-3}$
Aluminio	2,67
Cobre o bronce	8,85
Corcho	0,11 – 0,32
Gasolina	0,79 – 0,82
Hielo	0,90
Hierro o acero	7,90
Mercurio	13,58
Oro	19,26
Petróleo	$\approx 0,90$
Plata	10,51
Plomo	11,38
Vidrio	2,30 – 3,00
Zinc	7,14

Tabla 2. Tabla de pesos específicos aproximados de algunos materiales importantes, líquidos, sólidos y gaseosos.

Gravedad específica

La gravedad específica GE es el cociente referencial entre la densidad de un líquido y la densidad del agua a condiciones normales de 1bar de presión y 15°C. Es igual en valor numérico al peso específico γ_s y a la densidad ρ_s . La gravedad específica también es conocida como peso específico relativo, y como ejemplos generales tenemos:

Líquido	$GE = \gamma / \gamma_{\text{agua}}$
Agua	1,00
Aceite	0,85-0,90
Gasolina	0,80

2. HIDRODINÁMICA

La hidrodinámica es la ciencia que estudia los fluidos en movimiento. Para tratar el movimiento de los fluidos es necesario conocer la ecuación de continuidad, donde interviene el caudal o flujo del fluido. De esta manera, es necesario conocer las pérdidas en tuberías y también los medidores de caudal.

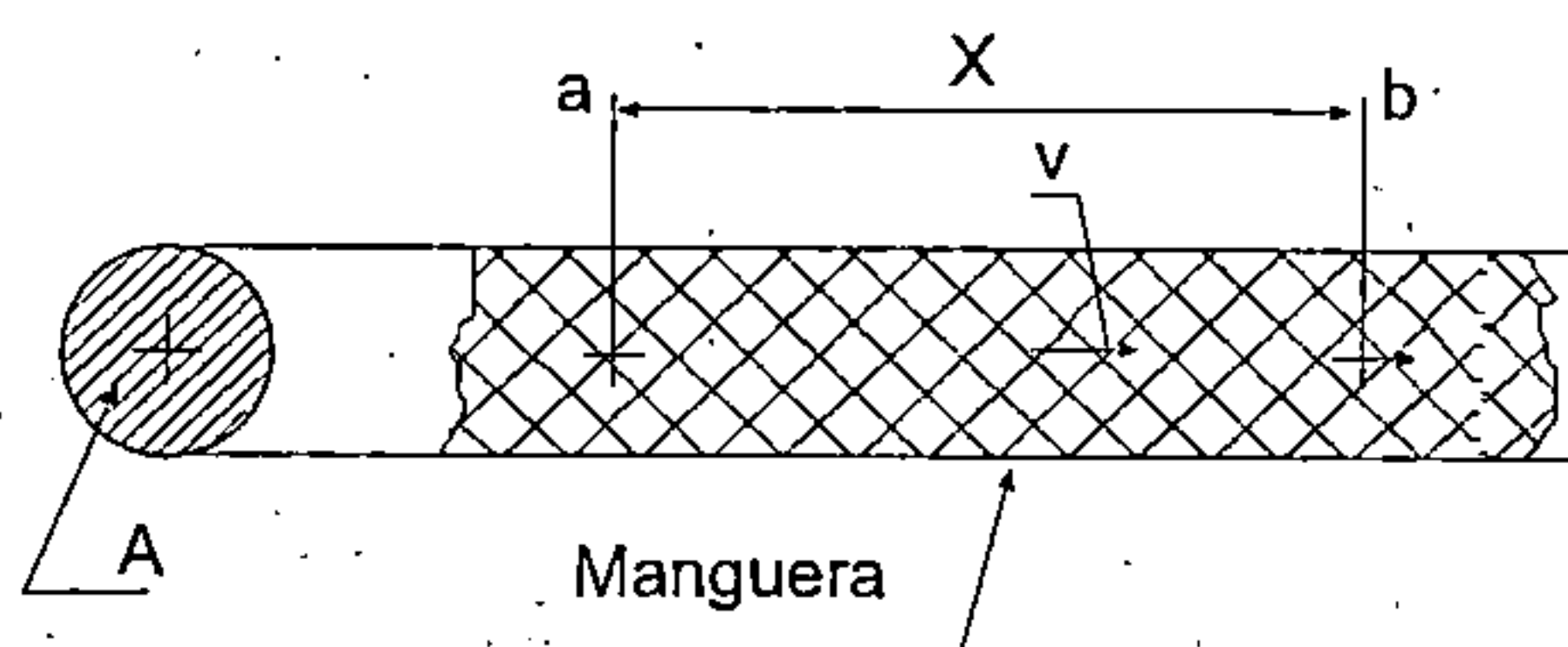
2.1 Caudal. Flujo de masa. Ecuación de continuidad. Ecuación de Bernoulli. Altura de pérdidas. Factor de Moody y de Fanning. Número de Reynolds. Flujo laminar, transitorio y turbulento. Diagrama de Moody

El presente subtítulo resume los conceptos indispensables para poder estudiar correctamente la hidrodinámica. Tanto el caudal, como las ecuaciones de energía y de continuidad permiten analizar y controlar el movimiento de un fluido.

Caudal

El caudal o flujo es el volumen total de líquido que circula en una unidad de tiempo a lo largo de un canal, tubería o ducto. Será canal o tubería si se trata de un líquido, y será ducto si se trata de un gas.

El caudal es: $Q = \frac{V}{t}$, o $Q = v \cdot A$



Esquema 2. Esquema del flujo de masa y caudal en el interior de una manguera.

Según el esquema 2, el volumen V es: $V = X \cdot A$, donde A es la sección transversal del flujo que va de "a" hacia "b" a lo largo de la manguera. X es la distancia de "a" hacia "b".

Luego:

$Q = \frac{X \cdot A}{t}$, donde v es la velocidad media de las partículas del líquido circulante. Por lo tanto, $v = \frac{X}{t}$, y finalmente el caudal será también

Nota:

Q puede estar en m³/seg, lt/seg, lt/min.
 V puede estar en m/min, cm/seg, m/seg.
 t puede estar en min, horas, seg.

Flujo de masa

El flujo de masa es la velocidad de la masa de un fluido. Se calcula como la masa circulante entre el tiempo requerido.

El flujo de masa es $\dot{m} = \frac{m}{t}$, o, $\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A$

El paso de una expresión a otra es así:

$$\dot{m}^* = \frac{m}{t} = \frac{\rho \cdot V}{t} = \rho \cdot Q = \rho \cdot v \cdot A$$

donde:

$\dot{m}$	flujo de masa	ρ	densidad
m	masa	v	velocidad
t	tiempo	A	sección transversal del flujo

Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad establece que el flujo de masa es constante. Para fluidos incompresibles se cumple "caudal constante".

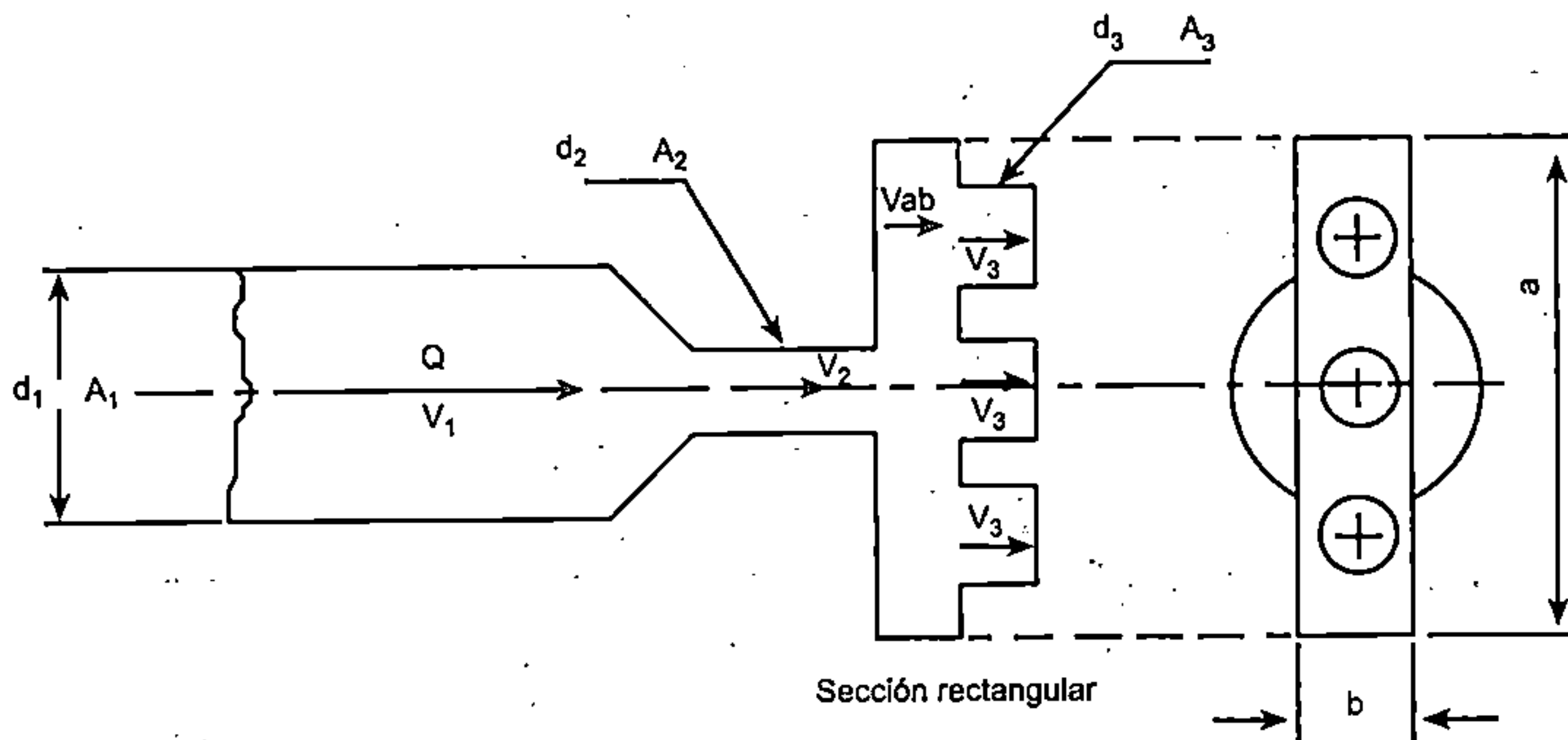


Figura 6. Sistema de tuberías con cuatro secciones diferentes a lo largo del flujo. La velocidad varía, pero el caudal se mantiene constante en cada tramo.

La figura 6 muestra un sistema de tuberías con cuatro etapas, las etapas 1,2, la etapa 3 de varios orificios de descarga y la etapa ab, una sección rectangular de área de sección A_{ab} ($A_{ab} = a \cdot b$).

La ecuación de continuidad será:

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = v_{ab} A_{ab} = 3 v_3 A_3,$$

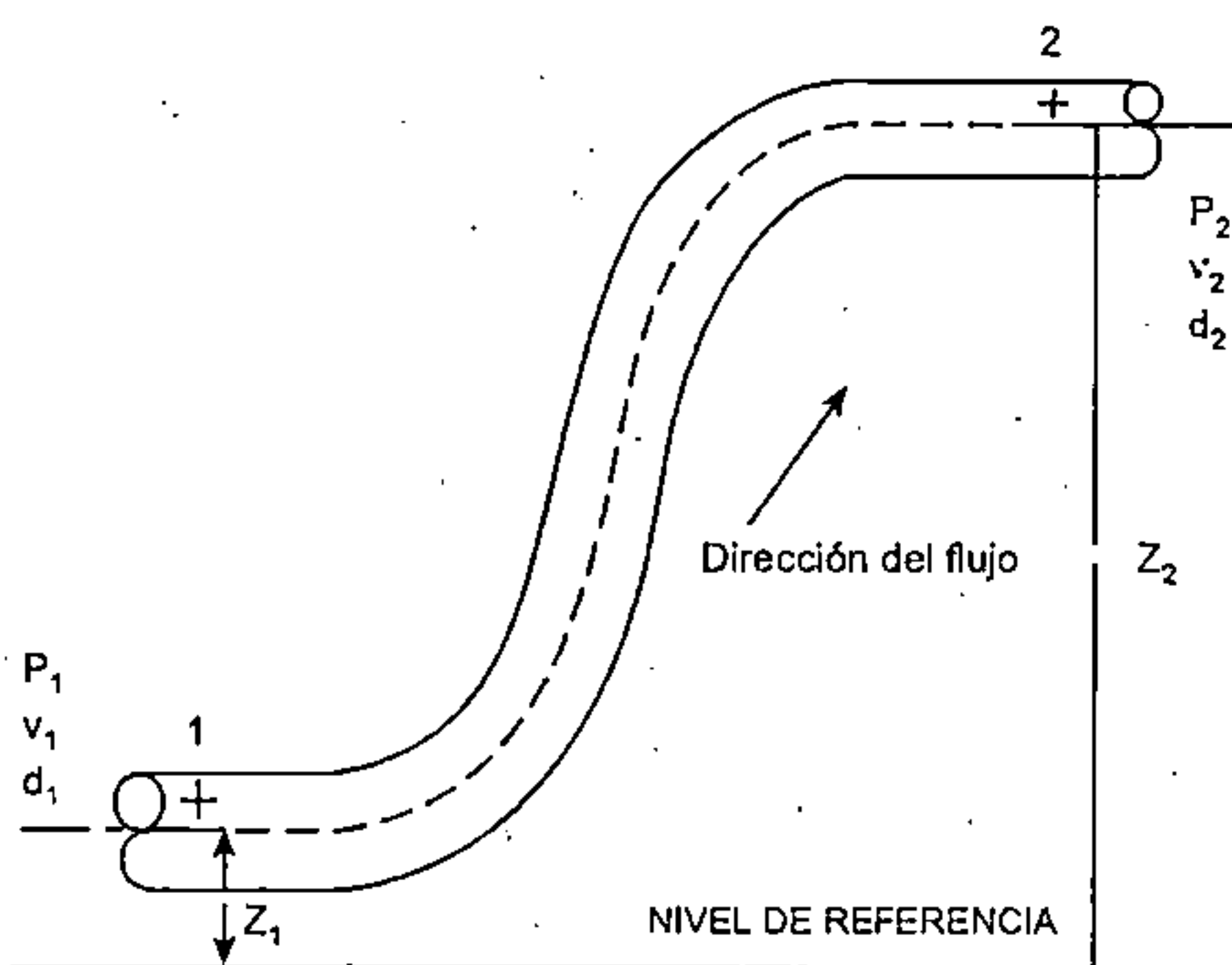
donde v_1, v_2, v_{ab}, v_3 son las respectivas velocidades medias, y A_1, A_2, A_{ab}, A_3 son las respectivas secciones transversales del sistema mostrado.

Se cumple:

$$Q = v \cdot A = v_1 \frac{\pi}{4} d_1^2 = v_2 \frac{\pi}{4} d_2^2 = v_{ab} \cdot a \cdot b = 3 v_3 \frac{\pi}{4} d_3^2$$

Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli permite realizar un balance de la energía de los fluidos a través de sus diferentes niveles. Esta energía se manifiesta en forma de presión estática, presión geodésica y presión de velocidad. Si hay movimiento, será necesario considerar las pérdidas de presión correspondientes.



Esquema 3. Esquema de un sistema de tuberías con entrada de flujo 1 y salida de flujo 2.

Caso teórico

El caso teórico de la ecuación de Bernoulli, según el esquema 3, será:

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

donde:

P_1, P_2 son presiones del manómetro
 v_1, v_2 son las velocidades medias en los niveles indicados
 Z_1, Z_2 son las cotas respecto al nivel de referencia

Caso real

El caso real de la ecuación de Bernoulli, según la figura será, en columna de líquido:

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta Z_p \quad (\text{mts o longitud})$$

donde $\Delta Z_p = \Delta h_p$ representa la altura por pérdidas. En este texto se encontrará: Δh_p = altura por pérdidas, como nomenclatura estándar.

Si se expresa en unidades de presión, la ecuación de Bernoulli será:

$$P_1 + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} + \gamma_1 Z_1 = P_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + \gamma_2 Z_2 + \Delta p \quad (\text{bar o presión})$$

donde Δp = pérdidas por presión, siendo $\Delta h_p = \frac{\Delta p}{\gamma}$

Altura de pérdidas

En cualquier tubo o conducto por el que circula un fluido, hay una continua pérdida de carga y de presión. Esta pérdida de presión o pérdida de carga se llama "altura de pérdidas en tuberías".

La altura de pérdidas Δh_p es (si, $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, $v_1 = v_2 = v$):

donde:

$$\Delta h_p = f_M \frac{L \cdot v^2}{d \cdot 2g} \quad , \quad \text{o,} \quad \Delta h_p = 4 \cdot f_F \frac{L \cdot v^2}{d \cdot 2g}$$

f_M factor de fricción de Moody
 f_F factor de fricción de Fanning
 L longitud de la tubería
 d diámetro hidráulico
 g gravedad (9.81 m/s²)

Factor de Moody y de Fanning

La relación entre estos dos factores de fricción es de uno a cuatro, y son valores que se determinan experimentalmente. Estos factores se llevan a los ábacos, donde interviene el número de Reynolds, la rugosidad y el tipo de flujo, laminar, transitorio o turbulento.

Sean:

f_M factor de Moody
 f_F factor de Fanning

entonces: $f_M = 4 \cdot f_F$

El uso de un factor u otro en el cálculo de pérdidas en tuberías no modifica los resultados de dichas pérdidas.

Número de Reynolds

El número de Reynolds Re es un número adimensional que permite determinar el tipo de flujo de un fluido dinámico, es decir, si es un flujo laminar, transitorio o turbulento.

Su expresión es: $Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$

donde:

ρ densidad
 v velocidad media
 d diámetro
 μ viscosidad absoluta

Flujo laminar, transitorio y turbulento

El flujo laminar se presenta para valores de Reynolds inferiores a 2400 aproximadamente. En esta fase se puede calcular el factor de fricción de Moody como $f_M = 64/Re$, lo cual facilita la determinación de las pérdidas Δh_p en las tuberías.

El flujo transitorio presenta una zona incierta, donde no es fácil estudiar el comportamiento del flujo, y llega hasta Reynolds 10000.

Finalmente, el flujo turbulento presenta un perfil de velocidad más plano, y se da después de Reynolds 10^4 , es decir, pasando la zona transitoria.

En resumen se tiene, con v_m velocidad media, y $v_{m\acute{a}x}$ velocidad máxima, los siguientes valores para los diferentes flujos:

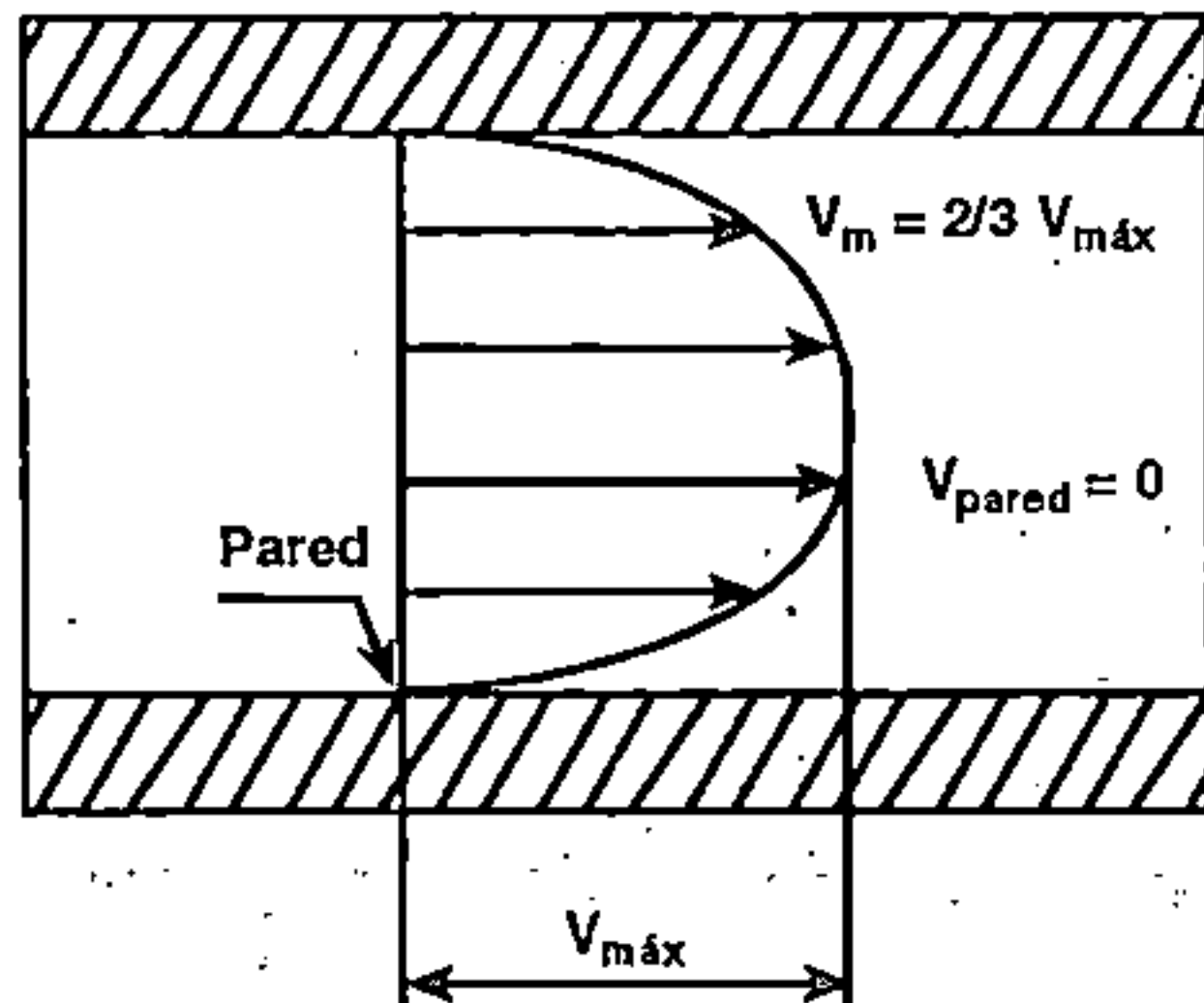
A continuación se dan algunos parámetros de los tres flujos. V_m es velocidad media del flujo, y $V_{m\acute{a}x}$ es la velocidad máxima del flujo (figura 7)

Flujo laminar $Re \leq 2400$, $\Delta h_p = \frac{64}{Re} \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$, $f_M = \frac{64}{Re}$, $v_m = \frac{2}{3} v_{m\acute{a}x}$

Flujo transitorio $2400 < Re \leq 10^4$

Flujo turbulento $Re > 10^4$, $v_m \approx 0,9 v_{m\acute{a}x}$

Flujo laminar



Flujo turbulento

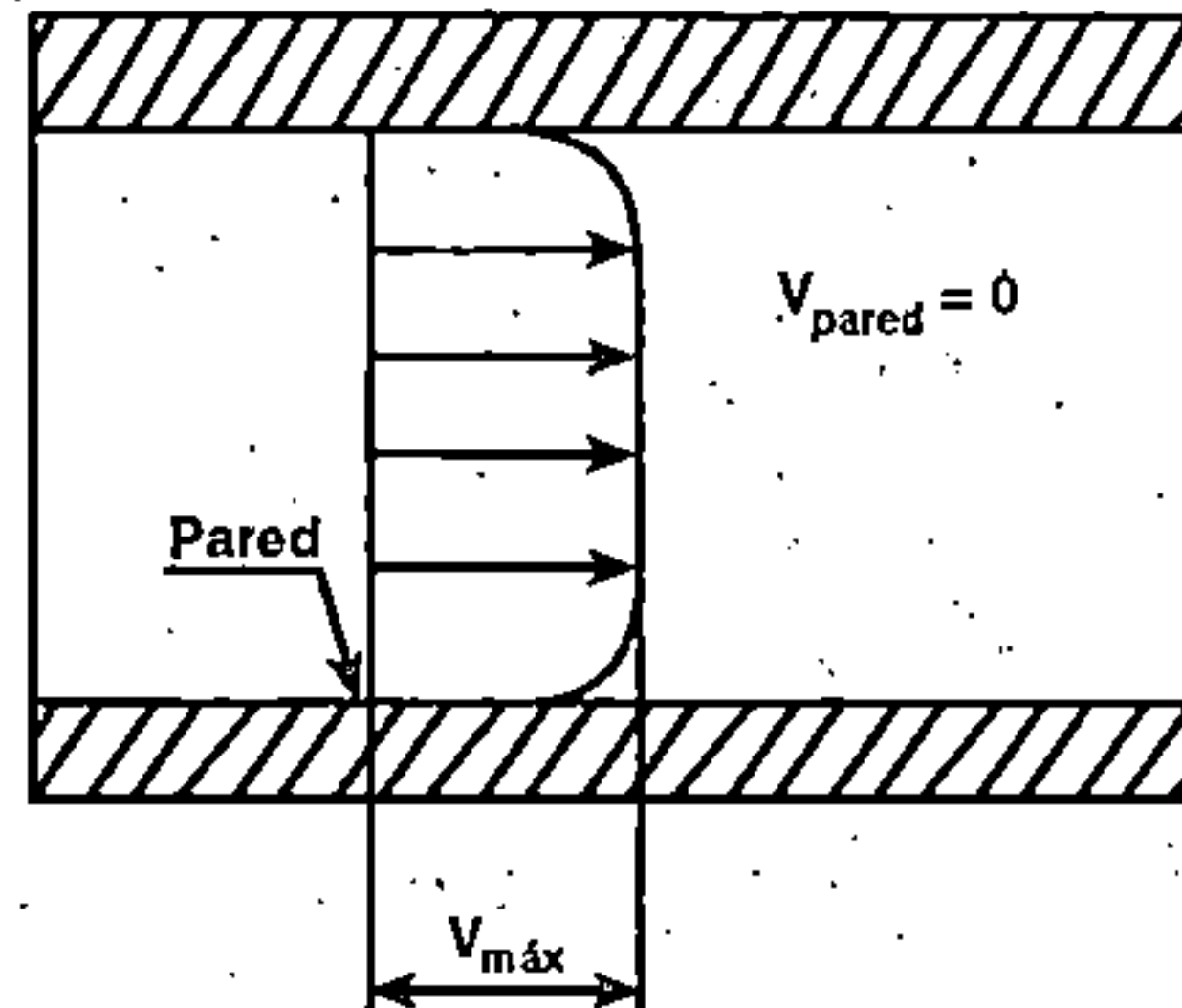


Figura 7. Flujo laminar y turbulento. El perfil de velocidades laminar es parabólico y el perfil turbulento es más aplanado. V_m , $V_{máx}$ son velocidad media y velocidad máxima respectivamente.

Se puede observar en la figura 7 que, independientemente del tipo de flujo, la velocidad de las partículas líquidas es cero en las paredes de la tubería ($v_{pared} = 0$).

Diagrama de Moody

El diagrama de Moody (figura 8) muestra las líneas de fricción en función del número de Reynolds para diferentes rugosidades relativas.

Se ha preferido limitar la información a pocos trazos, para obtener fácilmente un orden de magnitud de la fricción, según sea el caso. El factor de fricción se obtiene en forma experimental, y resulta ser:

$$f_M = \frac{\Delta h_p}{L v^2 \over d 2g}$$

siendo:

f_M factor de fricción de Moody

Δh_p altura de pérdidas medidas en el laboratorio

L longitud de la prueba

d diámetro interior del tubo mojado

v velocidad promedio de las partículas del flujo

g aceleración de la gravedad

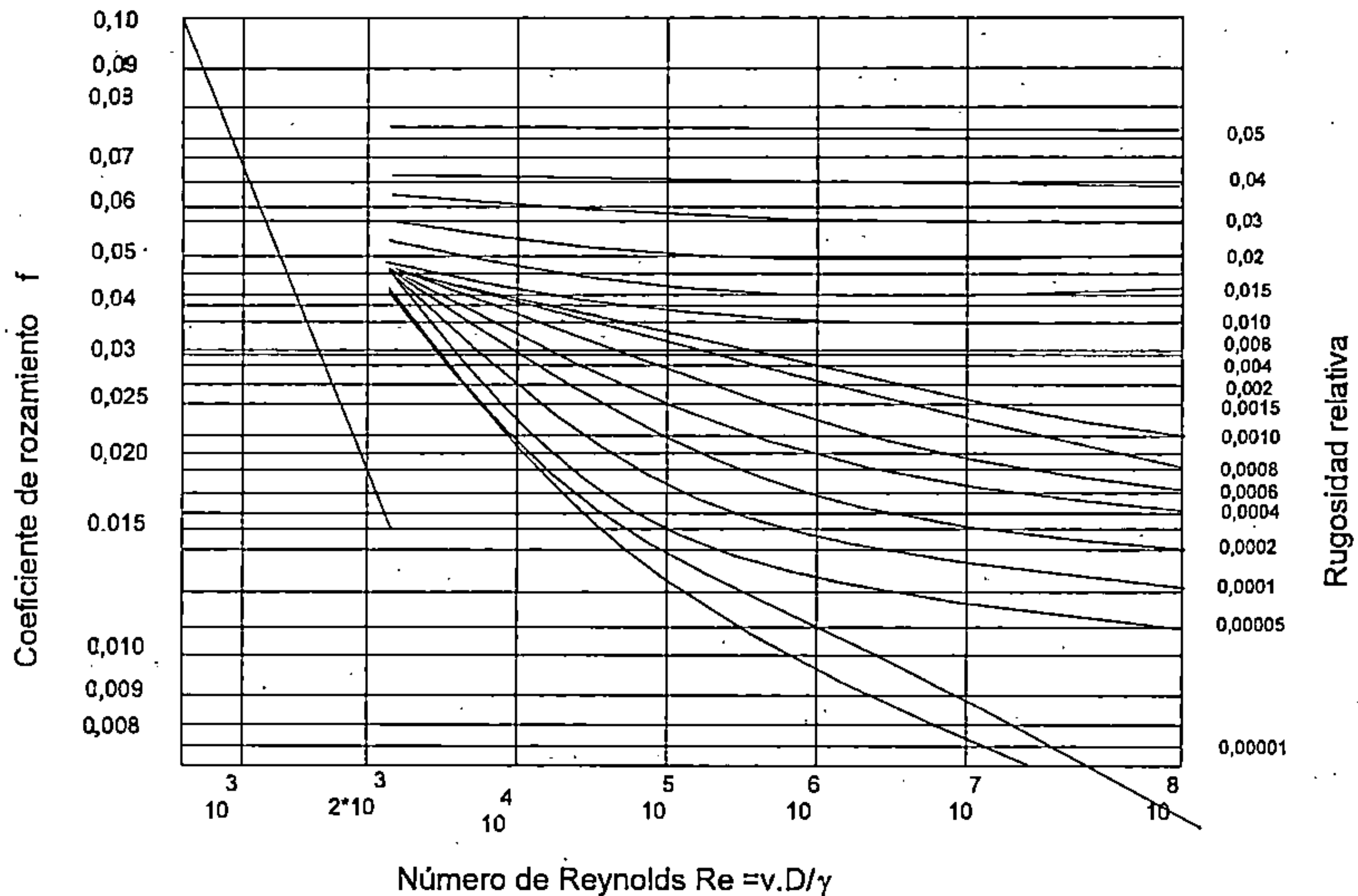


Figura 8. Diagrama de fricción de Moody $Re = v.D / \gamma$, v velocidad media, D diámetro interior, γ viscosidad relativa, rugosidad relativa $= \epsilon / D$, ϵ rugosidad absoluta.

Valores de ϵ :	acero	0,09 – 0,9	fundición	0,026
	Hormigón	0,03 – 0,3	hierro galvanizado	0,015
	madera	0,018 – 0,09		

2.2 Medidores de caudal. Medidor tipo orificio. Tobera. Rotámetro. Tubo Venturi o venturímetro. Tubo Pitot. Contómetro. Coeficiente de estrechamiento. Coeficiente de reducción de velocidad. Coeficiente de descarga

Medidores de caudal

Los medidores de caudal son instrumentos que permiten cuantificar el flujo de los fluidos, ya sean éstos líquidos o gases.

Medidor tipo orificio

El medidor tipo orificio también es llamado medidor de membrana o de diafragma. La aplicación de este instrumento se hace práctico y apropiado para laboratorios. No obstante, las pérdidas por presión son bastante altas. La figura 9 muestra la membrana con un orificio D_o , una tubería de diámetro interior D_1 , y un tubo de presión para medir las pérdidas de presión.

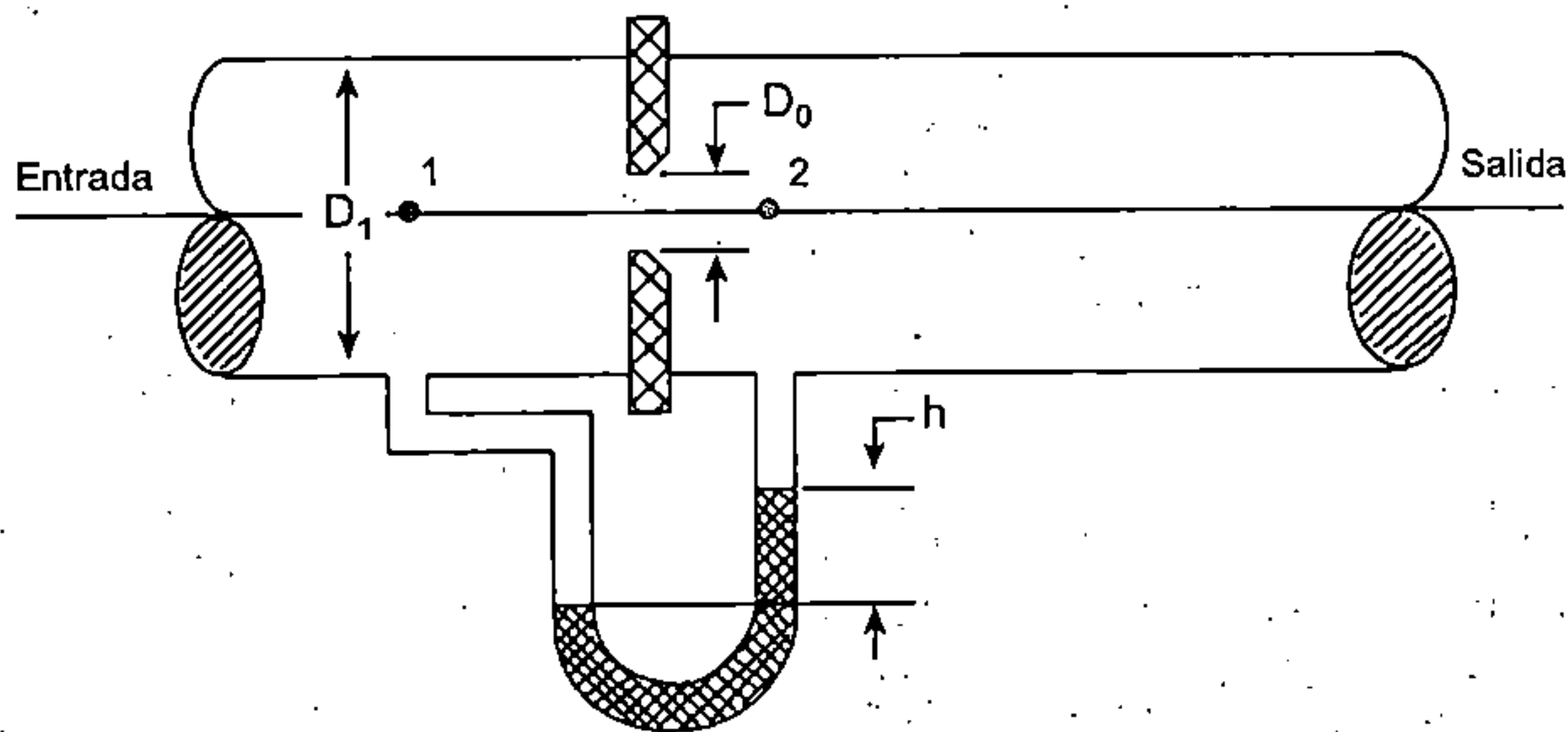


Figura 9. Medidor de caudal tipo orificio.

El caudal real se calcula de la siguiente manera:

$$Q_r = \frac{C_o \cdot A_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_o}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} - 1\right)}$$

donde:

C_o	coeficiente de orificio o descarga ($C_o = C_D$, ver C_D coeficiente de descarga)
A_o, A_1	área del orificio y área transversal de la tubería
Q_r	caudal real
Δh	lectura de altura del manómetro
γ_{Hg}, γ	peso específico del mercurio y peso específico del agua

$$A_o = \frac{\pi}{4} D_o^2, \quad A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2, \quad \frac{A_o}{A_1} = \left(\frac{D_o}{D_1}\right)^2$$

El coeficiente de orificio o descarga se obtiene de tablas como una función del número de Reynolds en la tubería, y la relación diámetro del orificio, diámetro de la tubería: $C_o = f(Re_1, D_o/D_1)$

Se calcula el número de Reynolds aproximado en la tubería, antes del orificio:

$$Re_1 = \frac{\rho \cdot v_1 \cdot D_1}{\mu}$$

con la velocidad aproximada:

$$v_1 \approx \frac{A_0}{A_1} \cdot v_0 \approx \frac{A_0 / A_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{\gamma_{\text{Hg}}}{\gamma} - 1\right)}, \text{ o iterando.}$$

Los valores de la densidad ρ y de la viscosidad μ , son función de la temperatura.

Tobera

La gran pérdida de presión que tiene lugar en un medidor de orificio, se puede minimizar con el uso de la tobera de caudal. La relación de los diámetros no tiene una norma universalmente aceptada, sin embargo cuando la caída de presión debe ser controlada al mínimo, es deseable una tobera de gran radio.

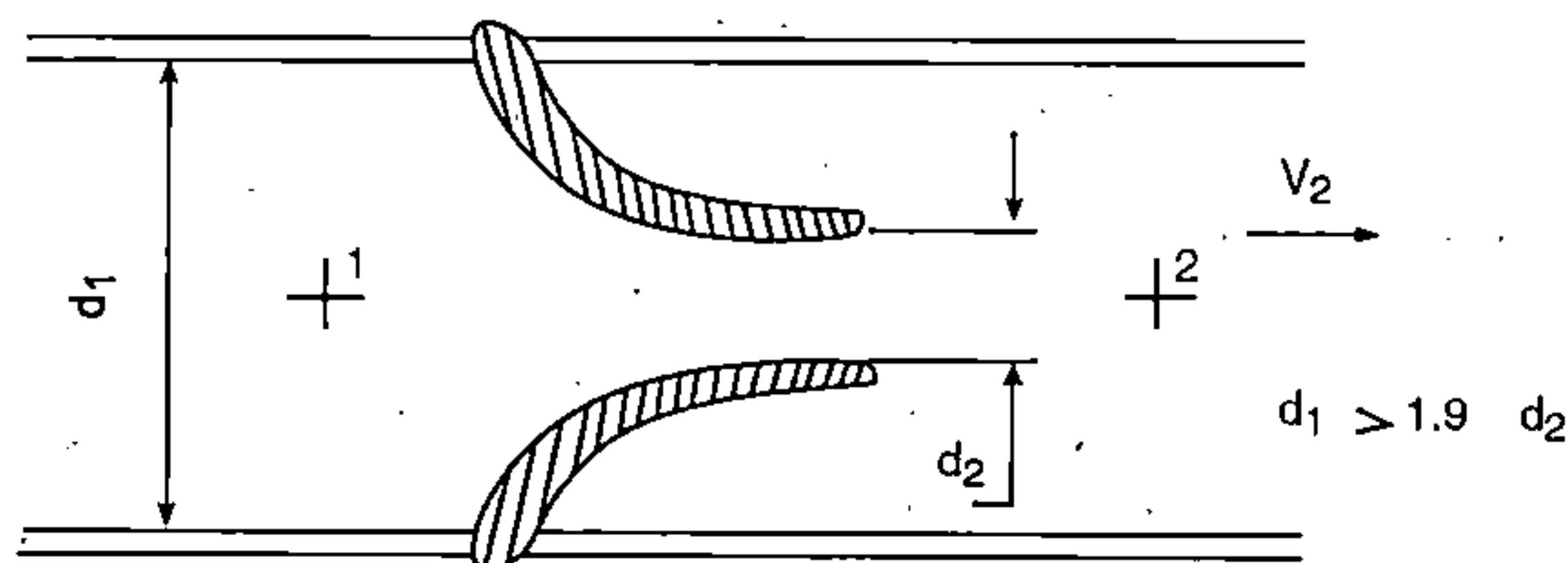


Figura 10. Medidor de caudal tipo tobera.

Caudal real $Q_r = C_D \cdot Q$

Donde, el caudal teórico es: $Q = v_2 \cdot A_2$

Rotámetro

El rotámetro es un medidor de caudal de área variable que se basa en el principio del nivel que alcanza un flotador que recibe un flujo de fluido vertical en forma ascendente. La medición del caudal es por lectura directa, es decir, no es necesario hacer correcciones con las contracciones de área o los coeficientes.

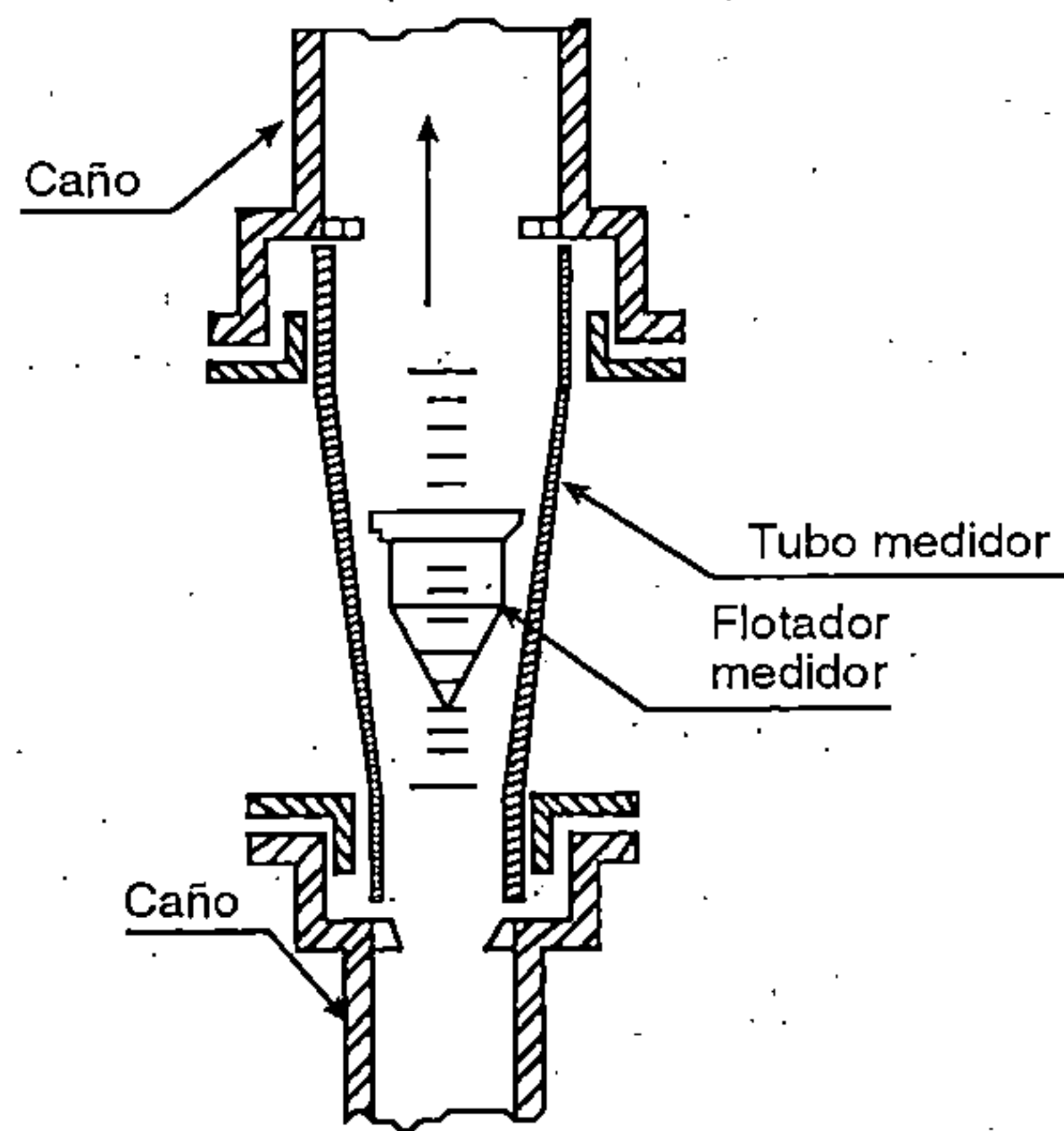


Figura 11. Rotámetro. Medición directa de caudal. El flotador sube ante un aumento del caudal en la dirección indicada.

Tubo de Venturi o venturímetro

Cuando es necesario mantener la pérdida total de presión en un mínimo, es preferible utilizar un tubo de Venturi. Como se ve en la figura, el tubo de Venturi tiene una sección convergente en la que se produce un cambio ordenado de presión estática en presión de velocidad pues aumenta la velocidad en la garganta. Luego de la garganta o sección mínima el Venturi tiene una sección divergente, en la que se produce un cambio inverso de presión de velocidad a estática.

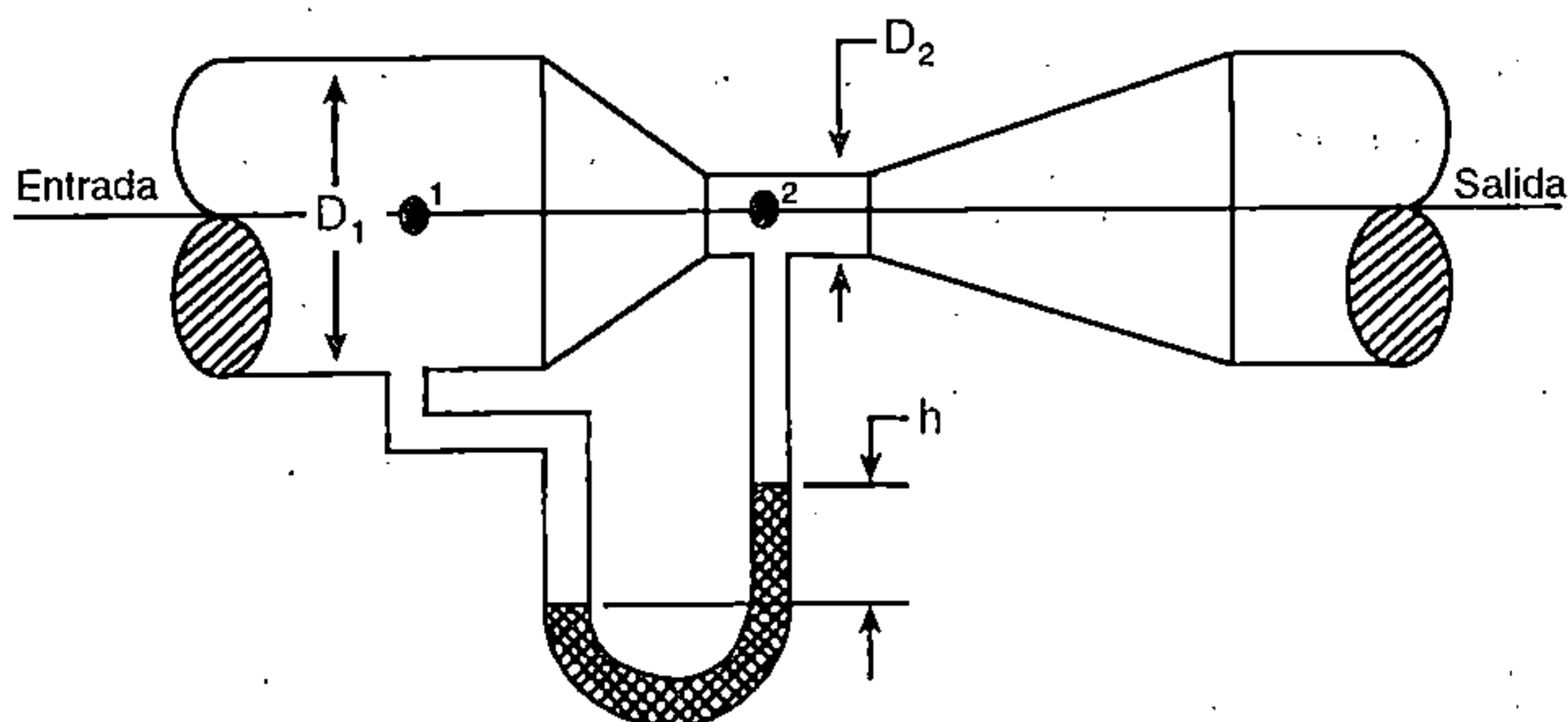


Figura 12. Medidor de caudal tipo tubo de Venturi. Las velocidades y las presiones en el punto 1 y 2 son $v_2 > v_1$; y, $p_2 < p_1$ respectivamente.

El caudal real se determina con la siguiente expresión:

$$Q_r = \frac{C_v \cdot A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma} - 1\right)}$$

donde:

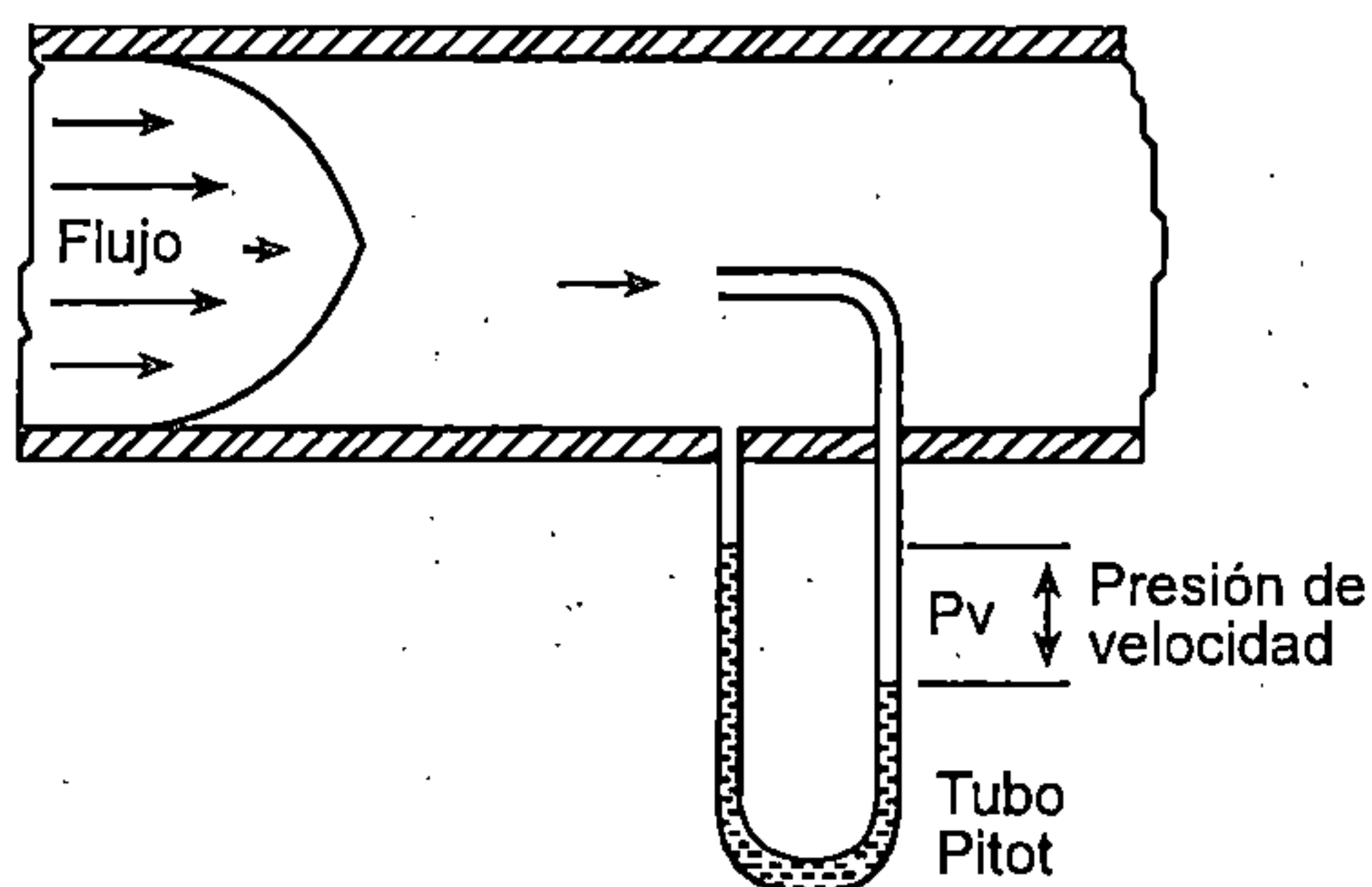
C_v	coeficiente de velocidad
A_2	área transversal de la garganta
A_1	área transversal de la tubería
Q_r	caudal real
$\Delta h, h$	lectura del manómetro
γ_{Hg}	peso específico del mercurio
γ	peso específico del agua

$$A_2 = \frac{\pi}{4} D_2^2, \quad A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2$$

Tubo Pitot

El tubo Pitot es empleado para medir la presión de velocidad en distintos puntos de la tubería. Con los datos obtenidos en las cuatro posiciones (5 mediciones cada 90°) indicadas en la figura, puede determinarse la velocidad promedio del flujo.

a)



b)

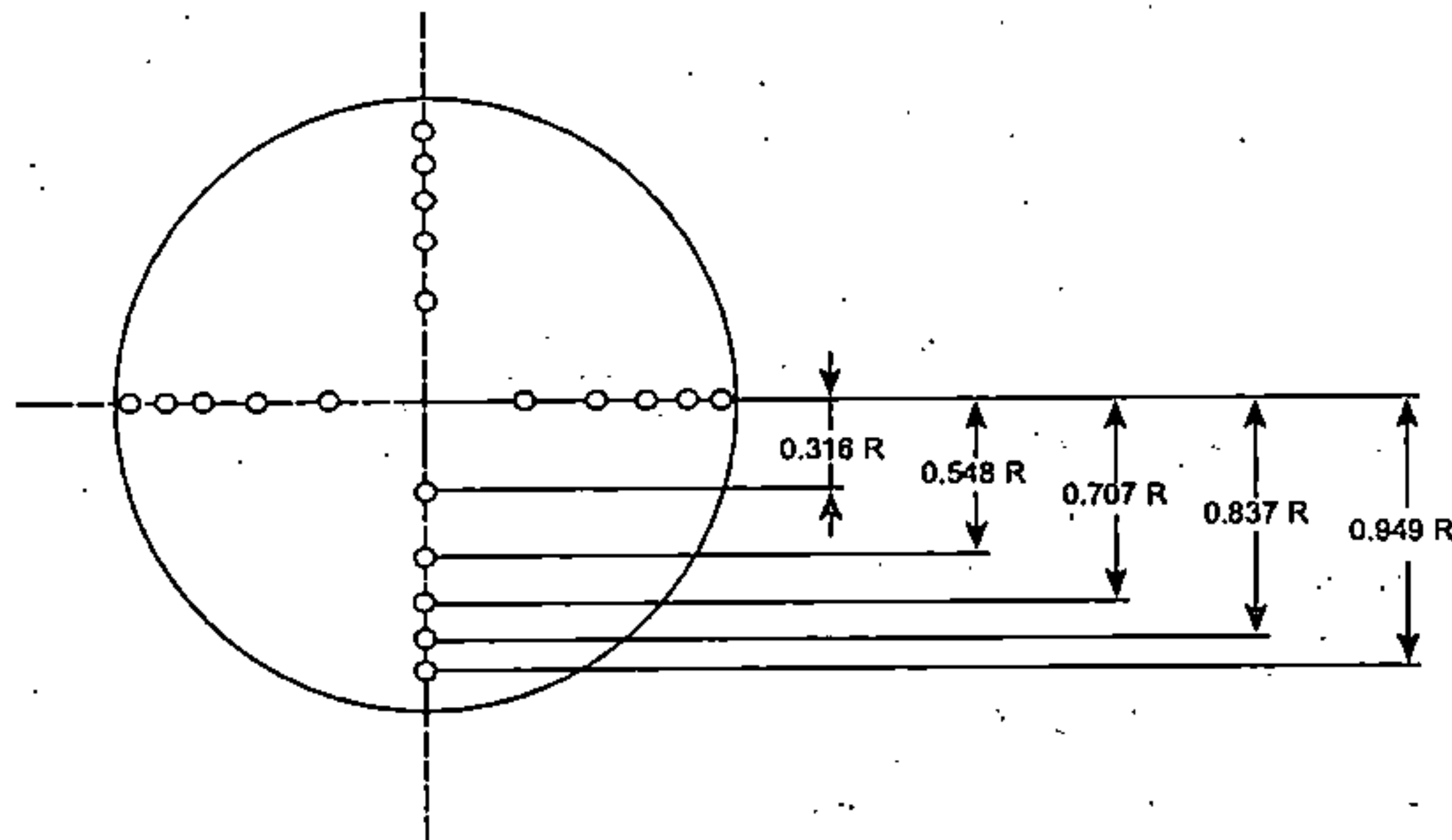


Figura 13. Tubo Pitot. Medidor puntual de la velocidad de un flujo fluido. a) Instalación del tubo Pitot en tubería circular, b) Puntos de selección del perfil de velocidades. R es radio interior de la tubería.

Sea presión total igual a presión estática más presión de velocidad, entonces se tiene:

$$P_T = P_{\text{estática}} + P_v$$

donde la columna indicará $P_v = \frac{\rho v^2}{2}$

Contómetro

Es un medidor volumétrico, es decir, indica el volumen V. Con la ayuda de un cronómetro se puede obtener el tiempo t, a través del cual circula el volumen indicado. El caudal real será:

$$Q_r = \frac{V}{t} \quad (\text{m}^3/\text{s}, \text{lt/s}, \text{u otro equivalente})$$

donde V puede ser volumen recolectado en un recipiente definido, y t será el tiempo de llenado.

Coeficiente de estrechamiento

El coeficiente de estrechamiento, (Ce) también llamado coeficiente de contracción, considera la relación entre el área real de salida del flujo y el área del orificio físico.

Así, se tiene:

$$Ce = \frac{A_{be}}{A_b} = \left(\frac{d_{be}}{d_b} \right)^2$$

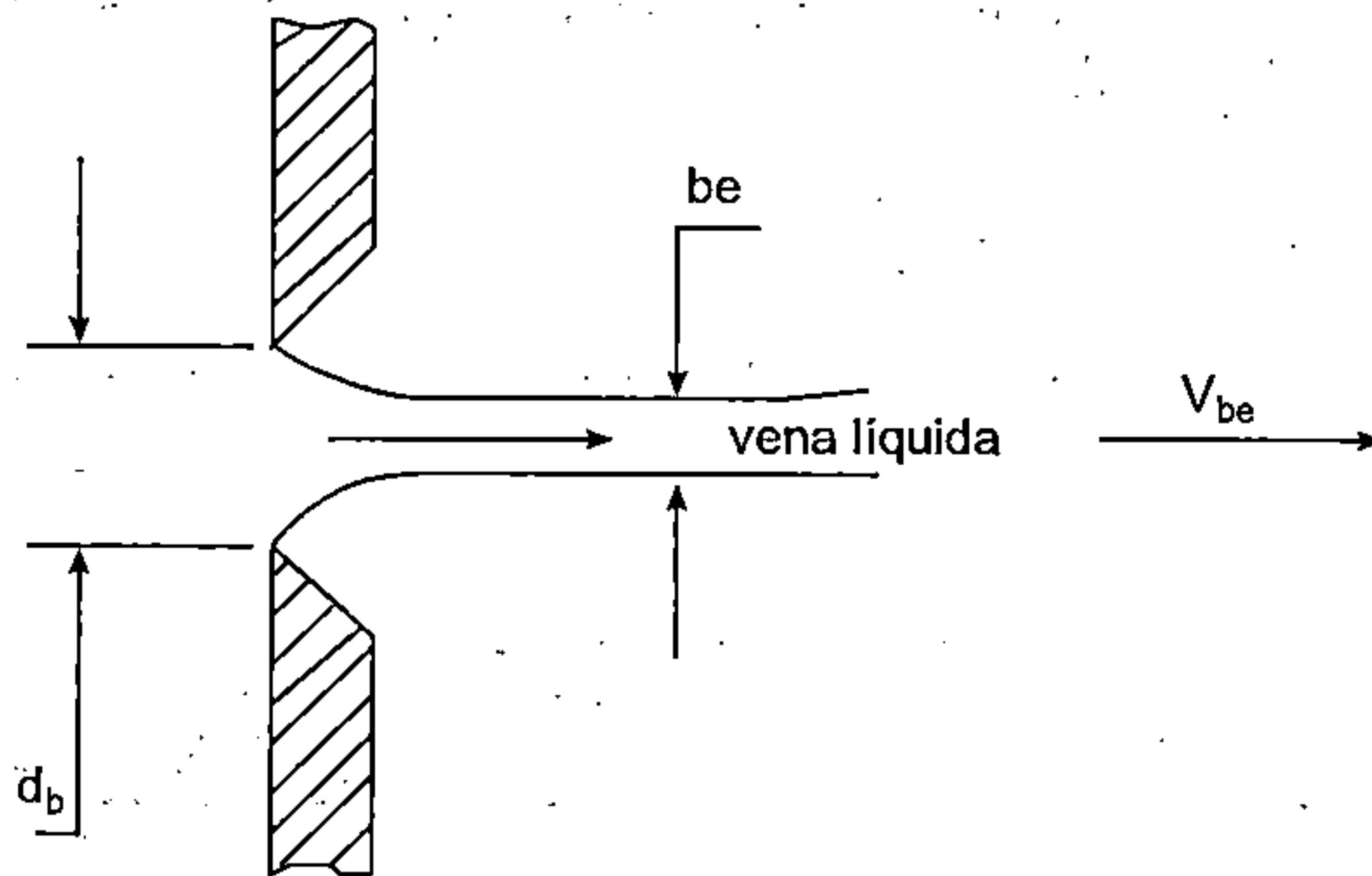


Figura 14. Contracción de la vena líquida en un orificio.

En general, si no se tienen datos se puede considerar el coeficiente de contracción aproximadamente 0,62 ($C_e \approx 0,62$).

Coeficiente de reducción de velocidad

En la realidad la velocidad del flujo en la vena líquida V_{be} es menor que la velocidad en el área física v_b del orificio, $v_{be} < v_b$, por eso se introduce el coeficiente de reducción de velocidad:

$$C_v = \frac{V_{be}}{v_b}$$

En general, si no se tienen datos se puede considerar el coeficiente de reducción de velocidad 0,985.

Coeficiente de descarga (C_D)

Resulta de la multiplicación del coeficiente de velocidad y de estrechamiento:

$$C_D = C_v \cdot C_e$$

El coeficiente de descarga puede considerarse aproximadamente 0,6

El caudal real es:

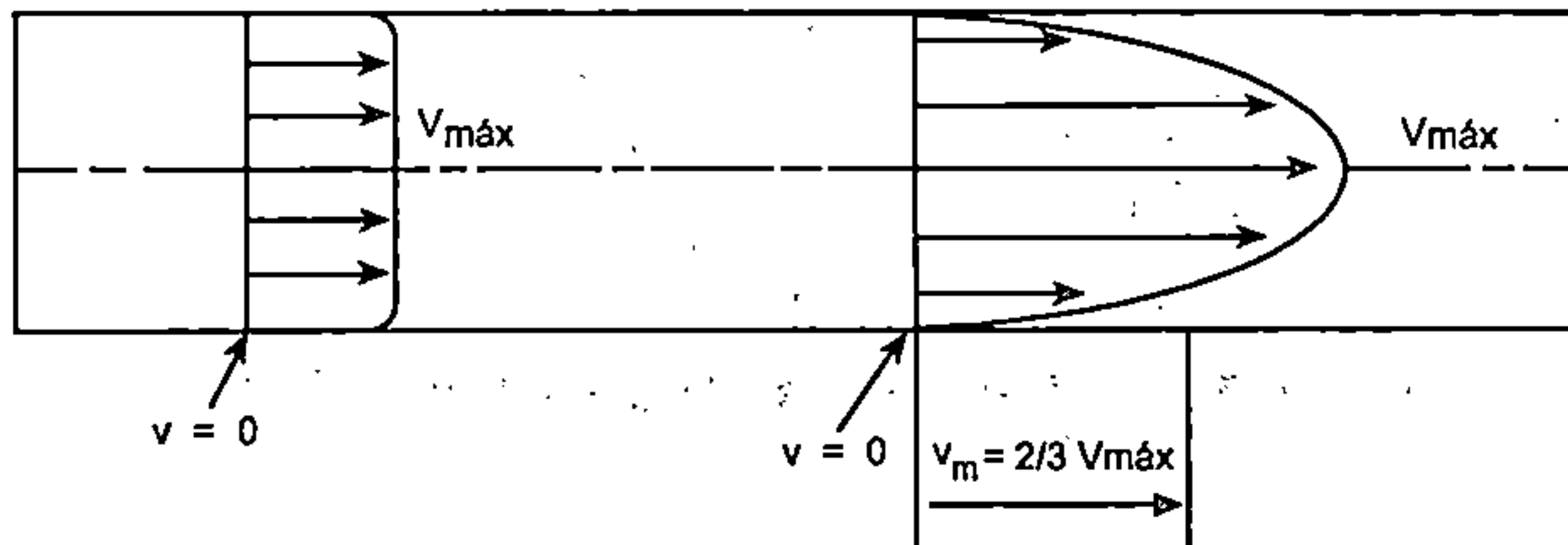
$$Q_r = C_D \cdot v_b \cdot A_b$$

3 PROBLEMAS DE APLICACIÓN Y PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PRENSA HIDRÁULICA

Problema 1

¿Cuál es la velocidad en las paredes de una tubería de 2" de diámetro, cuyo caudal es 40 lt/min de agua?

Solución:



Como se observa en la figura, sea flujo turbulento o laminar, la velocidad en las paredes de la tubería será cero. Luego:

$$v_{\text{Pared}} = 0$$

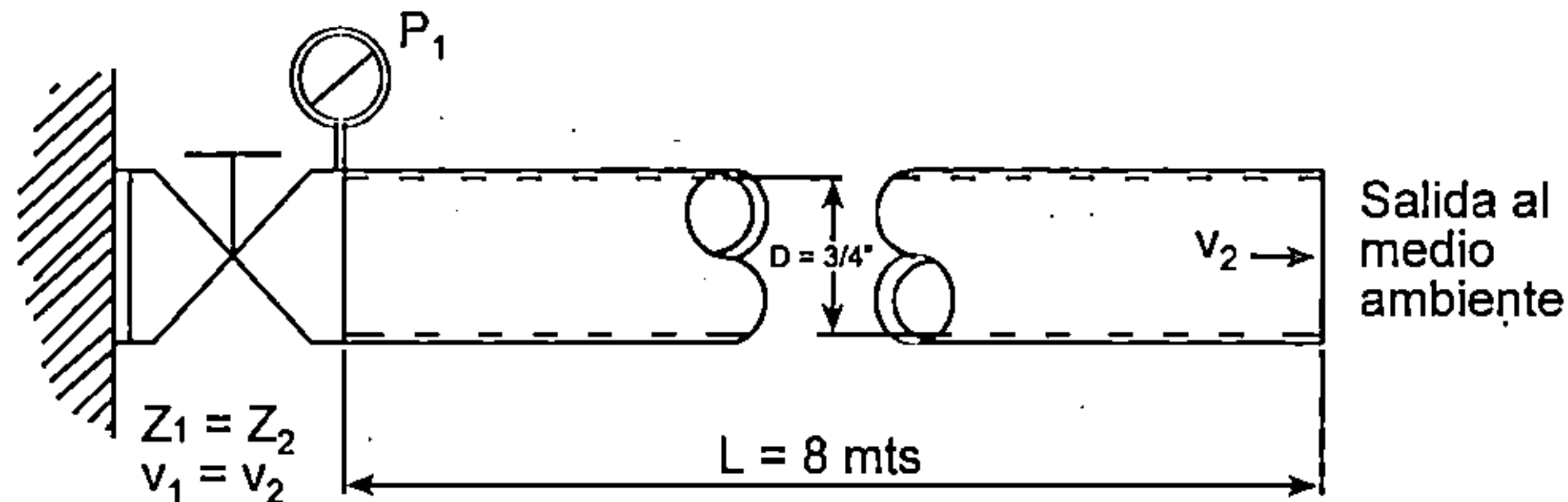
Problema 2

Hallar la pérdida de presión de la manguera lisa de la figura, cuyo caudal de agua es 8 lt/min. Además, determinar la presión aproximada P_1 del manómetro del caño. $P_2 = P_{\text{atm}}$. La temperatura del agua es 20°C, y la viscosidad absoluta es:

$$\mu = 1,3 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s a } 10^\circ\text{C}$$

$$\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s a } 20^\circ\text{C}$$

$$\mu = 0,8 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s a } 30^\circ\text{C}$$



Solución:

Averiguamos el tipo de flujo con el número de Reynolds. Las pérdidas son:

$$\Delta h_p = f \frac{L \cdot v^2}{d \cdot 2g} \quad , y \quad Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \quad , \rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$d = \frac{3}{4}'' = 19,05 \text{ mm}, \quad L = 8000 \text{ mm},$$

$$Q = 8 \text{ lt/min} = 8000 \text{ cm}^3/\text{min} = 8 \times 10^6 \text{ mm}^3/\text{min}$$

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4(8 \times 10^6) \text{ mm}^3}{\pi (19,5)^2 \text{ mm}^2} \cdot \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 446,5 \frac{\text{mm}}{\text{seg}} = 0,4465 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

$$Re = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,4465 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,01905 \text{ m}}{1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{seg}}} = 8506 \approx 8,5 \times 10^3$$

El diagrama de Moody, que hemos mencionado, da un valor de factor de fricción de Moody aproximado para tubería lisa y en zona turbulenta $f \approx 0,031$

Calculando las pérdidas:

$$\Delta h_p = 0,031 \cdot \frac{(8000 \text{ mm})}{(19,05 \text{ mm})} \cdot \frac{(0,4465)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2(9,81) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,13 \text{ metros de agua}$$

en bar, la pérdida de presión es:

$$\Delta P = \gamma_{\text{agua}} \Delta h_p = 100 \frac{\text{kg-f}}{\text{m}^3} \times 0,13 \text{ m} \times 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg-f}} = 1274 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,0123 \text{ bar}$$

$$\Delta P = 0,0123 \text{ bar}$$

Según el manómetro de la figura, P_1 es presión manométrica.

La presión en el manómetro será:

$$P_1 = P_2 + \Delta P, \text{ como } P_2 = 0 \text{ (atmósfera), entonces } P_1 = \Delta P$$

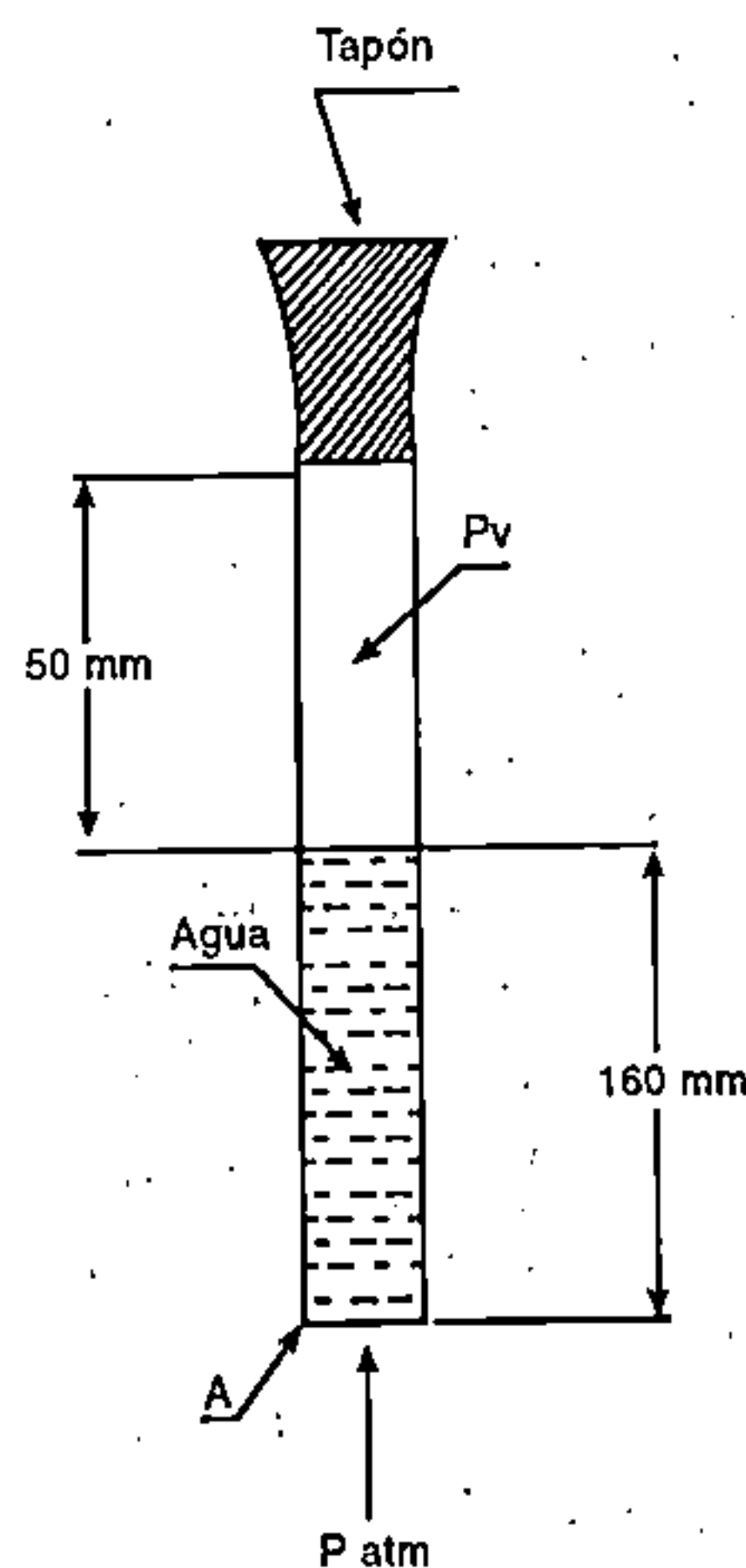
Luego:

$$P_1 = 0,0123 \text{ bar en el manómetro}$$

Si $1 \text{ bar} = 14,7 \text{ lb/pulg}^2$ o PSI, entonces $P_1 = 0,18 \text{ PSI}$ en el manómetro

Problema 3

Hallar la presión de vacío de la cañita de la figura, si el diámetro interior de la cañita es de 3,85mm. La presión atmosférica es 1,023bar.



Solución:

Se pide calcular la presión de vacío P_v . El punto A tendrá la presión atmosférica, entonces:

$$P_A = P_{atm}$$

$$P_{atm} = P_v + \gamma_{agua} \cdot h$$

Reemplazando valores, con $h = 160\text{mm}$, se tiene:

$$1,023\text{bar} = P_v + 1\text{kg} \cdot 160\text{mm}$$

Como se tiene aproximadamente que la presión de la columna de agua es:

$$160\text{mm agua equivale a } 0,160\text{m} \times \frac{1,012\text{bar}}{10,33\text{m}} \approx 0,016\text{ bar}$$

o también

$$\sigma_{agua} h = 1 \frac{\text{kg-f}}{\text{lt}} \times \frac{9,81\text{N}}{1\text{kg-f}} \times 160\text{mm} \times \frac{1\text{m}}{10^3\text{mm}} \times \frac{10^3\text{lt}}{1\text{m}^3} = 1569,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 1569,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \frac{1\text{bar}}{10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \approx 0,016 = 0,016\text{bar}$$

luego la presión de vacío absoluta es:

$$P_v = 1,023 - 0,016 = 1,007\text{bar (absoluta)}$$

Y la presión de vacío manométrica o relativa es:

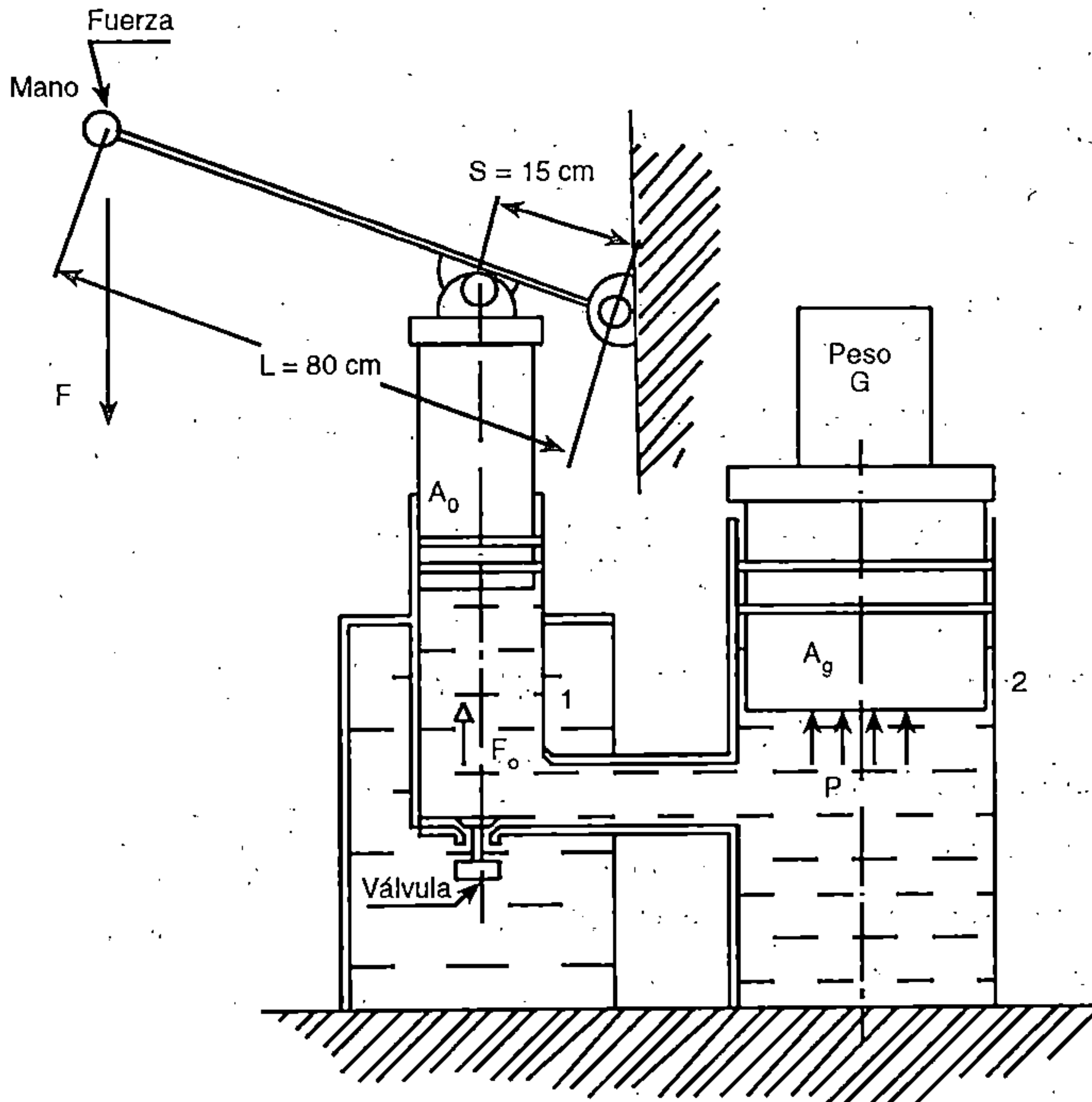
$$P_v \text{ relativa} = P_v - P_{atm} = 1,007 - 1,023$$

$$P_v \text{ relativa} = -0,016\text{bar}$$

Problema 4. Principio de funcionamiento de la prensa hidráulica

Con una fuerza F vertical del operador se puede bombear aceite dentro del cual la presión P será la misma en todas sus paredes, por el principio de Pascal, entonces así se transmite una fuerza multiplicadora al peso G a través del émbolo mayor de sección A_G .

Usando los datos de la figura de la prensa hidráulica, indicar si con una fuerza F de 20Kg-f se logra levantar un peso G de 3 toneladas, sabiendo que el pistón menor tiene un diámetro de 8mm (área menor A_0), y el mayor tiene un diámetro de 100mm (área mayor A_G).



Solución:

La presión del aceite en las paredes internas es la misma en todo momento, luego

$$P = P_1 = P_2, \quad P = \frac{F_0}{A_0} = \frac{G}{A_G}, \quad \boxed{F_0 = \frac{A_0}{A_G} G}$$

Además, por toma de momentos en la palanca, determinamos la fuerza mínima $F_{\min}$, tal que $F \geq F_{\min}$ será la condición a cumplir. Entonces:

$$F_{\min} \cdot L = F_0 \cdot S = G \cdot \frac{A_0}{A_G} \cdot S$$

Luego:
$$F \geq G \frac{A_0 \cdot S}{A_G \cdot L} \dots (1)$$

Reemplazando valores: $L = 80\text{cm}$, $S = 15\text{cm}$, las áreas:

$$A_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2, \quad d_0 = 8\text{mm}$$

$$A_0 = 50,24 \text{ mm}^2$$

$$A_G = \frac{\pi}{4} d_G^2, \quad d_G = 100\text{mm}$$

$$A_G = 7850 \text{ mm}^2$$

Entonces en (1):

$$F \geq 3000\text{kg} \cdot \frac{50,24 \text{ mm}^2 \cdot 15 \text{ cm}}{7850 \text{ mm}^2 \cdot 80 \text{ cm}}$$

$$F \geq 3,6\text{kg-f}$$

$$20\text{kg-f} \geq 3,6\text{kg-f} \quad \text{cumple } \checkmark$$

Finalmente, los 20kg-f son superiores a lo necesario para levantar el peso propuesto.

Problema 5

Se tienen dos tuberías de PVC, de 10 y 16 milímetros de diámetro interior respectivamente. Ambas tienen una longitud recta de 120 metros entre la toma de agua y un pequeño pozo que se usará para regadío. Se han podido medir las pérdidas de presión en la tubería de 16 milímetros, dando 0,7 bar de pérdida entre sus extremos (las dos tuberías están en posición horizontal). El caudal de agua en cada una de ellas es de 18lt/min. Para estas condiciones se puede considerar el mismo factor de fricción en ambas tuberías, aún aumentando o reduciendo el caudal a la mitad.

- ¿Cuál es la altura de las pérdidas aproximadas, de la tubería menor, en metros de agua? (1,023 bar = 10,33m agua)
- ¿Cuál es la pérdida aproximada de presión en PSI en la tubería de 16mm, si se aumenta el caudal un 50%? (1bar = 14,7PSI = 14,7lb/pulg²)

Solución:

- Las pérdidas aproximadas cumplen la relación aproximada de diámetros:

$$\frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^5$$

$$\text{Reemplazando } \Delta h_2 = 0,7 \text{ bar} \quad \left(\frac{16}{10} \right)^5 = 7,34 \text{ bar,}$$

$$\Delta h_2 \approx 74 \text{ metros de agua}$$

b) Las pérdidas de presión en función del caudal cumplen aproximadamente:

$$\frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2$$

Reemplazando $\Delta h_2 = 0,7 \text{ bar} \left(\frac{1,5 Q}{Q} \right)^2 = 1,58 \text{ bar}$,

$$\Delta h_2 \approx 23,2 \text{ PSI}$$

CAPÍTULO II

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN, CONTROL Y VERIFICACIÓN

El presente capítulo abarca los instrumentos de medición, verificación y control más importantes, que son utilizados en un taller de mediciones.

En esta primera parte se estudian las formas de medición de lectura y los instrumentos adecuados, para poder definir el dimensionado de una pieza o parte mecánica. Es así que presentaremos los instrumentos de medición más comunes en la industria. Entre otros, se deben considerar el vernier o pie de rey, el micrómetro o pálmer, el goniómetro, los calibradores, comparadores o *gauge*, el profundímetro y el micrómetro de interiores.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

La precisión de un instrumento de medición en general está dada por la razón de la lectura mínima en la escala principal entre el número de divisiones de la escala secundaria, es decir:

$$\text{Precisión} \quad Pr. = L_{\min} / ND$$

donde:

$L_{\min}$: lectura mínima de la escala principal

ND: número de divisiones de la escala secundaria (nonio, tambor, etc.)

La lectura de la mayor parte de los instrumentos de medición con regla de precisión o tambor, o nonio, se determina de la siguiente manera:

$$\text{Lectura:} \quad L = L_0 + ND_x : p_r$$

donde:

L_0 : Lectura mínima de la escala principal hasta antes del cero del nonio o tambor o de la regla móvil.

ND_x : Número de divisiones hasta que coincida una línea de la regla móvil del instrumento con alguna línea, cualesquiera, de la regla principal.

1.1 Vernier o pie de rey. Partes, lectura y precisión

Vernier o pie de rey

El vernier o pie de rey es un instrumento de medición con regla móvil de precisión, que permite realizar la medición de distancias en piezas o partes mecánicas de diferentes formas. Las distancias pueden ser zonas exteriores como las aristas de una barra, o zonas interiores como el diámetro interior de un tubo o, finalmente, la profundidad de un agujero ciego (figura 1).

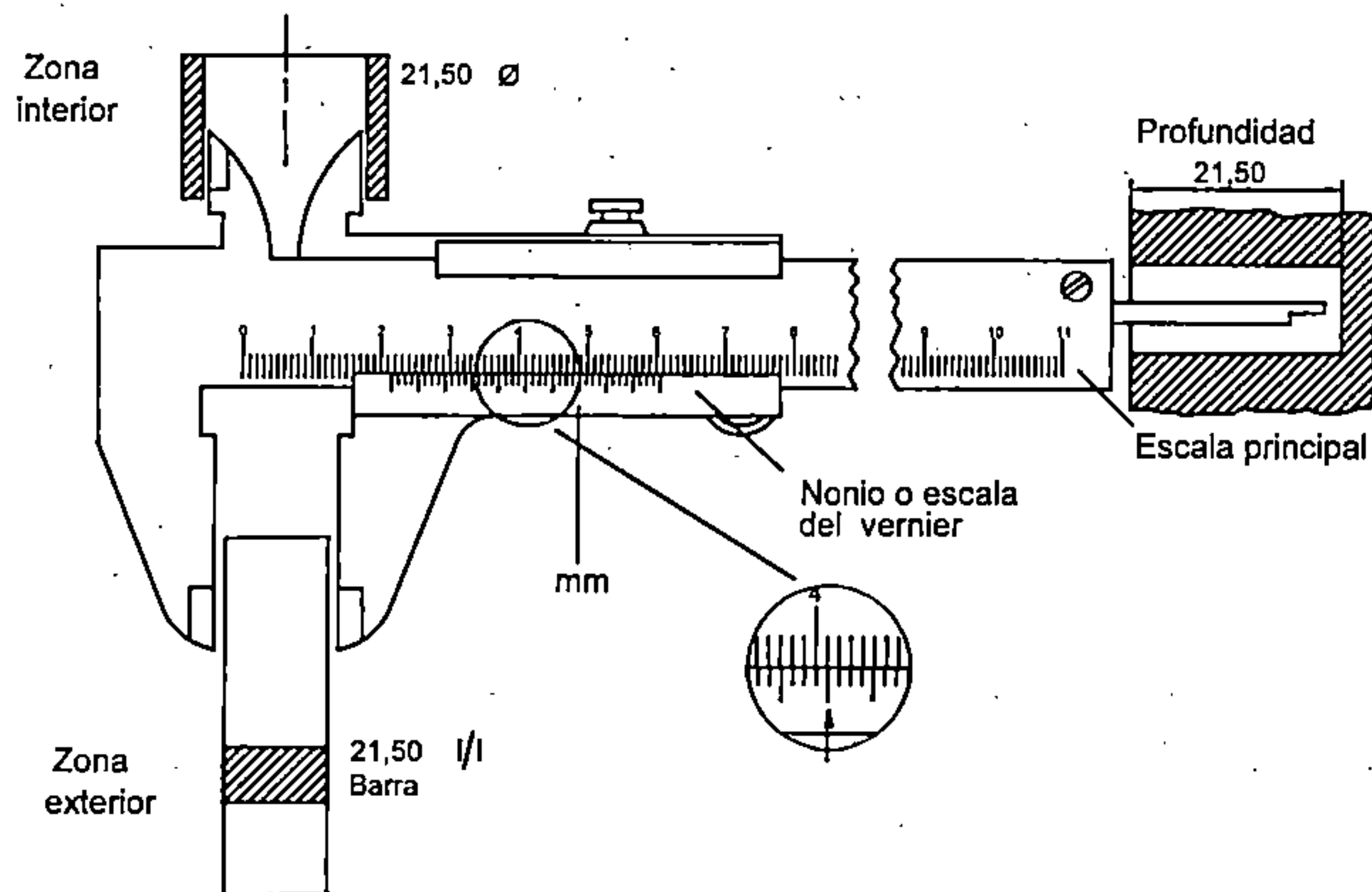


Figura 1. El vernier y sus aplicaciones.

Partes del vernier

Las partes principales del vernier o pie de rey son: las puntas de exteriores (1), las puntas de interiores (2), el profundímetro (3), la quijada fija (4), la quijada móvil (5), la regla fija y la regla móvil. Los detalles se observan en la figura 2.



122035

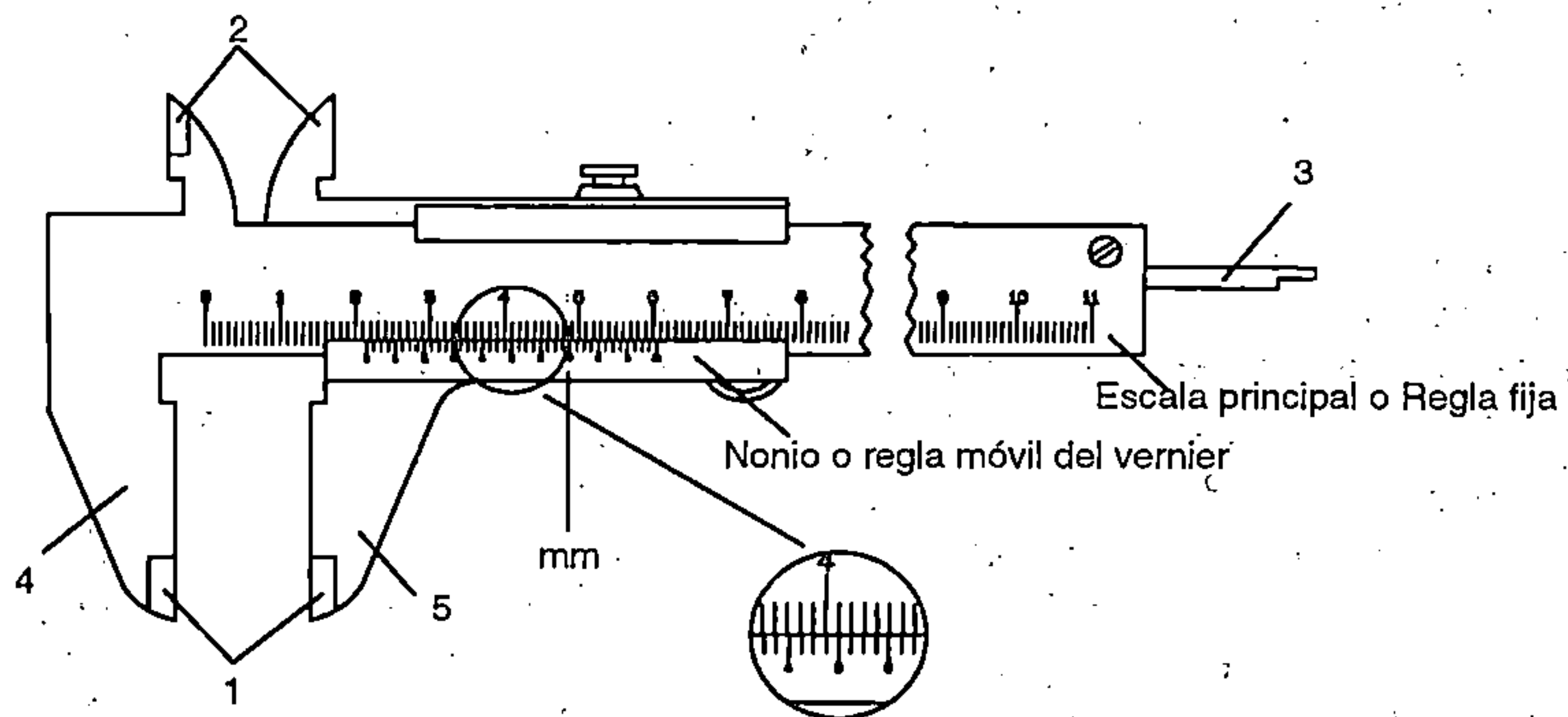


Figura 2. Las partes del vernier o pie de rey.

Lectura y precisión

La lectura es la siguiente:

$$L = L_0 + ND_x \cdot p_r$$

donde:

ND_x es el número de divisiones en que coincide una línea del nonio con alguna línea de la regla principal.

La precisión del vernier es la medida mínima de la regla fija entre el número de divisiones del nonio.

$$\text{Precisión } p_r = \frac{\text{Mínima medida de la regla principal}}{\text{Número de divisiones del nonio}}$$

Ejemplo:

La lectura del vernier de la figura anterior es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Precisión } p_r &= 1\text{mm}/40 \text{ divisiones} \\ &= 0,025\text{mm} \\ \text{Lectura al cero del nonio } L_0 &= 21,000\text{mm} \\ \text{Número de divisiones } ND_x &= 20 \text{ (o 21) divisiones} \end{aligned}$$

Luego la lectura es:

$$L = 21,000 + 0,025 \cdot 20 = 21,500\text{mm, o}$$

$$L = 21,000 + 0,025 \cdot 21 = 21,525\text{mm}$$

1.2 Micrómetro o pálmer. Partes, lectura y precisión

Micrómetro o pálmer

El micrómetro fue inventado por James Palmer en 1884. Puede tener la precisión en centésimo de milímetro o en milésima de pulgada. Hay micrómetros de exteriores, como el que se muestra en la figura 3, y también de interiores y de profundidad, como se puede apreciar en la figura 6.

Partes del micrómetro

Las partes del micrómetro son: husillo fijo, husillo móvil, horquilla, regla principal, manguito, tambor y rasqueta. El manguito y el vástago (regla principal) son los que determinan una lectura o medición. La rasqueta evita el ajuste inadecuado en una medición y por lo tanto permite conservar la calibración del instrumento. La pieza que se desea medir va entre los extremos del husillo fijo y el husillo móvil.

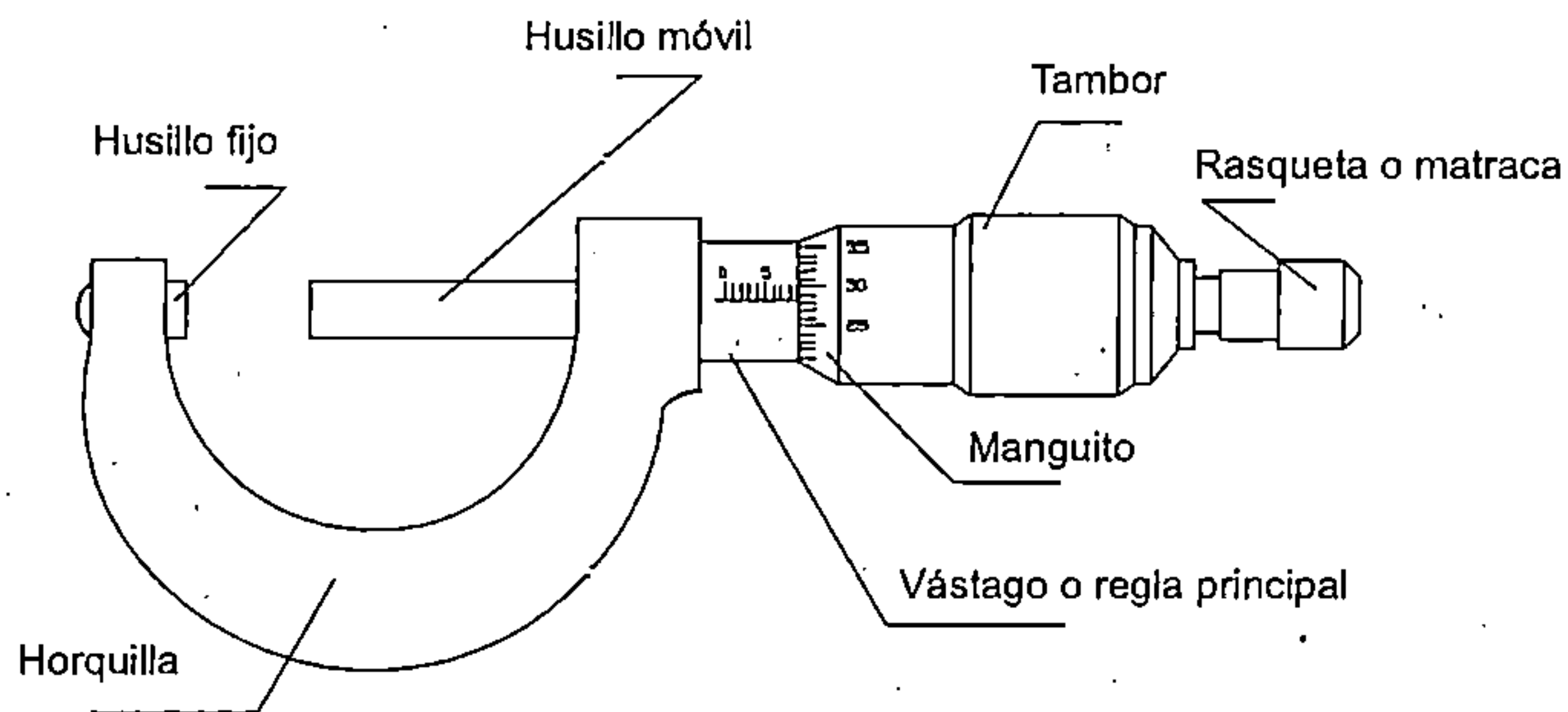


Figura 3. Micrómetro de 50 divisiones.

Lectura y precisión

La lectura de micrómetro se realiza de la siguiente manera:

$$L = L_0 + ND_x \cdot p_r$$

donde:

ND_x es el número de divisiones que coinciden entre el vástago y el manguito o tambor.

La precisión se determina con el siguiente cociente:

$$p_r = \frac{\text{Mínima medida del vástago}}{\text{Número de divisiones del manguito}}$$

Ejemplo de la lectura del micrómetro.

La lectura del pálmer de la figura 3 es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Precisión} \quad p_r &= 1\text{mm} / 50 \text{ divisiones} \\ p_r &= 0,02\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{Lectura al cero del nonio} \quad L_0 = 8,00\text{mm} \quad ?$$

$$\text{  mero de divisiones} \quad ND_x = 28 \text{ divisiones} \quad ?$$

Luego la lectura es:

$$L = 8,000 + 0,02 \cdot 28 = 8,56\text{mm}$$

1.3 Otros instrumentos de medición. Goniómetro. Profundímetro. Reloj comparador

La forma de lectura de todos los instrumentos de medición sigue el mismo método que el indicado en este capítulo. Además del profundímetro, el goniómetro y el reloj comparador, se tiene el calibrador de alturas, transportadores y algunos otros más.

Goniómetro o transportador universal

La escala principal del goniómetro es circular y está graduada en grados sexagesimales. La escala del nonio correspondiente puede estar graduada en incrementos de 5 minutos o de 30 minutos de grado.

Las graduaciones se pueden leer hacia la izquierda si el cero del nonio está a la izquierda del cero de la escala principal, o viceversa a la derecha, si el cero del nonio se sitúa a la derecha del cero principal.

La lectura de la figura 4 es la siguiente:

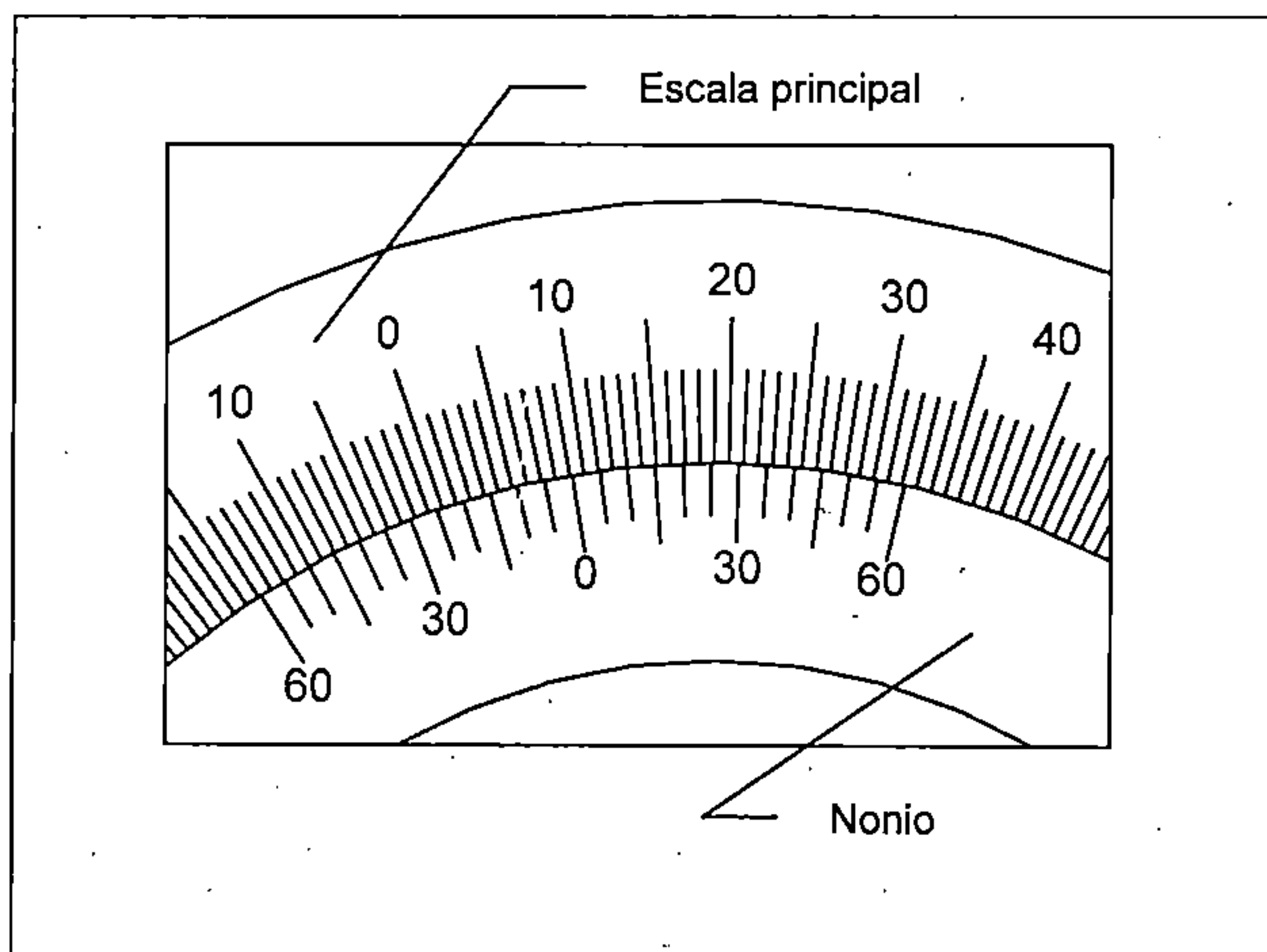


Figura 4. El goniómetro en lectura ampliada.

$$L = L_0 + ND_x \cdot p_r$$

$$L_0 = 9^\circ$$

$$ND_x = 2 \text{ divisiones del nonio de ángulos,}$$

$$P_r = L \text{ min} / ND$$

$$p_r = 1^\circ / 12 \text{ divisiones} = 60 \text{ minutos} / 12 \text{ divisiones} = 5 \text{ minutos}$$

Luego,

$$L = L_0 + ND_x \cdot p_r$$

$$L = 9^\circ + 2 \cdot 5 \text{ minutos}$$

$$L = 9^\circ 10'$$

Profundímetro

El profundímetro se asemeja a un micrómetro de exteriores, pero sin horquilla y por lo tanto sin husillo fijo. El husillo móvil determina la lectura de una profundidad o agujero ciego. Su lectura se efectúa de la misma forma que el micrómetro o pálmer. En la figura 5 se observan las partes del profundímetro.

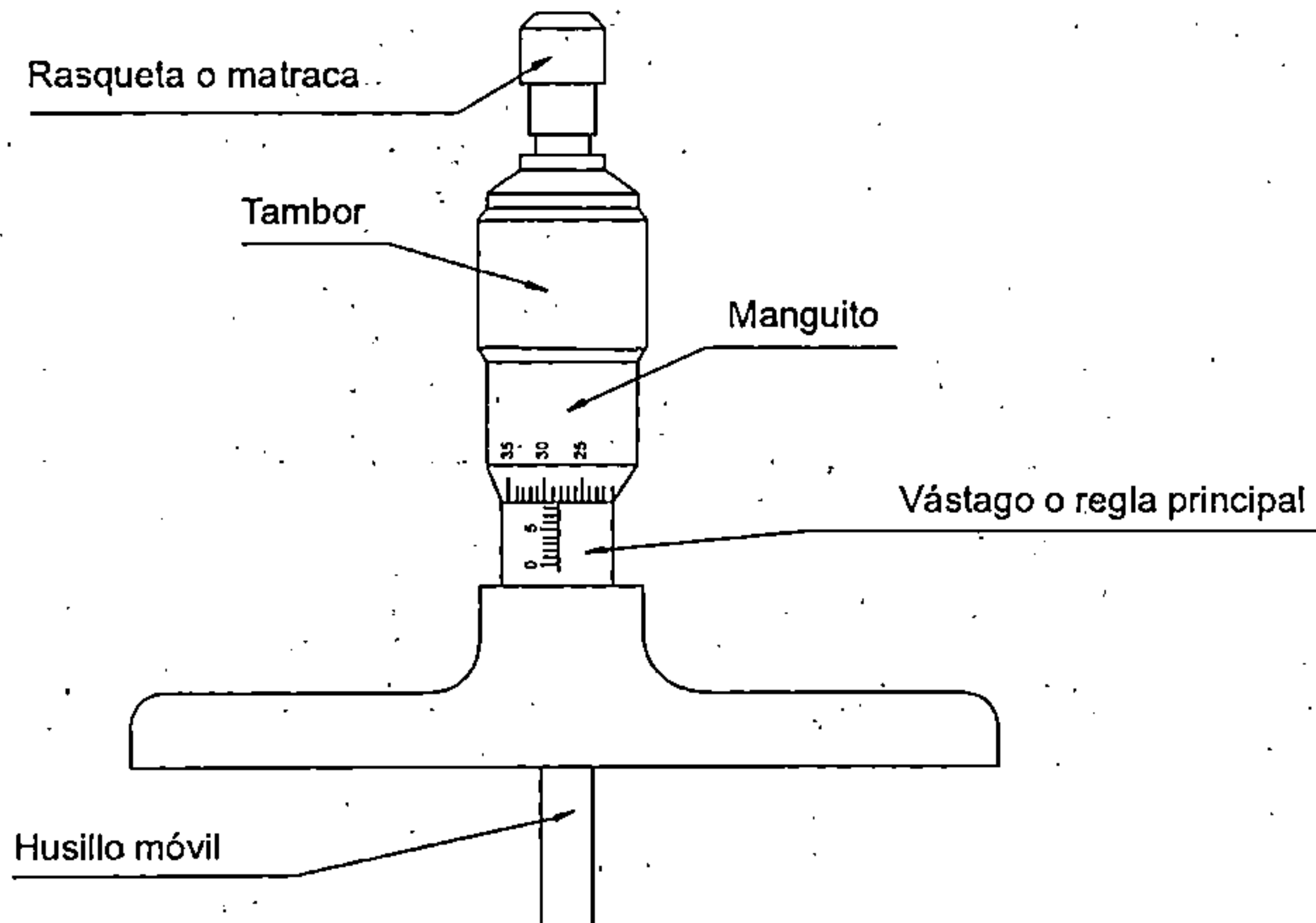


Figura 5. El profundímetro. El husillo móvil determina la profundidad a medir.

Reloj comparador

El reloj comparador es también llamado micrómetro de esfera, que indica la diferencia entre una medida real y una medida normal.

Con este instrumento de medición se puede comparar el redondo de piezas de revolución en el torno, así como también comparar la planitud de superficies con ayuda del mármol, entre otros.

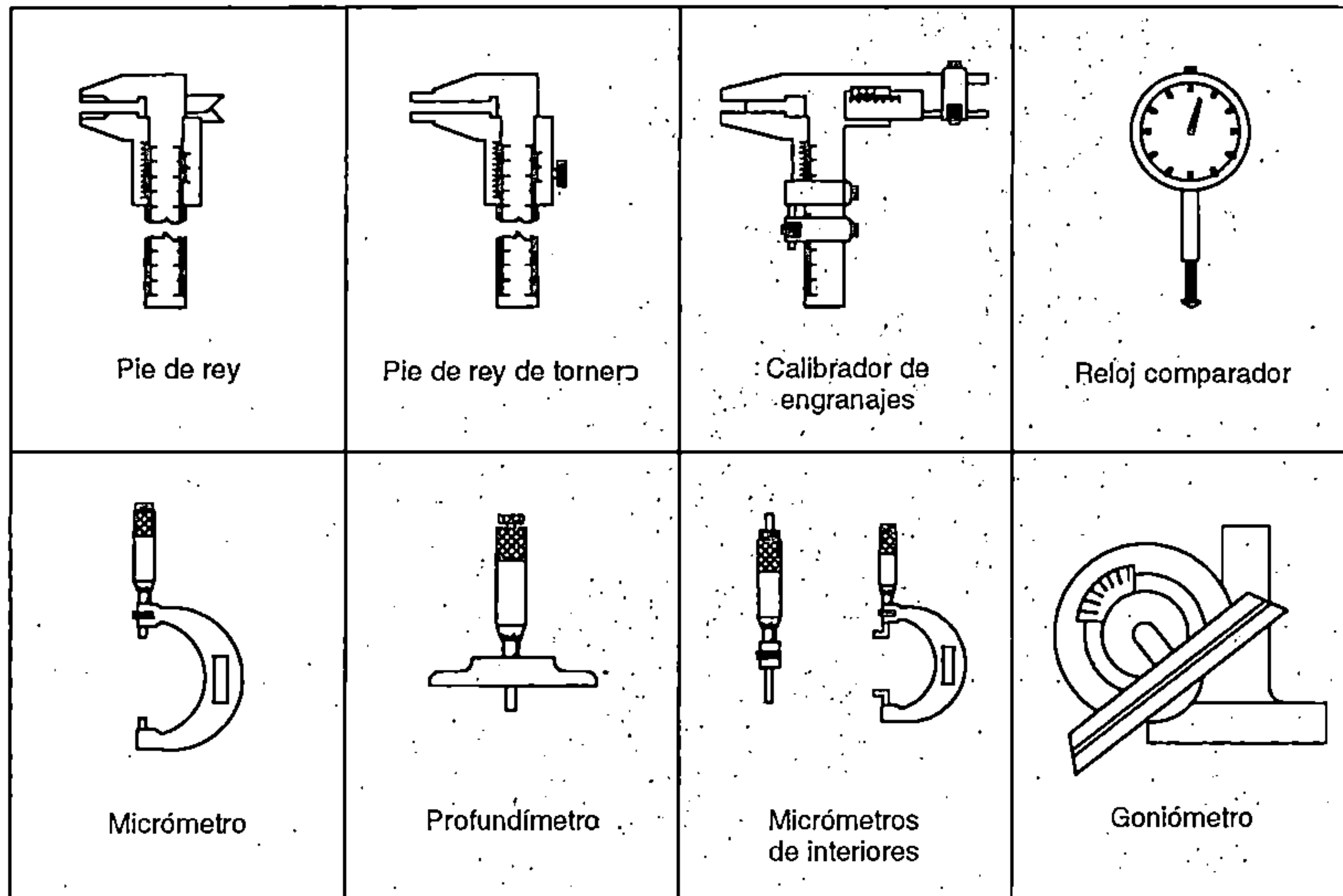


Figura 6. Instrumentos de medición directa.

1.4 Instrumentos de control. Medidores de presión. Medidores de temperatura. Medidores de potencia

Instrumentos de control

Los instrumentos de control pueden ser medidores de presión o de temperatura y de potencia. Asimismo, para la medición de caudales y de velocidades de flujo se utilizan diferentes dispositivos.

Con referencia a los medidores de viscosidad, densidad entre otros, se deja al lector la revisión de la literatura de operaciones y procesos unitarios. Con respecto a los medidores de revoluciones o contadores de vueltas, éstos se tratarán a través de ejemplos en menciones posteriores.

Medidores de presión

Entre la variedad de medidores de presión tenemos; una clasificación importante entre la presión absoluta y la relativa. Esto es barómetros y manómetros.

Barómetros

Los barómetros miden la presión absoluta del medio ambiente, y son base de referencia de los manómetros.

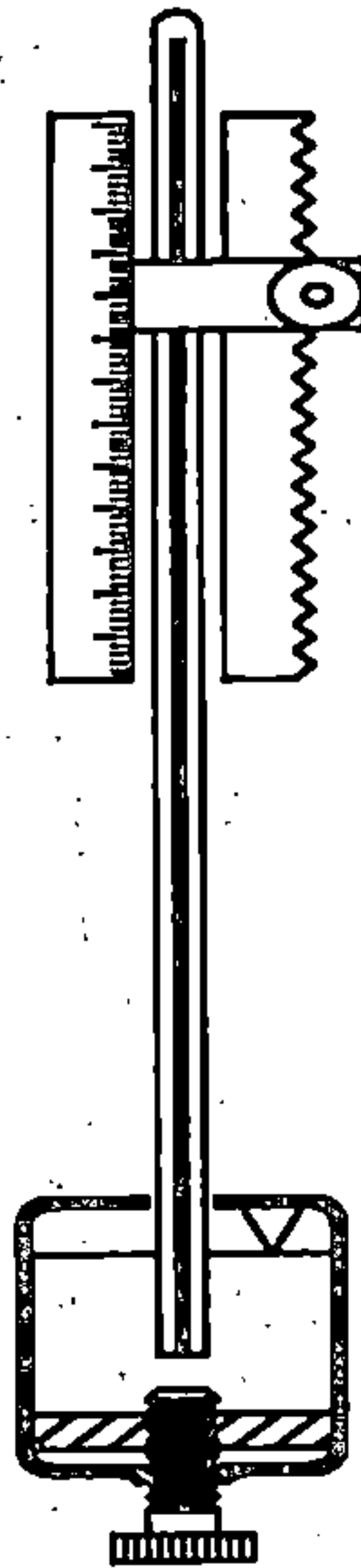


Figura 7. Barómetro de Fortin.

Manómetros

Miden la presión de un medio, tomando como referencia cero (0) de presión de ambiente. La presión manométrica es por lo tanto la presión absoluta menos la presión ambiente.

Entre otros manómetros se conocen los siguientes:

- *Manómetro tipo Bourdon o de aguja.*- Es el manómetro analógico de tipo reloj. El manómetro de Bourdon va instalado generalmente a tuberías de líquidos y gases, donde se desea un control visual permanente de la presión relativa del sistema.

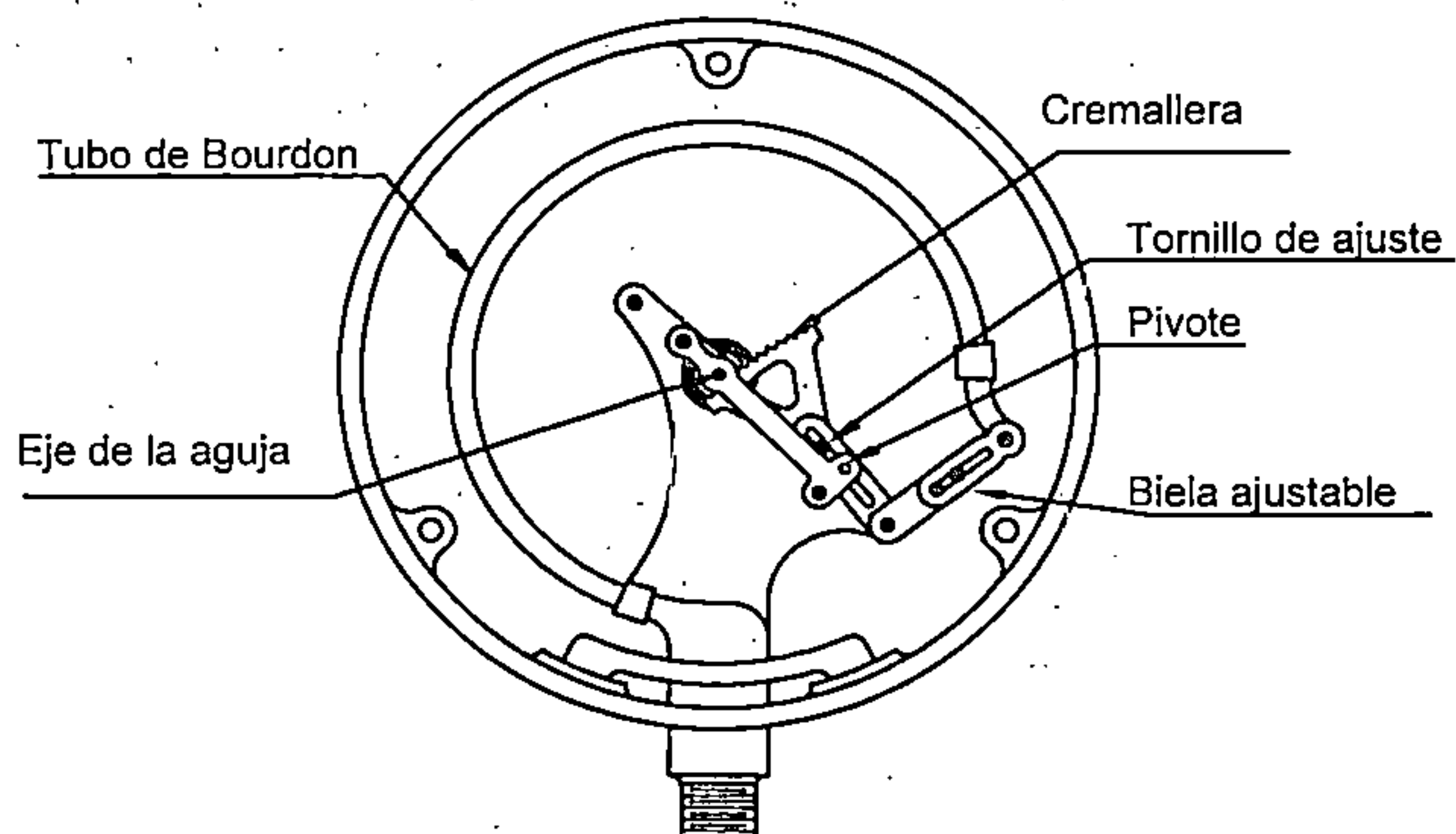


Figura 8. Manómetro tipo Bourdon.

- *Manómetro diferencial de tubo en U.*- Se le puede considerar el manómetro elemental de laboratorio. Determina la presión en un punto con la diferencia de alturas de una columna de líquido de mayor densidad que el medio, y no mezclable con él mismo.

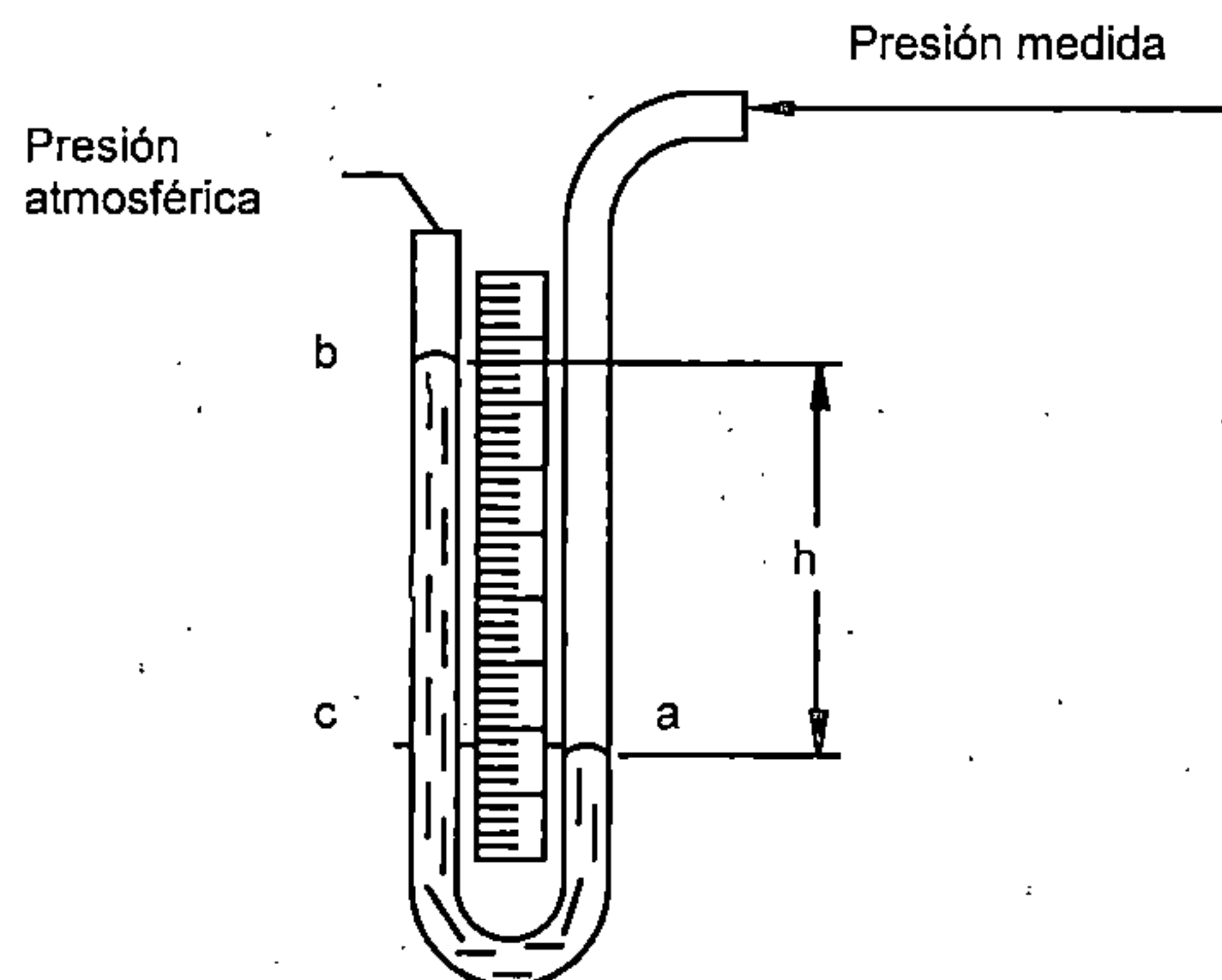


Figura 9. Manómetro en U

- *Manómetro diferencial inclinado.*- Ante diferencias de presión muy pequeñas, donde el manómetro en U no es capaz de registrar en forma visible los valores, entonces el manómetro inclinado amplifica la escala y por lo tanto aumenta la sensibilidad de medición.

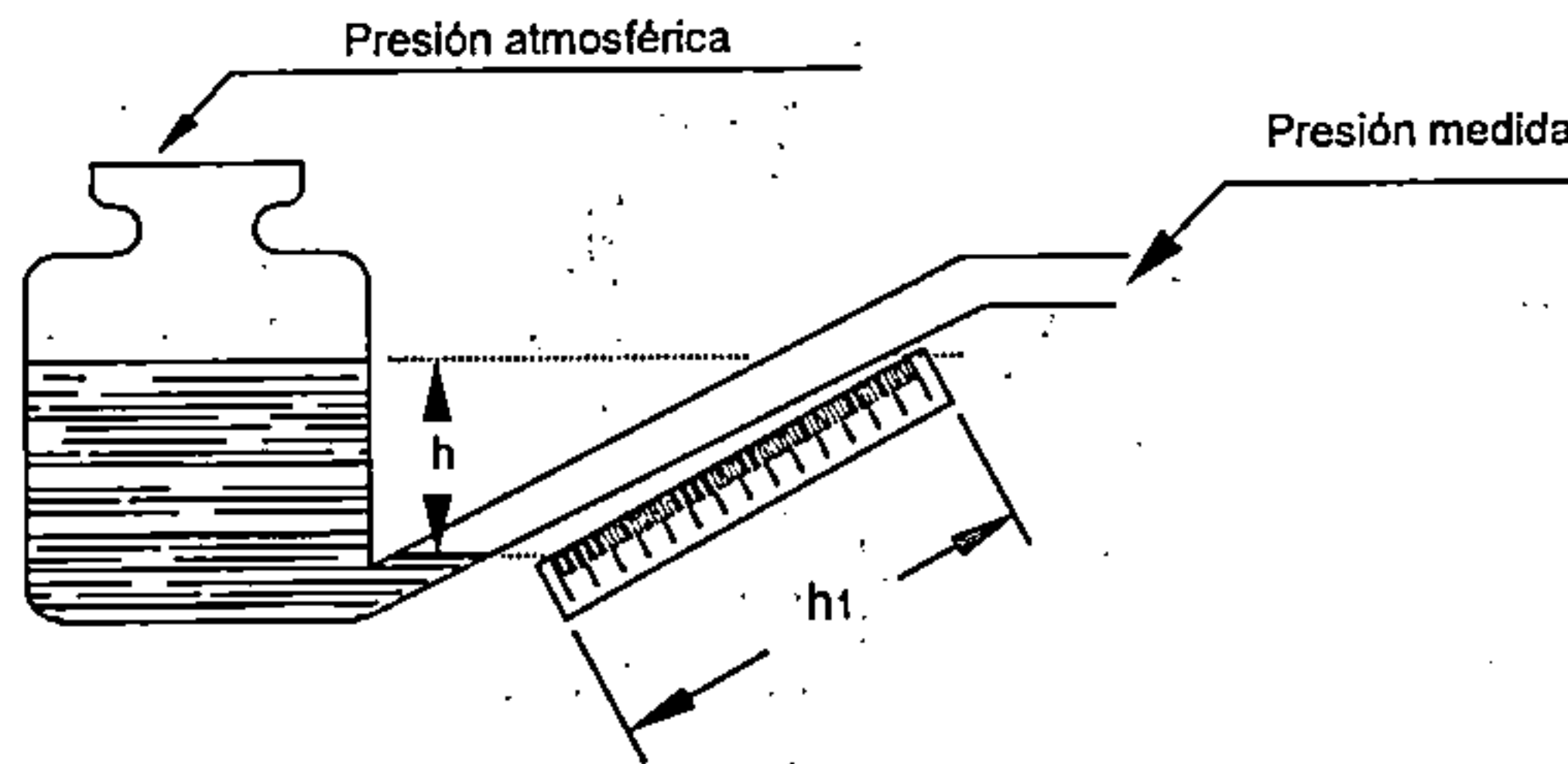


Figura 10. Manómetro inclinado.

Medidores de temperatura

Los medidores de temperatura son los termómetros o sensores de temperatura en sus diferentes modalidades. Entre otros se tiene:

Termómetros de bulbo de mercurio

El aumento de temperatura en el bulbo dilata el mercurio y la disminución de temperatura lo contrae.

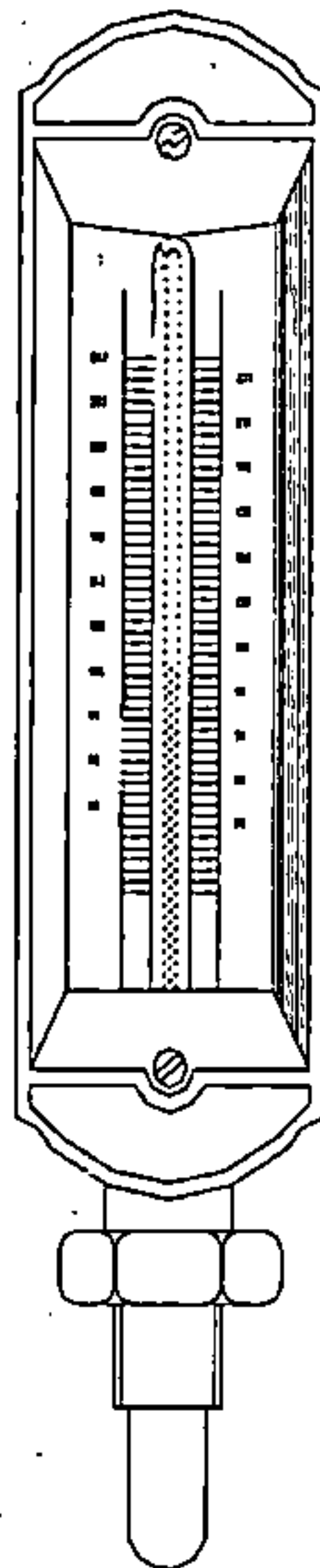


Figura 11. Termómetro industrial de mercurio.

Pirómetros o conos pirométricos

El cono, de acuerdo al calentamiento en el medio, de acuerdo con su inclinación da una referencia de la temperatura.

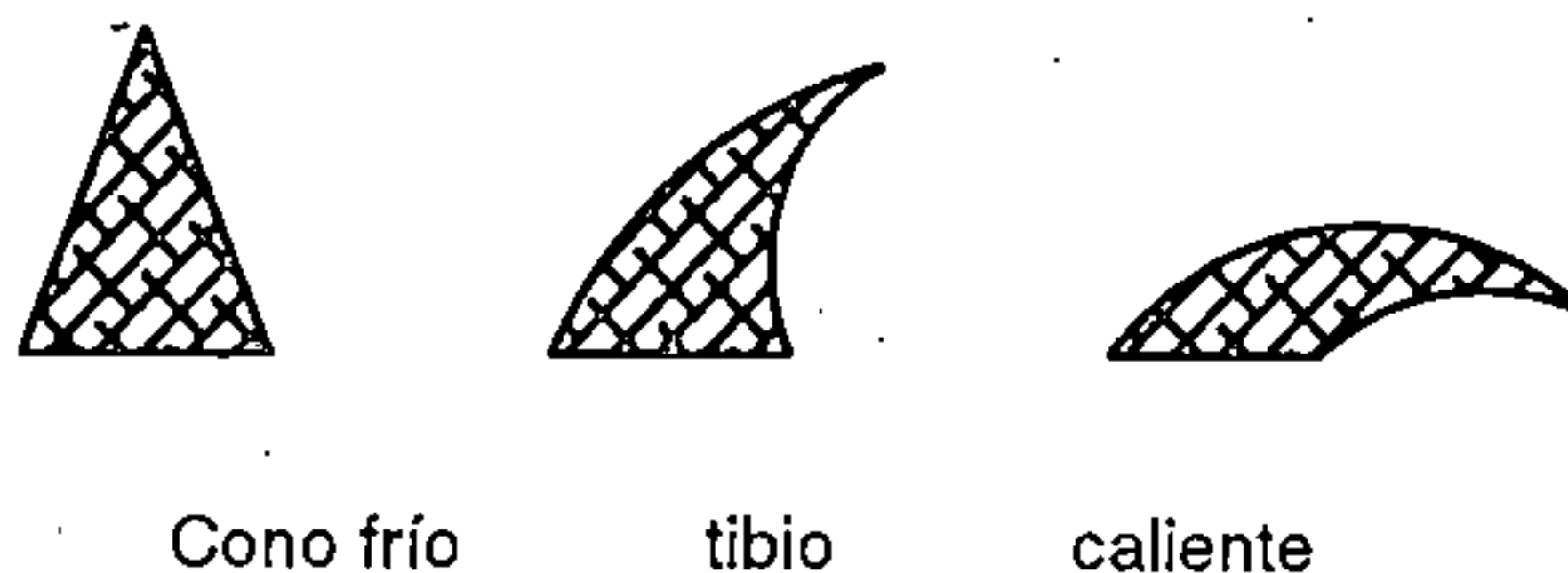


Figura 12. Conos pirométricos.

Termocupla o termopar

La termocupla se basa en el principio natural de generación de flujo de corriente de un cable hacia el otro, cuando estos dos cables de diferente material se unen en un extremo, y este extremo es colocado en una zona caliente, por ejemplo un horno. Los otros dos extremos se unen y se colocan en una

zona fría de referencia; por ejemplo, el medio ambiente. Al estar los dos extremos o juntas a diferente temperatura, se produce una corriente natural que puede ser medida con un multímetro o milivoltímetro.

La temperatura del horno será: $T_{\text{HORNO}} = T_{\text{AMB}} + k \cdot \Delta V$, donde T_{AMB} es la temperatura del medio ambiente, k es una constante que depende del material de los alambres A y B; y finalmente ΔV son los milivoltios registrados. Los detalles se observan en el termopar de la figura 13.

Algunos valores aproximados de referencia de la constante k , en grados centígrados por milivoltio, para cierto par de materiales es:

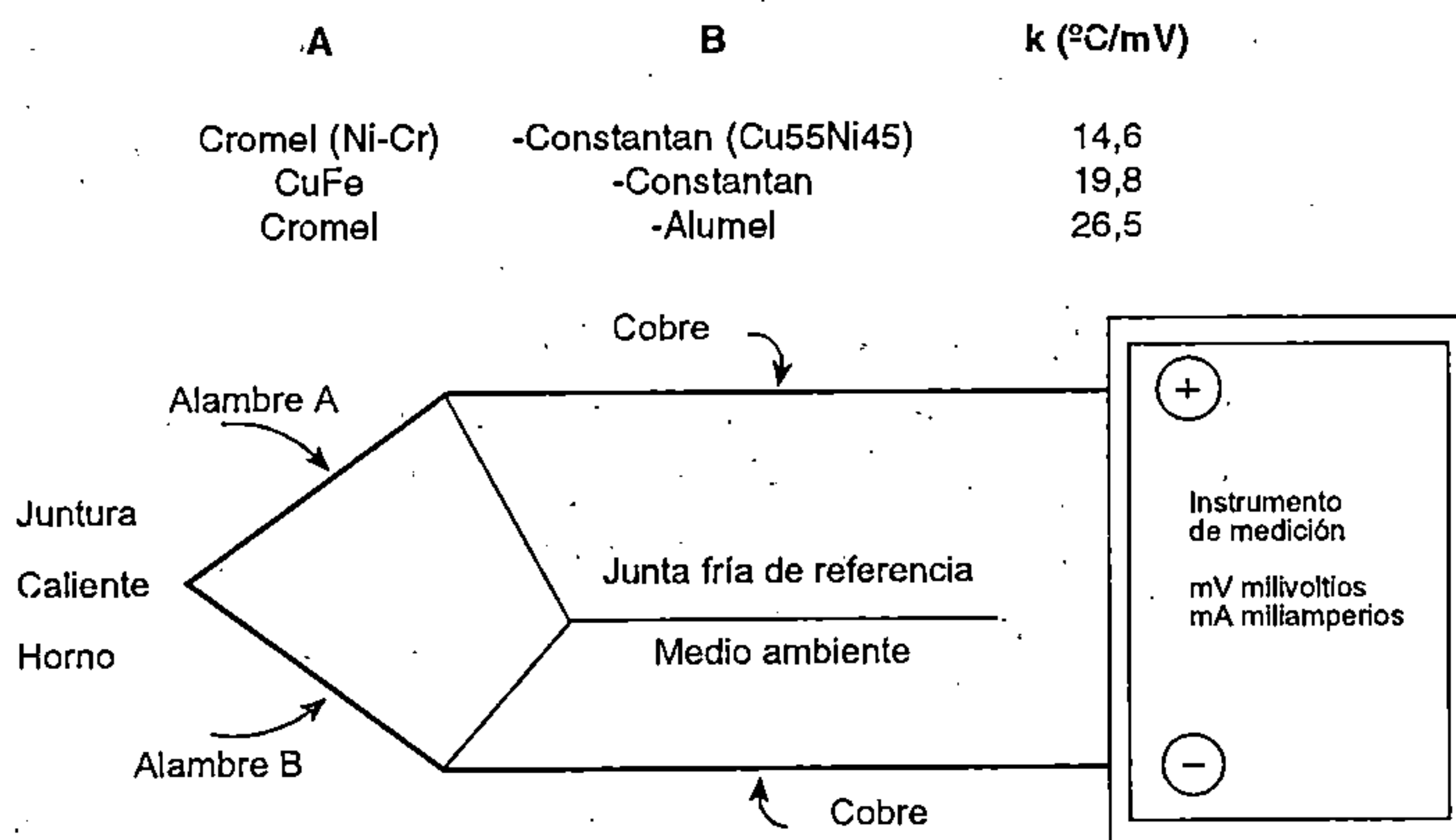


Figura 13. Termopar. Los alambres de cobre son extensiones de igual resistencia y no afectan las mediciones de voltaje producido por los alambres A y B.

Medidores de potencia

Los equipos de medición de potencia están referidos principalmente a determinar la potencia al eje o potencia efectiva, de motores de combustión interna y motores eléctricos. Si bien existen medidores de potencia media indicada, éstos no serán tratados en este texto.

El freno básico de medición de potencia efectiva es considerado el freno de Prony, cuya determinación de potencia se limita a medir el torque que transmite el eje del motor a través de un freno de zapata, el cual intenta hacer girar pero es impedido por una fuerza que actúa sobre una balanza, cuyo valor puede ser leído. Ya que el tambor del freno gira solidario con el eje del motor, aun cuando es frenado, entonces sus revoluciones por minuto o velocidad angular pueden ser medidas con un tacómetro o un osciloscopio.

Según la figura la potencia efectiva es:

$$P = T \cdot \omega$$

$$T = W \cdot L$$

ω = velocidad angular

Con un factor de conversión k , se puede obtener en algunos casos:

$$P = \frac{T \cdot n}{k}, \text{ en HP o en KW}$$

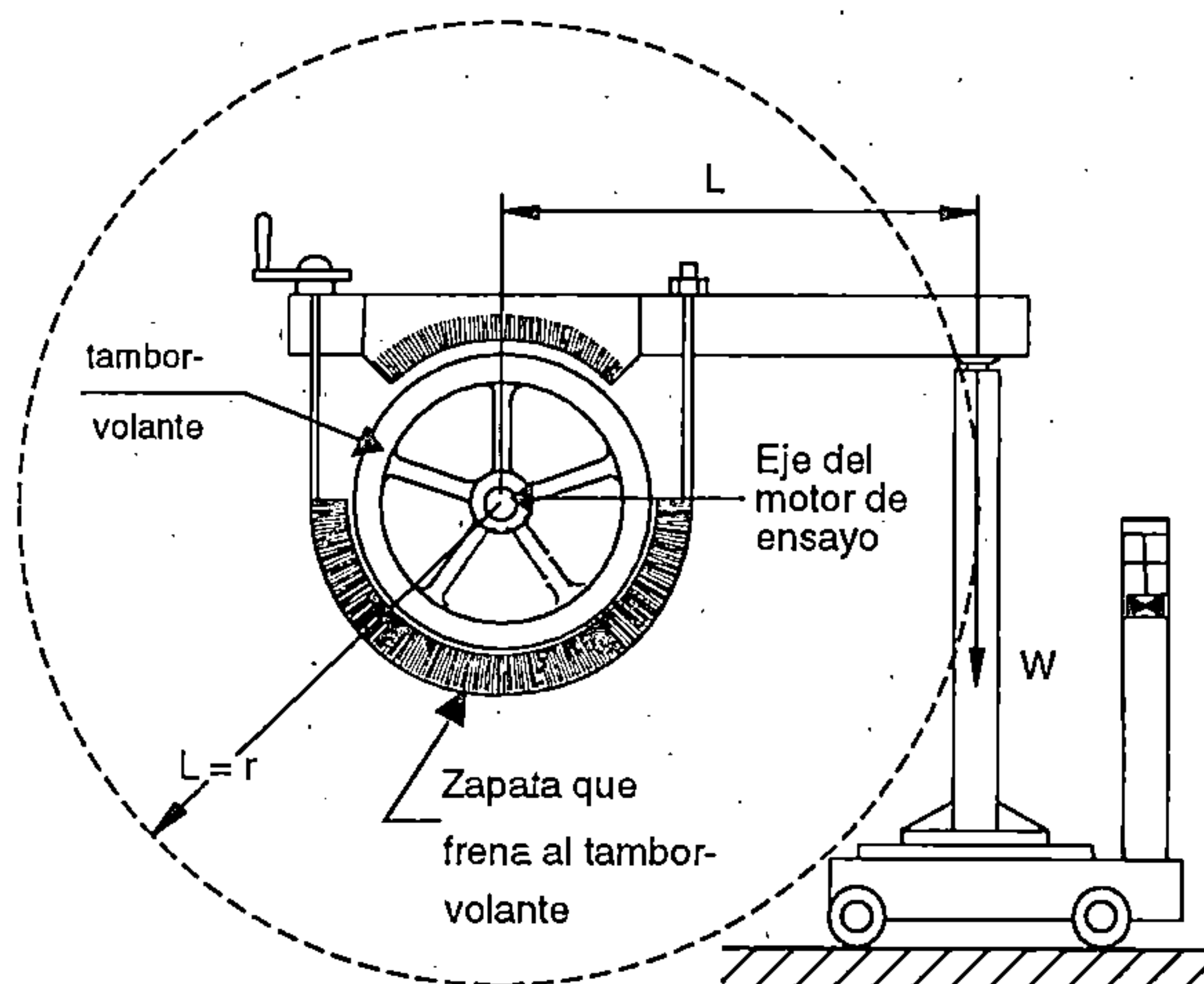


Figura 14. El freno de Prony. L es el brazo de palanca, es decir, $L = r$. El brazo L va de eje del motor a probar hasta la balanza donde actúa la fuerza W . N son rpm del motor de ensayo acoplado al tambor volante.

También existen dinamómetros hidráulicos, cuyo principio de funcionamiento es similar al de una turbina de agua en vez del freno de zapata, que es el elemento de absorción del torque. Igualmente, existen dinamómetros eléctricos en el cual el elemento de freno es un alternador de corriente.

1.5 Instrumentos de verificación. Escuadras y reglas. Calibradores *gauge* o galgas. Piedra mármol y azul de Prusia

Los instrumentos de verificación son elementos de comparación de medidas de longitud, de perpendicularidad, de planitud y de angularidad.

Escuadras y reglas

Escuadra

La escuadra es un instrumento de madera o metal, en forma de la letra L, que sirve para comprobar la perpendicularidad de las superficies y para trazar.

Regla

La regla es un instrumento de madera, metal u otra materia rígida, delgada y de forma rectangular que sirve para trazar líneas rectas y para medir longitudes. Las longitudes se miden con ayuda de las marcas, en enteros y fracciones de unidades, que están grabadas en la regla.

Calibradores gauge y galgas

Son instrumentos que sirven básicamente para la verificación de medidas. Estas medidas pueden ser número de hilos de una rosca, luz o huelgo entre dos superficies o topes, diámetro de agujeros, arcos interiores, arcos exteriores y otros.

Calibre de roscas interiores y exteriores

Las galgas de roscas indican el paso p o el número de hilos por pulgada NH , según sea el sistema. La rosca milimétrica da el paso del hilo y la galga se compara con la rosca según el paso.

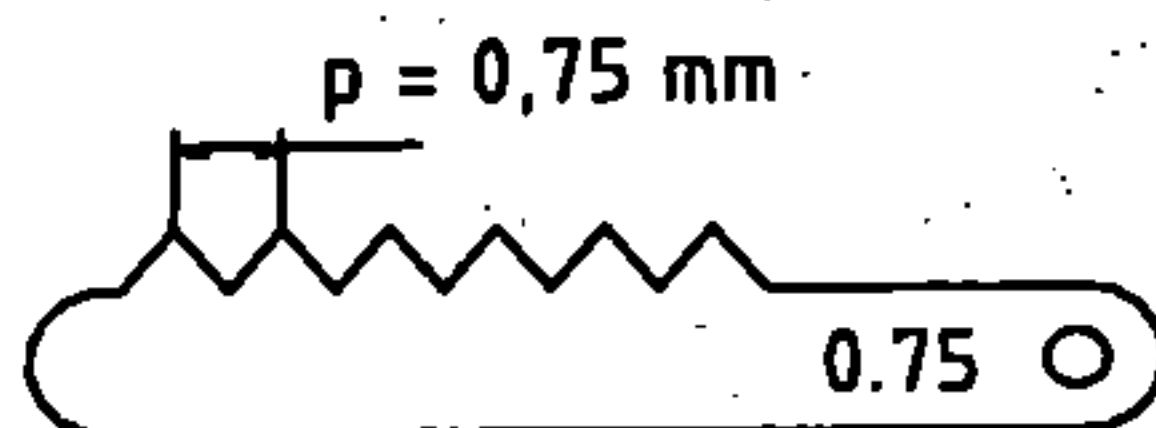


Figura 15. Gauge cuentarrosas en milímetros.

La rosca en pulgadas da el número de hilos por pulgada, y la galga se compara con la rosca según el número de hilos por pulgada.

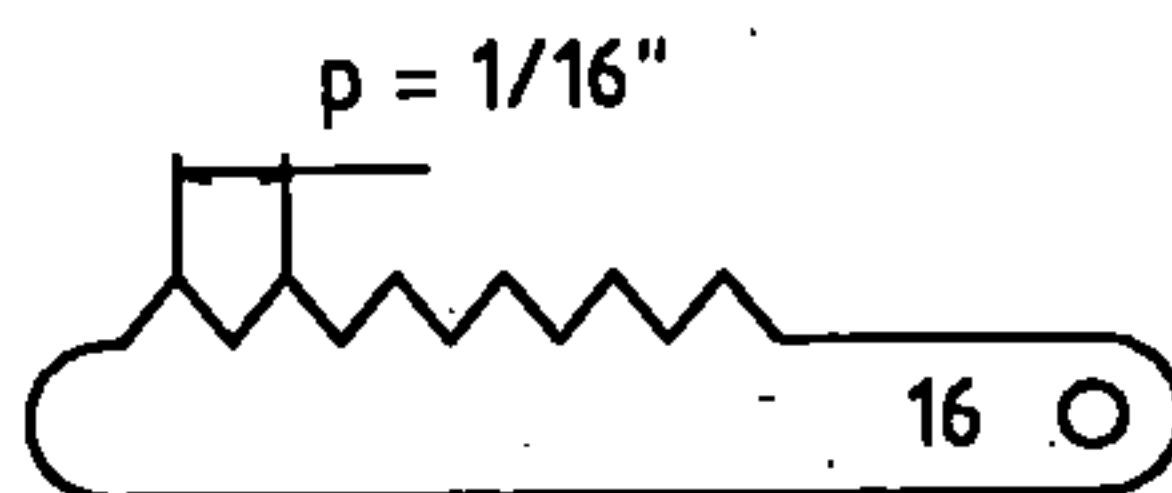


Figura 16. Gauge cuentarrosas en pulgadas.

Calibre de luz

Permite controlar la luz, huelgo o espacio libre entre dos caras, como en platinos, bujías, válvulas, juego de ejes y otros.

Calibre de agujeros

Sirven para comparar agujeros pequeños de inyectores, surtidores, toberas.

Calibre de arcos interiores y exteriores

También se llaman galgas de radios, y comparan el radio de los arcos interiores y arcos exteriores, como filetes de acabado, metales o cojinetes.

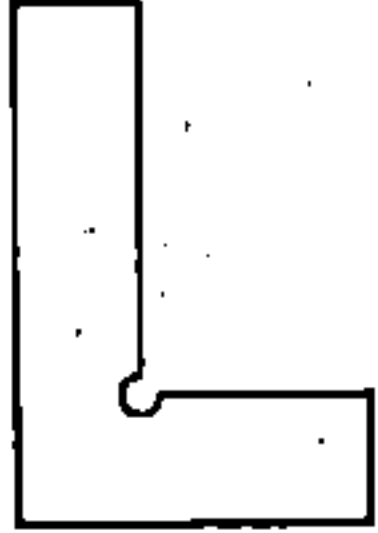
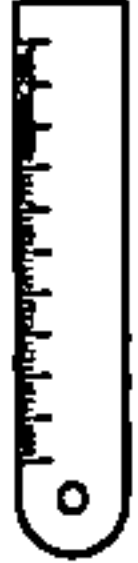
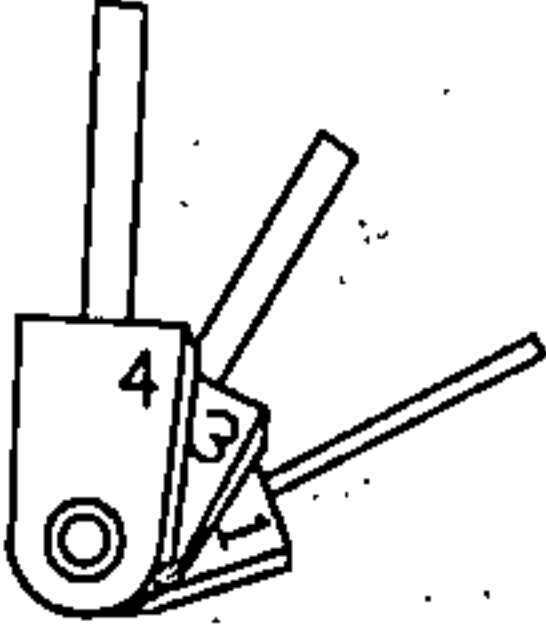
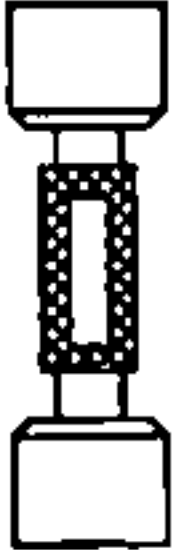
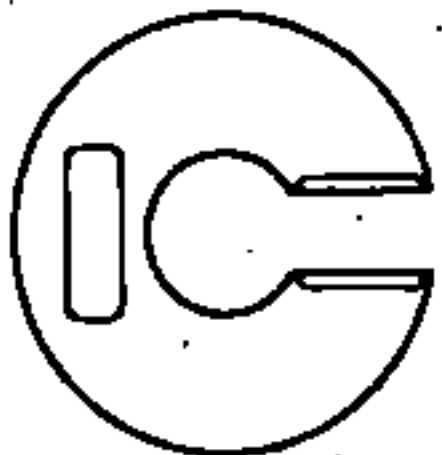
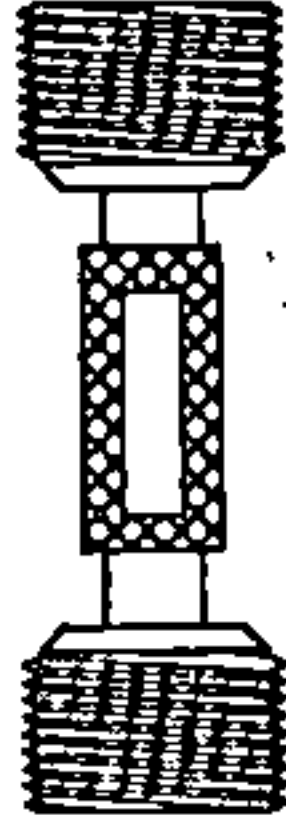
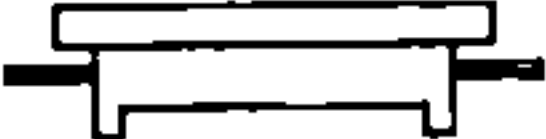
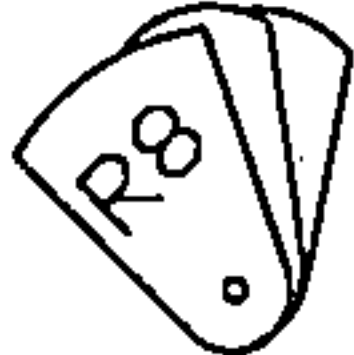
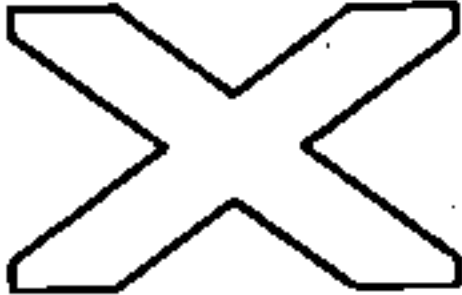
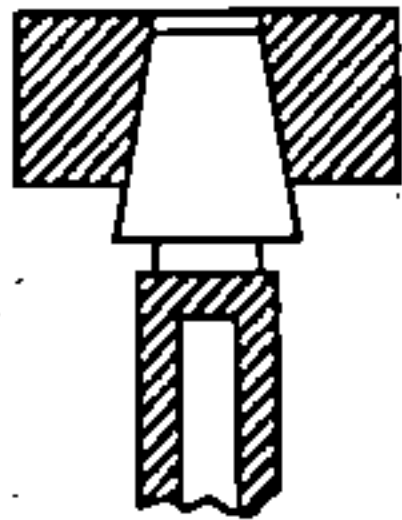
 Escuadra	 Regla	 Calibre de radios exteriores	 Calibre de diámetros
 Calibre fijo	 Calibre hembra	 Calibre de roscas interiores	 Calibre de roscas exterior
 Mármol	 Calibre de radios interiores	 Calzo	 Calibre de conos

Figura 17. Instrumentos de comparación o medición indirecta.

Piedra mármol y azul de Prusia

El mármol es la superficie plana, patrón por excelencia en un taller de metal-mecánica. Éste permite hacer comparación de planitud de piezas generalmente metálicas.

El azul de Prusia es una pasta de color azul con propiedades de adherencia a los metales, con ayuda del mármol permite determinar zonas cóncavas o convexas en una superficie aparentemente plana. De esta manera, al frotar la superficie plana de la pieza de trabajo con la película de azul de Prusia, haciendo círculos sobre la piedra mármol, quedarán con el color azul sólo las zonas cóncavas. De igual forma, como en el caso de la figura, si se deja la película de la pasta azul sobre el mármol, entonces el color quedará impregnado en la zona convexa o saliente de la pieza plana.

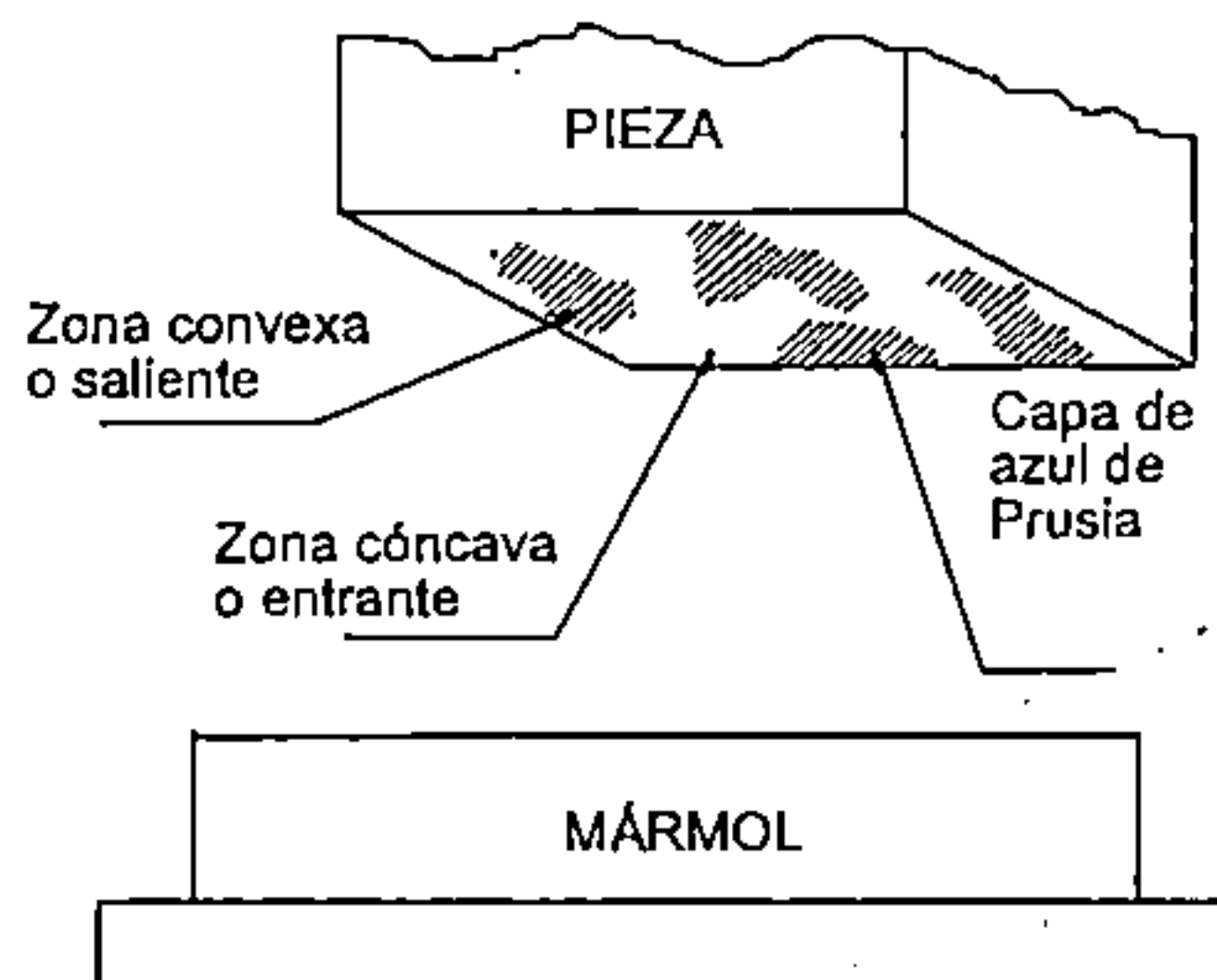
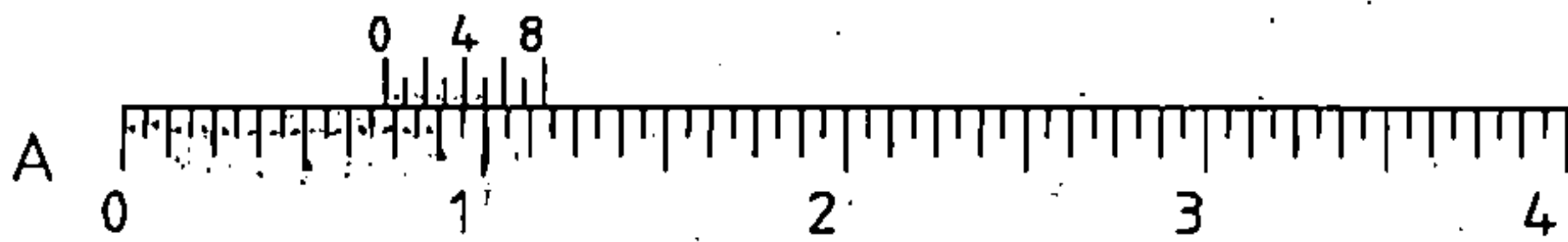


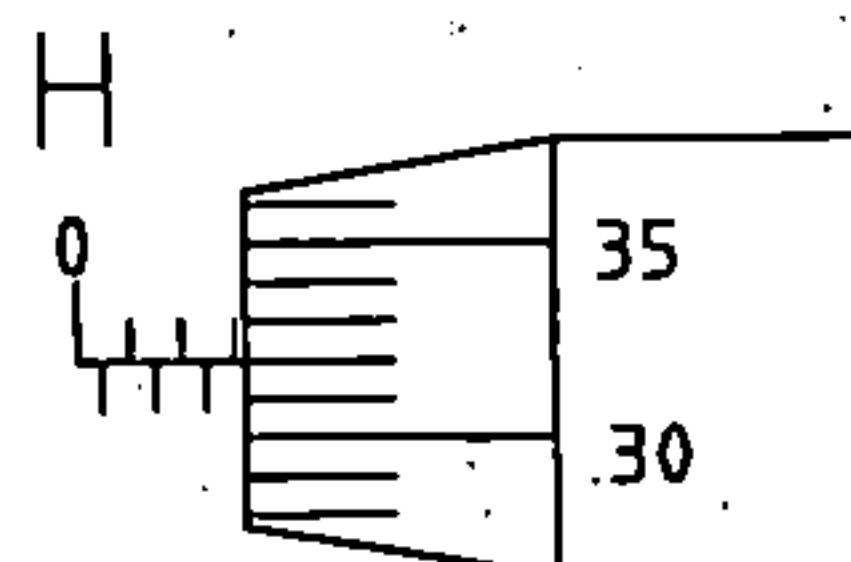
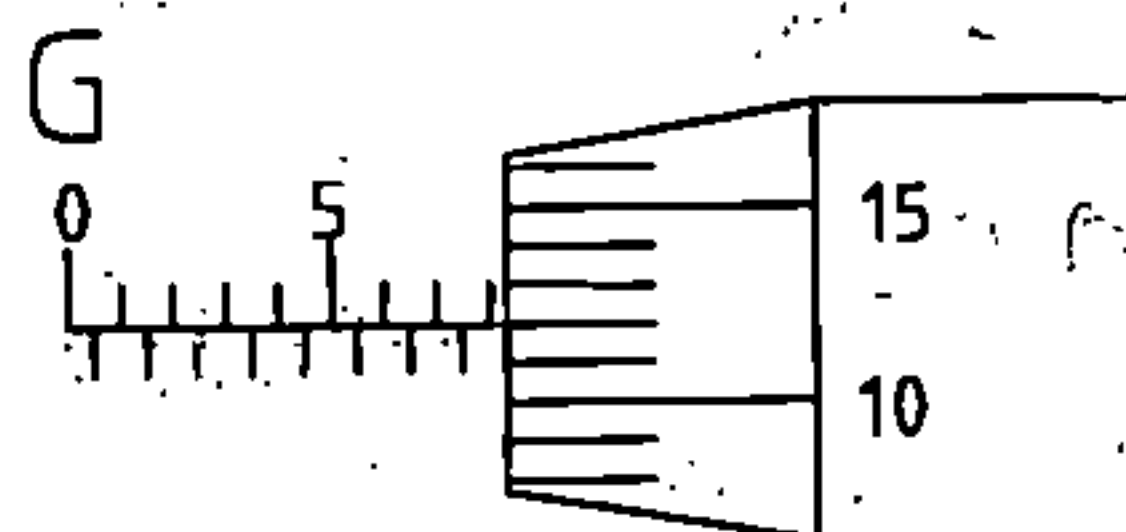
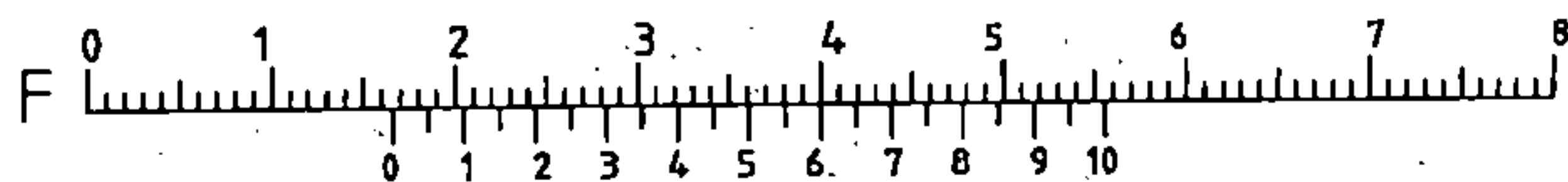
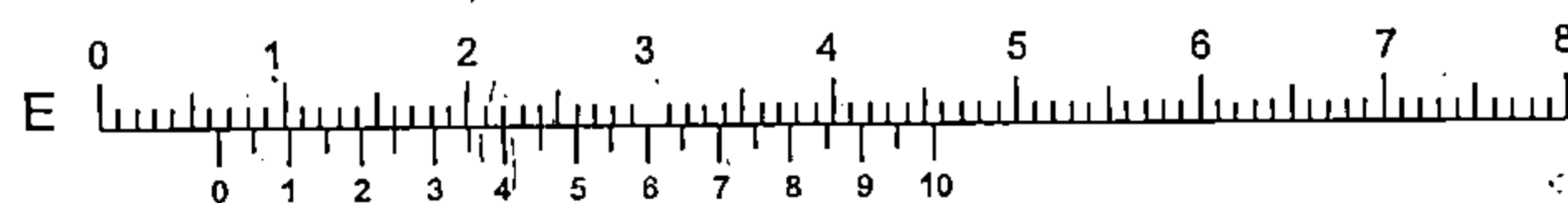
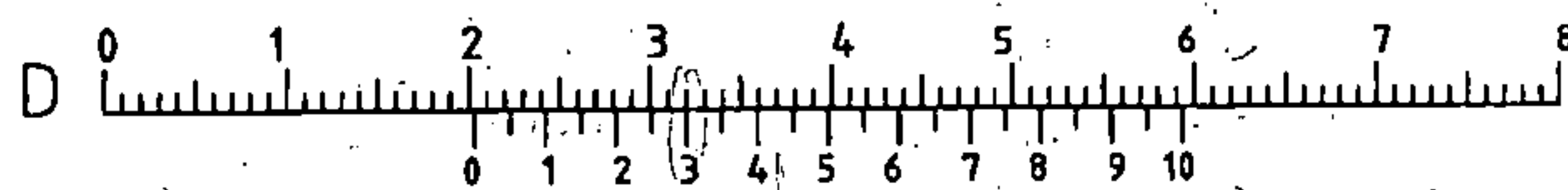
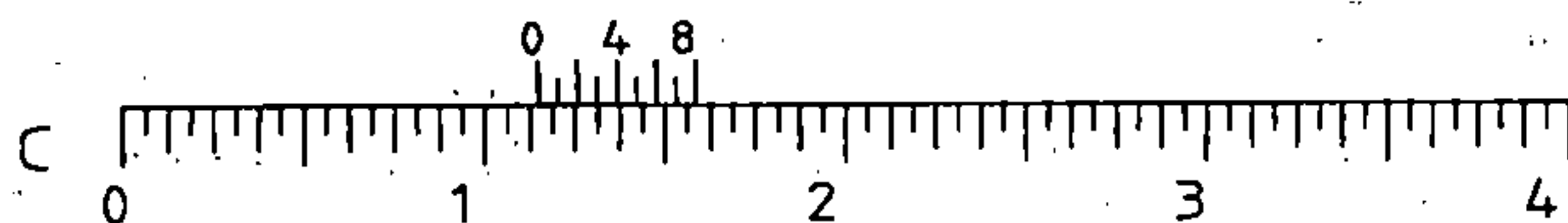
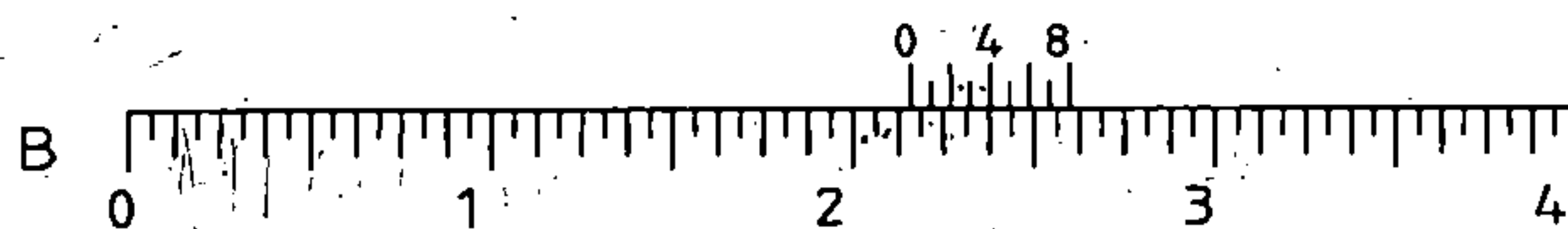
Figura 18. La piedra mármol. Se muestra la aplicación del azul de Prusia sobre una superficie para controlar su planitud.

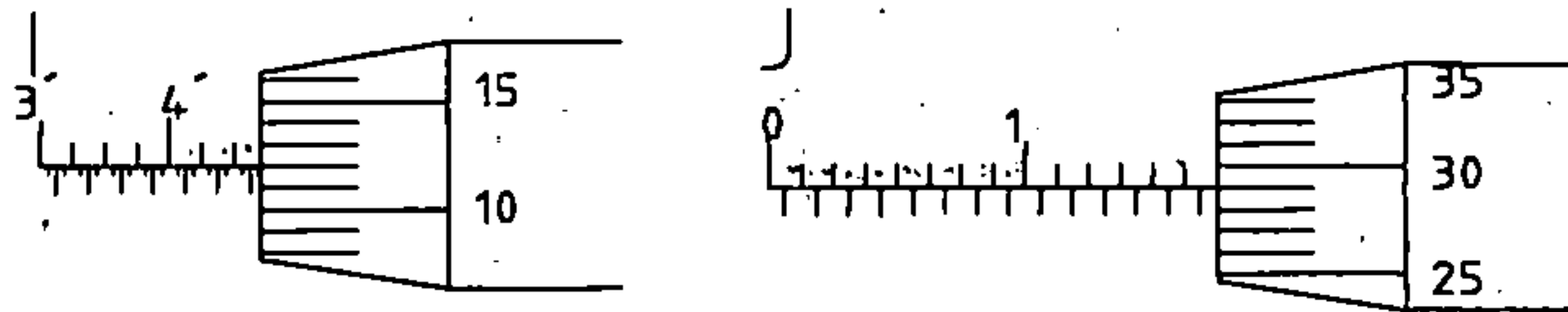
2. PROBLEMAS DE APLICACIÓN

Problema 1

Dados los instrumentos de la figura adjunta, determinar la precisión y lectura de los mismos. Las figuras A, B, C son verniers en escala pulgadas. D, E, F son micrómetros en milímetros. Las figuras G, H son micrómetros en milímetros con 50 divisiones del tambor. I, J son en pulgadas con 20 y 40 divisiones del tambor respectivamente.







Solución:

- a) La precisión es: $p_r = L_{\min} / ND$, $L_{\min} = 1/16''$, $ND = 8$ divisiones

Luego: $p_r = 1/128''$

La lectura es: $L = L_0 + ND_x \cdot p_r$
 $L_0 = 11/16''$ hasta el cero del nonio
 $ND_x = 5$ (la división 5 del nonio coincide con alguna línea de la escala principal)

Luego: $L = \frac{11}{16} + \frac{1}{128}(5) = \frac{93}{128}''$, o aproximadamente, $L \approx 0.7266''$

- b) La precisión es: $p_r = L_{\min} / ND$, $L_{\min} = 1/16''$, $ND = 8$ divisiones

Luego: $p_r = 1/128''$

La lectura es: $L = L_0 + ND_x \cdot p_r$
 $L_0 = 2'' + 2/16''$ hasta el cero del nonio
 $ND_x = 4$ (la división 4 del nonio coincide con alguna línea de la escala principal)

Luego: $L = 2 + \frac{2}{16} + \frac{4}{128} = 2 \frac{5}{32}''$, o aproximadamente, $L \approx 2.1563''$

- c) $p_r = L_{\min} / ND$, $L_{\min} = 1/16''$, $ND = 8$ divisiones. $p_r = 1/128''$

$L_0 = 1 \frac{1}{8}''$ hasta el cero del nonio; $ND_x = 3$

Luego: $L = 1 \frac{1}{8} + \frac{3}{128} = 1 \frac{19}{128}''$, o aproximadamente, $L \approx 0.1484''$

d) $p_r = L_{\min} / ND$, $L_{\min} = 1\text{mm}$, $ND = 20$, $p_r = 1/20 = \underline{0,05\text{mm}}$

$L_0 = 20\text{ mm}$, $ND_x = 6$, $L = 20 + (0,05)6 = \underline{20,30\text{mm}}$

e) $L_{\min} = 1\text{mm}$, $ND = 20$, $p_r = \underline{0,05\text{mm}}$, $L_0 = 6\text{mm}$, $ND_x = 9$

$L = 6 + (0,05)9 = \underline{6,45\text{mm}}$

f) $L_{\min} = 1\text{mm}$, $ND = 20$, $p_r = \underline{0,05\text{mm}}$, $L_0 = 16\text{mm}$, $ND_x = 12$

$L = 16 + (0,05)12 = \underline{16,60\text{mm}}$

g) $L_{\min} = 0,5\text{mm}$, $ND = 50$, $p_r = \underline{0,01\text{mm}}$, $L_0 = 8,0\text{mm}$, $ND_x = 12$

$L = 8,0 + (0,01)12 = \underline{8,12\text{mm}}$

h) $L_{\min} = 0,5\text{mm}$, $ND = 50$, $p_r = \underline{0,01\text{mm}}$, $L_0 = 3,0\text{ mm}$; $ND_x = 32$

$L = 3,0 + (0,01)32 = \underline{3,32\text{mm}}$

i) $L_{\min} = 1/16"$, $ND = 20$ divisiones, $p_r = \underline{1/320}"$, $L_0 = 4" + \frac{10}{16}$, $ND_x = 12$

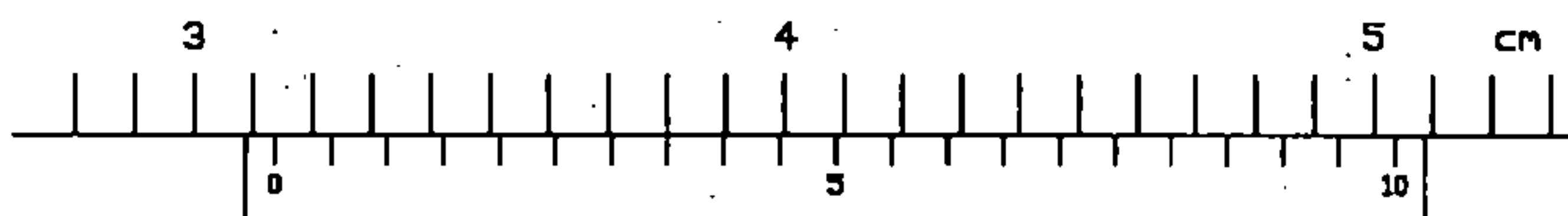
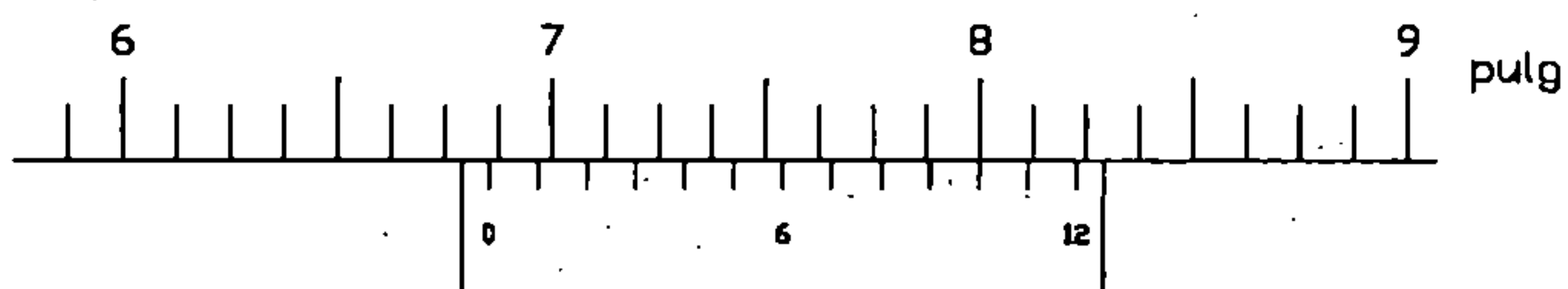
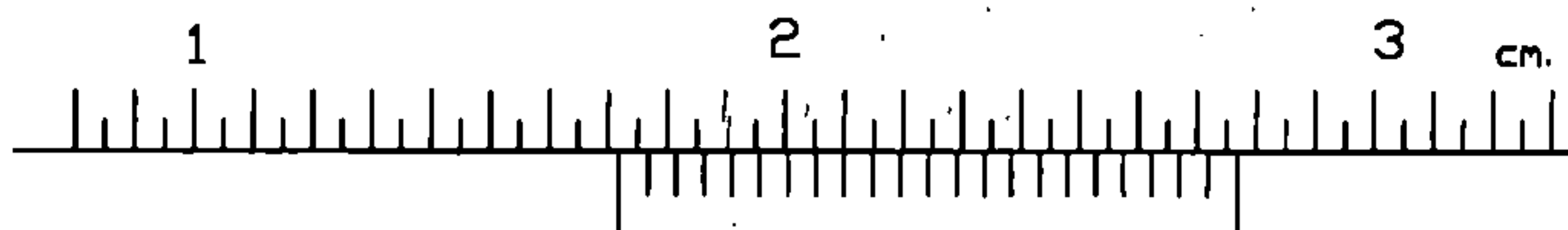
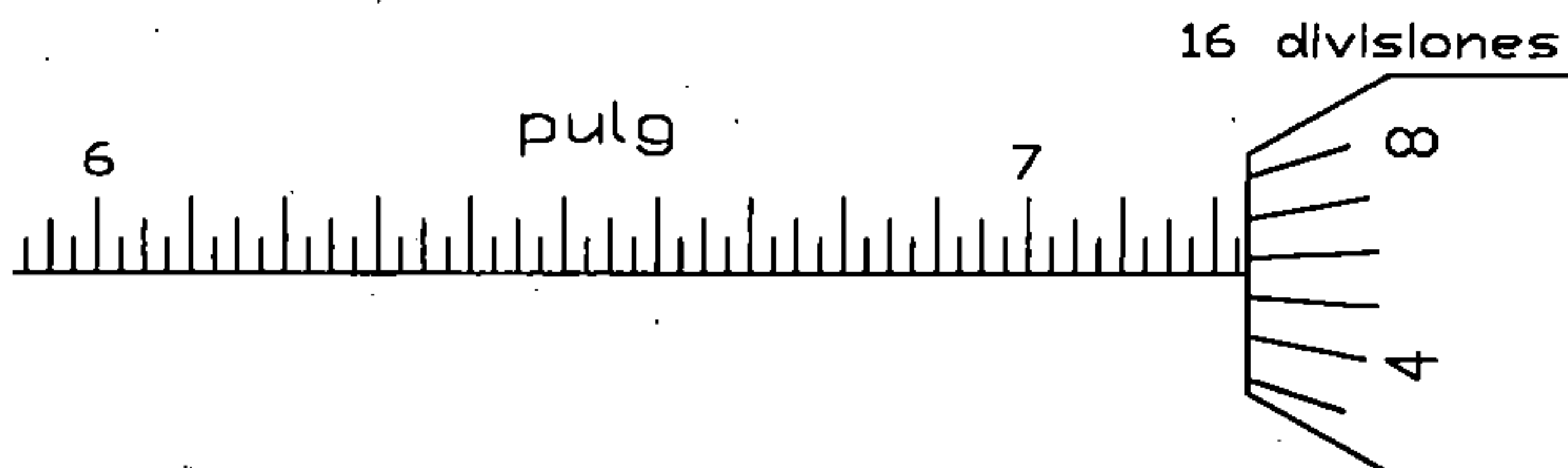
Luego: $L = 4\frac{10}{16} + \frac{12}{128} = 4 + \frac{50}{80} + \frac{3}{80} = 4\frac{53}{80}$, $L \approx \underline{4,6625}"$

j) $L_{\min} = 1/16"$, $ND = 40$ divisiones, $p_r = \underline{1/640}"$, $L_0 = 1" + \frac{11}{16}$, $ND_x = 29$

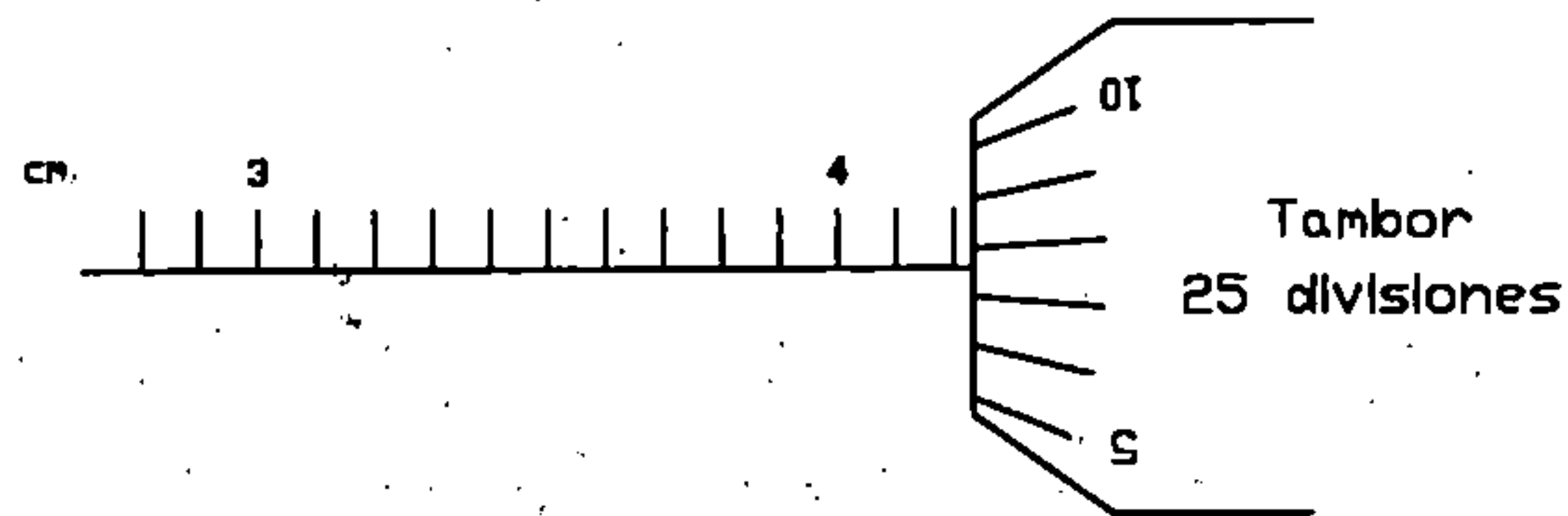
Luego: $L = 1\frac{11}{16} + \frac{29}{640} = 1 + \frac{440}{640} + \frac{29}{640} = 1\frac{469}{640}$, $L \approx \underline{0,7328}"$

Problema 2

Determinar la precisión y lectura de los 5 instrumentos que se muestran a continuación.

a) Vernier**b) Pie de rey****c) Calibrador****d) Pálmer**

e) Micrómetro de exteriores



Solución:

a) Precisión $p_r = 1\text{mm}/20 = \underline{0,05\text{mm}}$

Lectura $L = 31 + 0,05 (7) = \underline{31,35\text{mm}}$

b) Precisión $p_r = (1/8)/12 = \underline{1/96 \text{ pulg.}}$

Lectura $L = 6 \frac{6}{8} + \frac{1}{96} (10) = 6 \frac{82}{96} = 6 \frac{41}{48} \text{ pulg.}$

c) Precisión $p_r = \frac{0,5}{20} = \underline{0,025\text{mm}}$

Lectura $L = 17,5 + (0,025) 7 = \underline{17,675\text{mm}}$

d) Precisión $p_r = (1/40)/16 = \underline{1/640''}$

Lectura $L = 7 \frac{9}{40} + \frac{1}{640} (5) = 7 \frac{149}{640} \text{ (lectura por defecto)}$

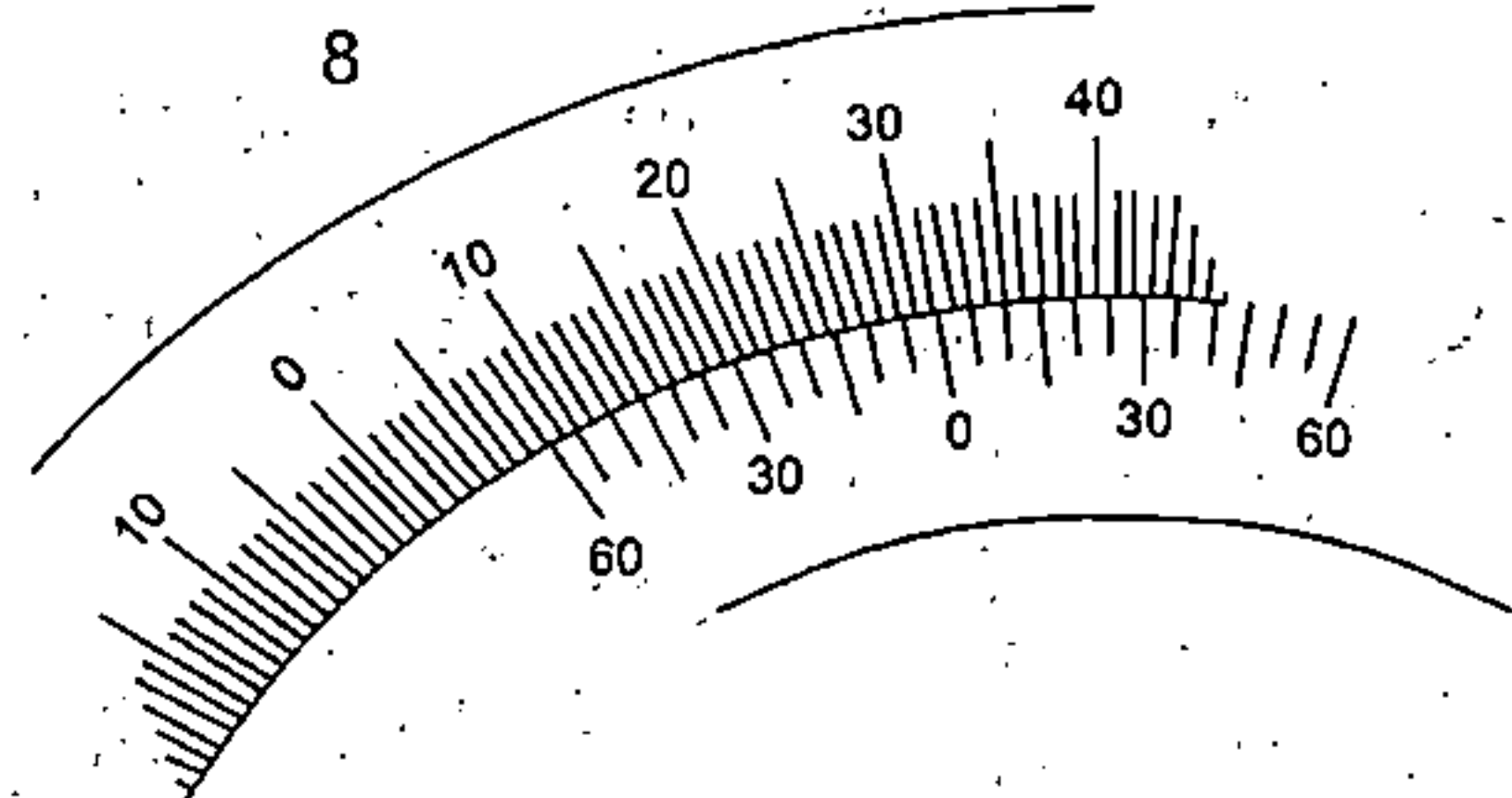
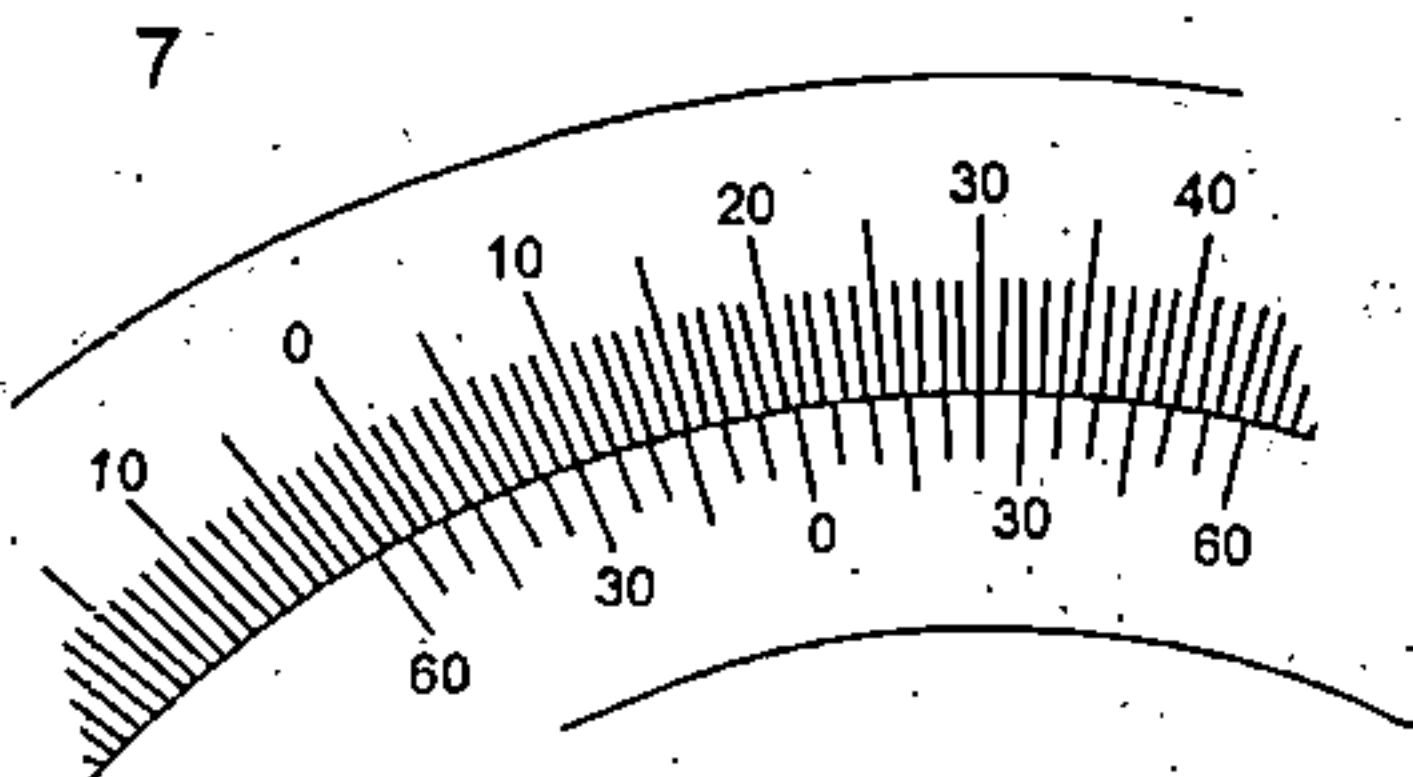
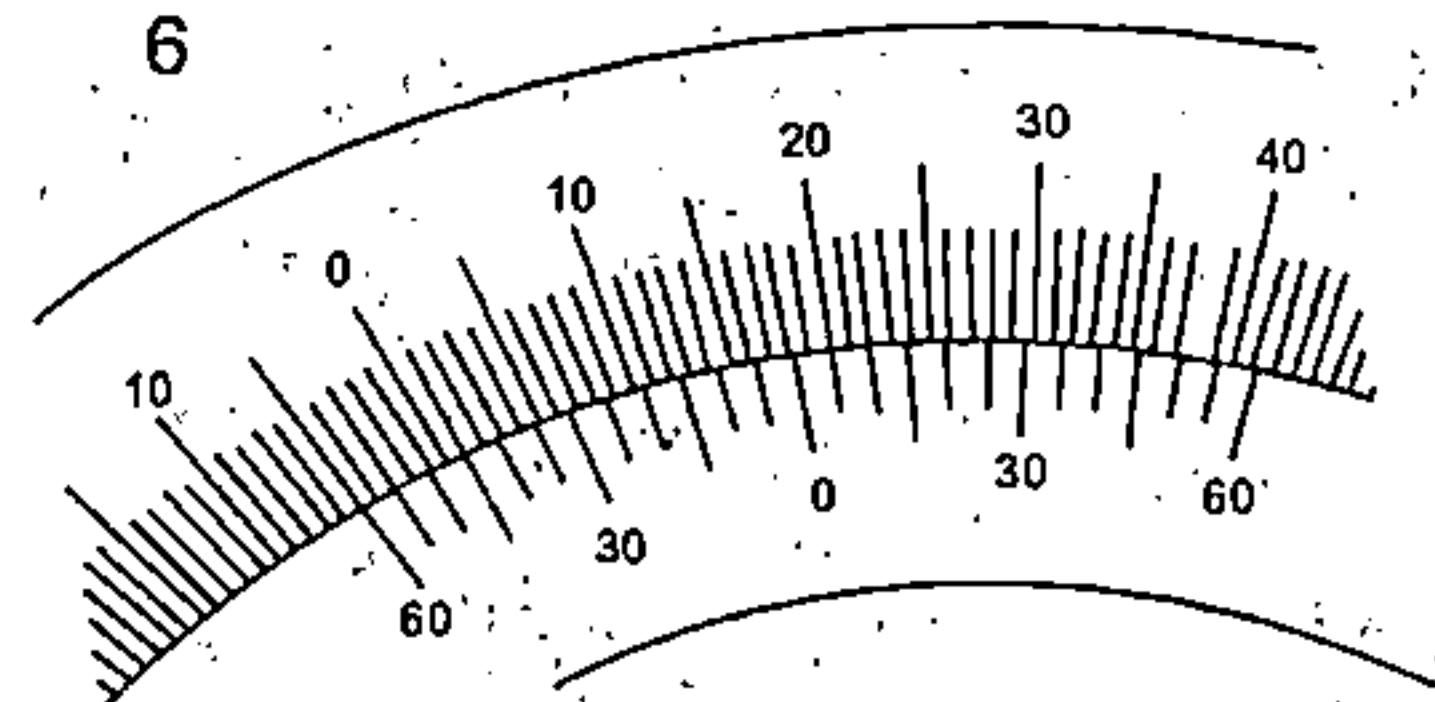
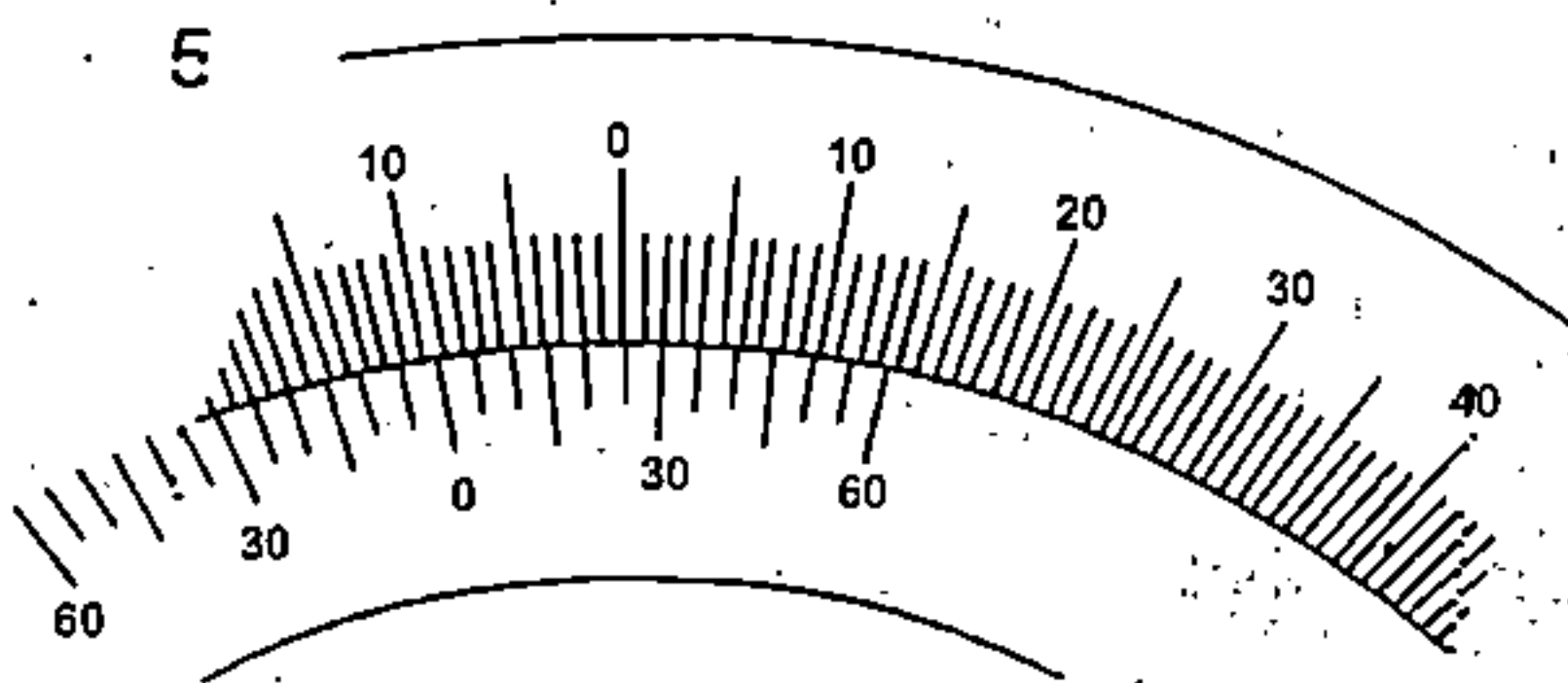
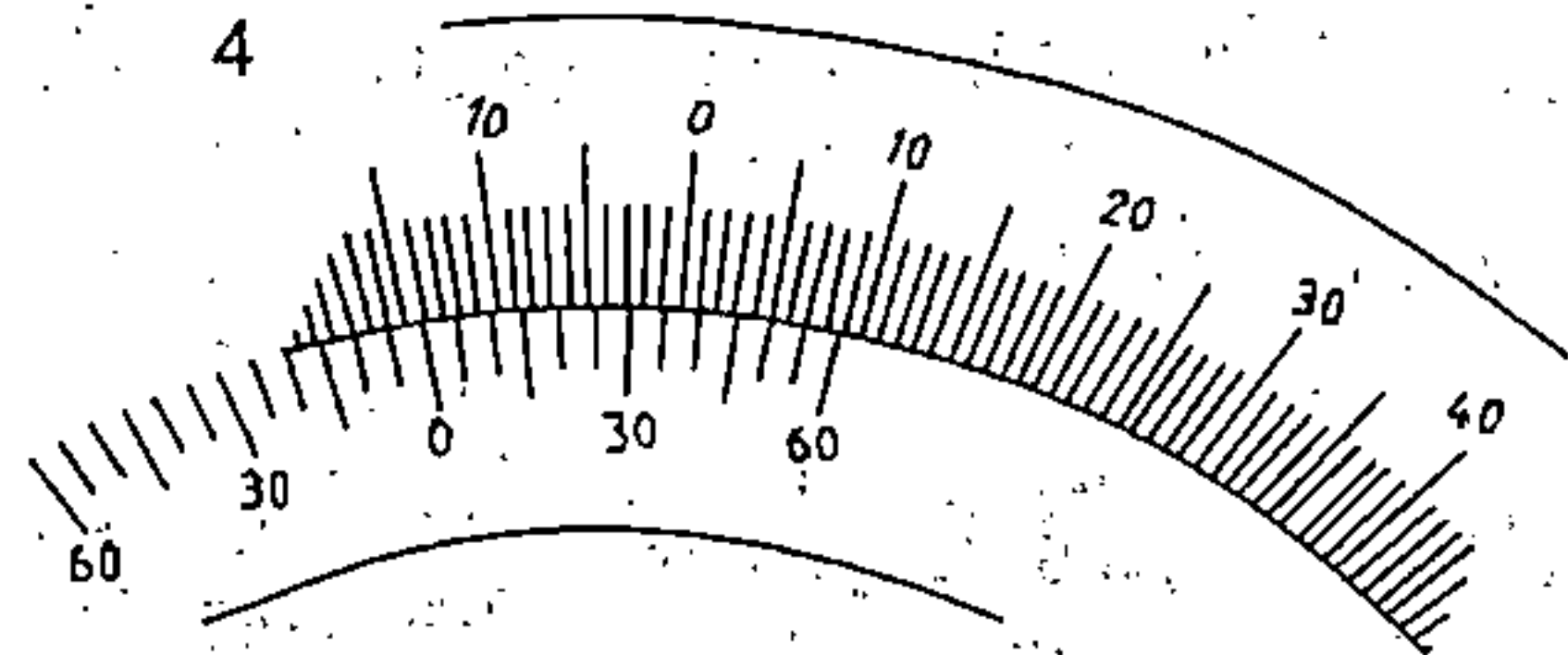
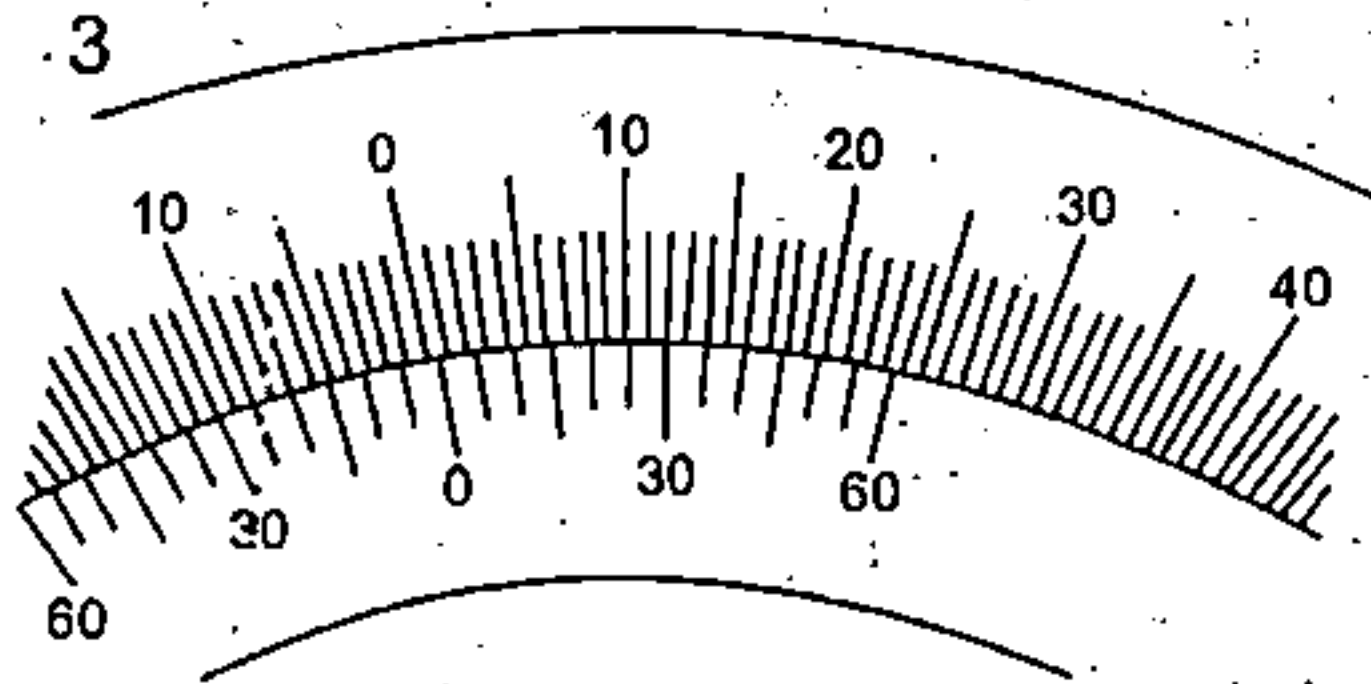
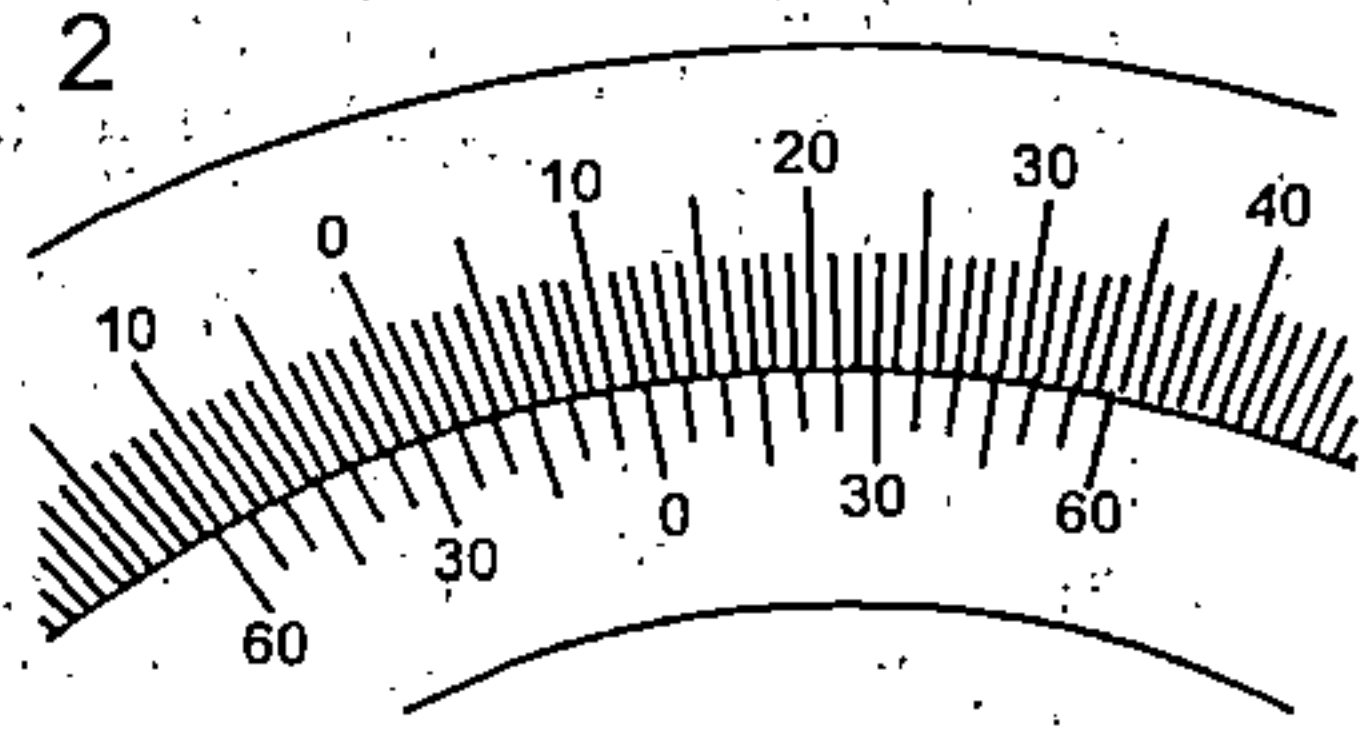
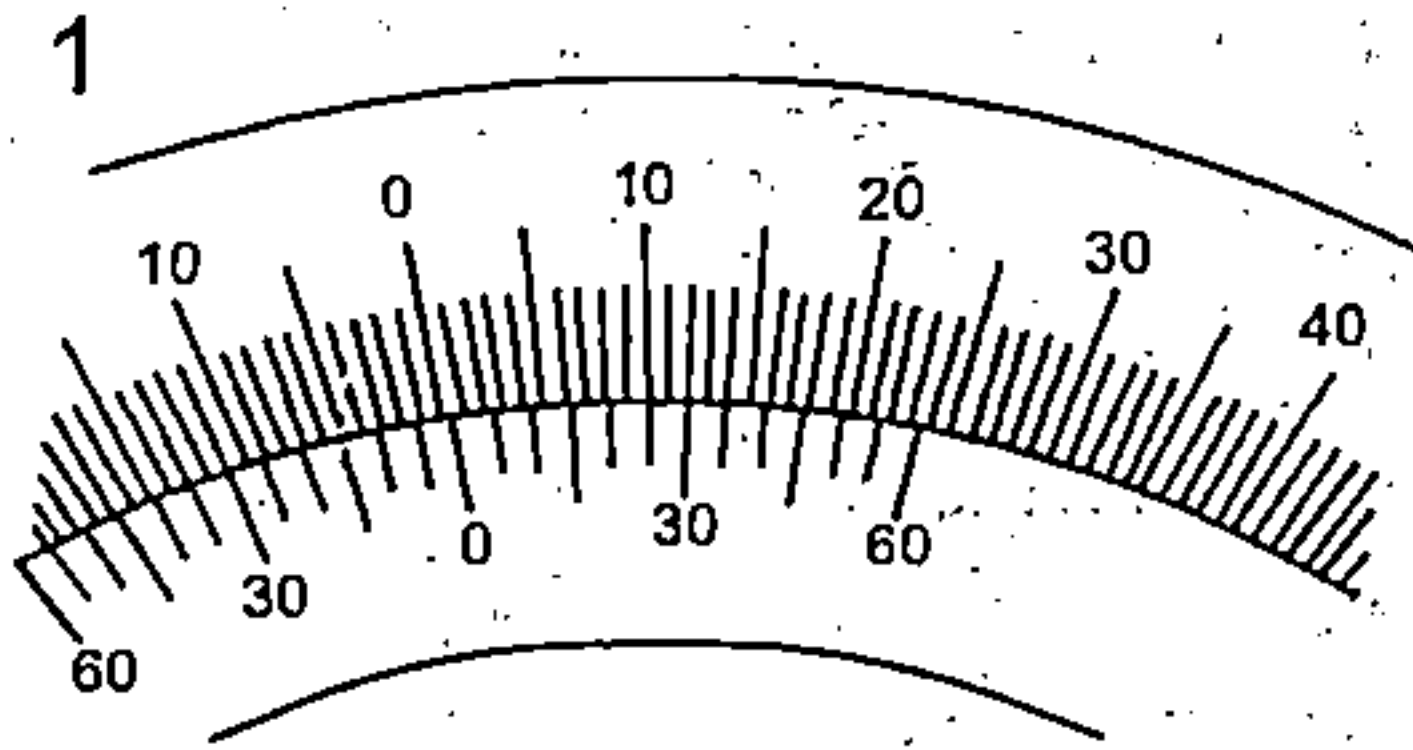
(también pudo ser: $7 \frac{150}{640}$ lectura por exceso)

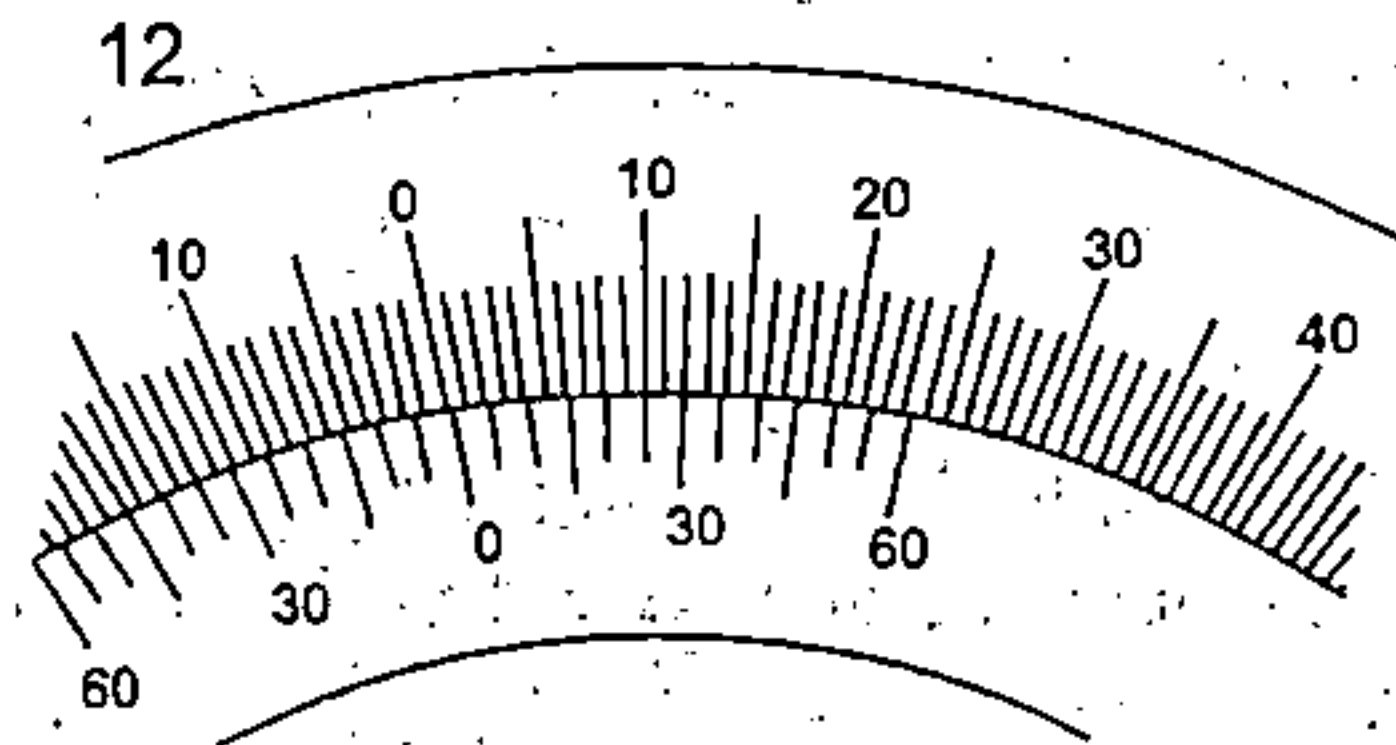
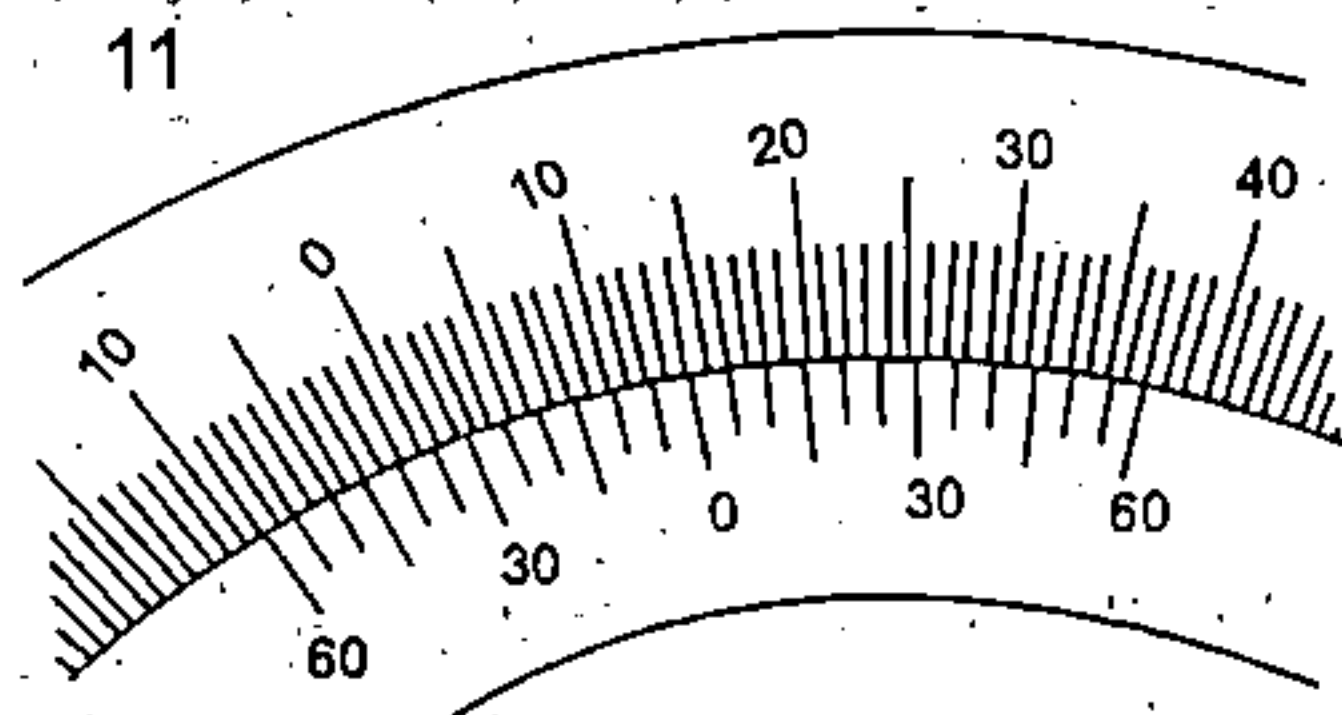
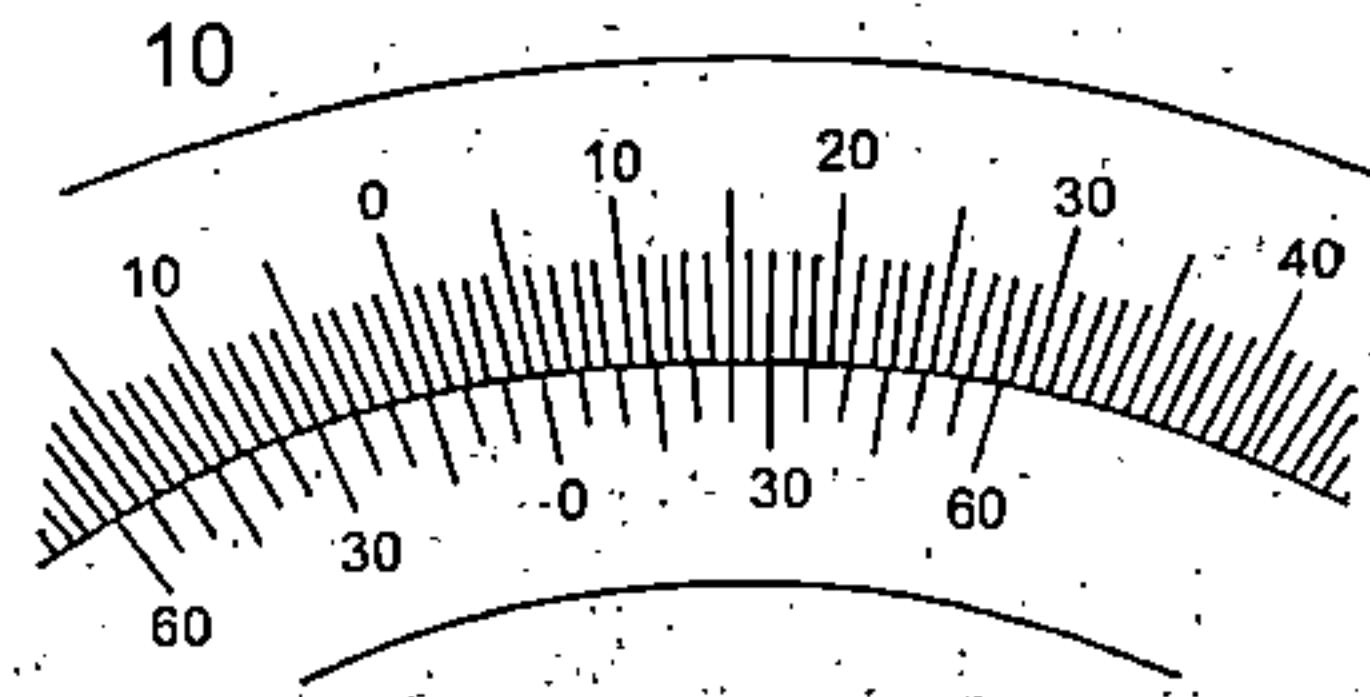
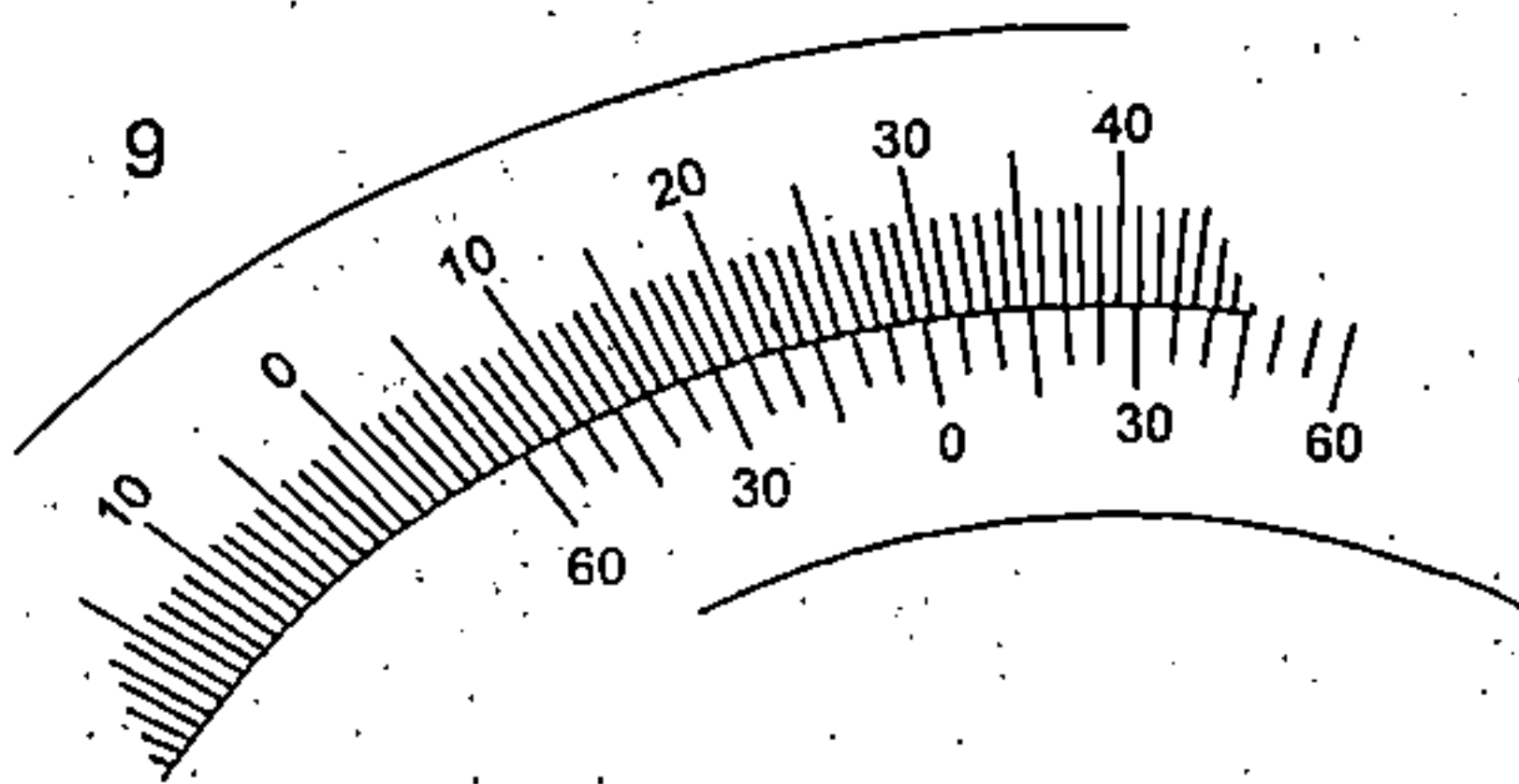
e) Precisión $p_r = 1/25 = \underline{0,04\text{mm}}$

Lectura $L = 42 + 0,04(7) = \underline{42,28\text{mm}}$ (lectura por defecto)

Problema 3

Determinar la precisión y lectura de cada uno de los 12 goniómetros que se ilustran en la figura.





Solución:

La precisión para los 12 casos de la figura es: $p_r = 1^\circ/12 = 60'/12 = 5'$

La lectura en todos los casos se calcula con:

$$L = L_o + ND_x \cdot p_r$$

1) Los datos son:

$L_o = 0^\circ$ hasta el cero del nonio.

$ND_x = 5$ la división ... del nonio hacia la derecha, coincide con una línea de la escala principal

$$L = 0^\circ + 5' (5) = \underline{0^\circ 25'}$$

$$2) \quad L_o = 11^\circ, ND_x = 7, L = 11^\circ + 5'(7) = \underline{11^\circ 35'}$$

$$3) \quad L_o = 0^\circ, ND_x = 6, L = 0^\circ + 5(6) = \underline{0^\circ 30'}$$

4) $L_o = 0^\circ = 14^\circ$ hasta el cero del nonio
 $ND_x = 2$ la división 2 del nonio hacia la izquierda, coincide con una línea de la escala principal.

$$L = 14^\circ + 5' \cdot 2 = \underline{14^\circ 10'}$$

- 5) $L = 9^\circ + 5'(6) = \underline{9^\circ 30'}$
- 6) $L = 18^\circ + 5'(1) = \underline{18^\circ 5'}$
- 7) $L = 20^\circ + 5'(5) = \underline{20^\circ 25'}$
- 8) $L = 31^\circ + 5'(1) = \underline{31^\circ 5'}$
- 9) $L = 29^\circ + 5'(6) = \underline{29^\circ 30'}$
- 10) $L = 5^\circ + 5'(5) = \underline{5^\circ 25'}$
- 11) $L = 14^\circ + 5'(1) = \underline{14^\circ 5'}$
- 12) $L = 0^\circ + 5'(4) = \underline{0^\circ 20'}$

Problema 4

Se coloca un motor en el eje de un freno de Prony de brazo igual a 1,5m. La balanza marca 10kgf en el instante en que el eje del motor gira a 1000rpm.

Calcular:

- a) El torque del motor a las condiciones indicadas.
- b) La potencia al freno del motor en BHP (BHP = brake horse power)

Solución:

Observamos el freno de Prony en el capítulo 1.4 (figura 14), para poder hacer los cálculos.

Los datos son: $L = 1,5\text{m}$; $W = 10\text{kgf}$; $n = 1000\text{rpm}$

- a) $T = L \cdot W = 1,5\text{m} \times 10\text{kgf} \times 9,8\text{N/kgf} = \underline{147\text{N.m}}$
- b) $\text{Pot} = T \cdot n = 147 \text{ N} \cdot \text{m} (1000 \text{ rev/min} \times 2\pi \text{ rad/1 rev})$
 $(1\text{min}/60 \text{ seg}) = 15\,393,8 = 15,4\text{kw.}$
 $\text{Pot} = 15,4\text{kw} \cdot 1,34 \text{ HP/1kw} \approx \underline{21 \text{ BHP}}$

Problema 5

Una pelota de fútbol se infla en Lima a 20 PSI. Esta pelota es llevada a Ticlio (aproximadamente a 4000msnm) ¿Cuál es la presión manométrica de la pelota en Ticlio? (puede considerar la temperatura constante).

Solución:

El aire se considera gas ideal, por lo tanto: $\frac{p_L V_L}{T_L} = \frac{p_T V_T}{T_T}$, donde L y T significan Lima y Ticlio respectivamente. En las fórmulas, evidentemente p_L , p_T , T_L , T_T , son presiones y temperaturas absolutas.

$V_L = V_T$, pues la pelota no cambia su geometría. $T_L = T_T$ es dato, luego: $p_L = p_T = p$.

La presión total absoluta de la pelota siempre será la misma en Lima y en Ticlio. La presión manométrica sí debe variar.

La presión absoluta es: $p = p_{\text{amb(Lima)}} + p_{\text{m(Lima)}} = p_{\text{amb(Ticlio)}} + p_{\text{m(Ticlio)}}$

Del capítulo anterior, la tabla 1 para presiones ambiente, indica:

$$p_{\text{amb(Lima)}} = 1 \text{ bar } 0 \text{ msnm}$$

$$p_{\text{amb(Ticlio)}} = 0,625 \text{ bar } 4000 \text{ msnm}$$

Además: $p_{\text{m(Lima)}} = 20 \text{ PSI} \left(\frac{1 \text{ bar}}{14,7 \text{ PSI}} \right) = 1,36 \text{ bar}$

Reemplazando: $1 + 1,36 = 0,625 + p_{\text{m(Ticlio)}}$

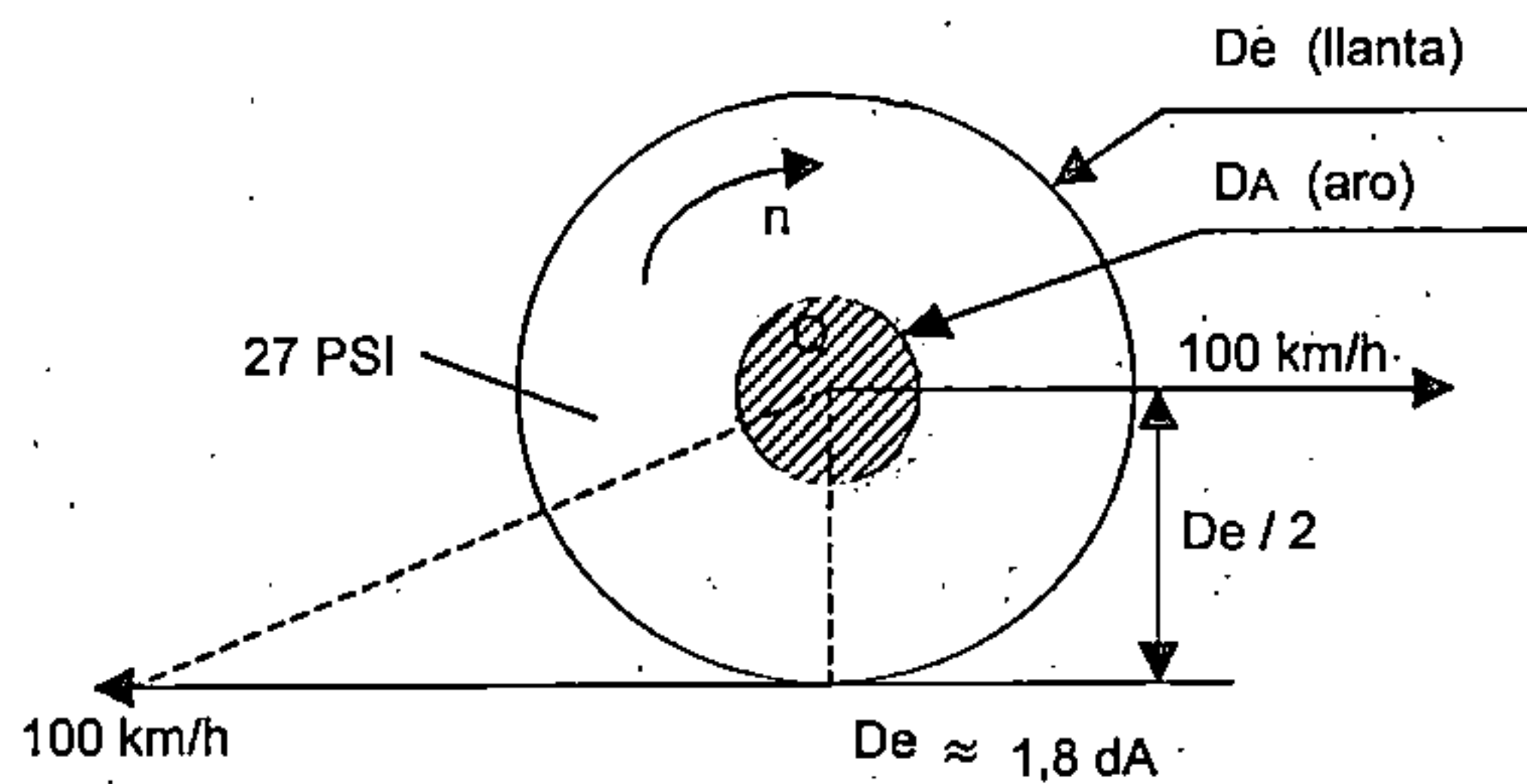
$$p_{\text{m(Ticlio)}} = 1,735 \text{ bar} = \underline{25,5 \text{ PSI}}$$

Problema 6

Las ruedas de un auto son aro 13". Se encuentra en Lima y la presión del medidor de aire del grifo marca 27. (El diámetro exterior de las llantas es aproximadamente 1,8 veces el diámetro del aro).

Hallar:

- La presión absoluta, en bar, de las llantas.
- Las rpm aproximadas de las llantas, cuando el auto va a 100 km/h.



Solución:

- La presión absoluta de la llanta es:

$$p = p_{\text{amb}} + p_{\text{m}}$$

$$p = 1 \text{ bar} + 27 \text{ PSI} \left(\frac{1 \text{ bar}}{14,7 \text{ PSI}} \right) = \underline{2,84 \text{ bar}}$$

b) Consideraremos que nos encontramos en el auto, es decir, el punto Q es para nosotros fijo, lo que gira es la rueda. Luego, las RPM son:

$$n = \frac{v}{D_e/2}, \text{ pues } v = n \cdot \frac{D_e}{2}$$

$$n = \frac{100\text{km/h}}{(1,8 \cdot 13\text{pulg})/2} \cdot \frac{1000\text{m}/1\text{km}}{0,0254\text{m}/1\text{pulg}} \cdot \frac{1\text{rev}}{2\pi\text{rad}} \cdot \frac{1\text{h}}{60\text{min}} = 892,6 \text{ RPM}$$

$$\underline{n \approx 893\text{RPM}}$$

Problema 7

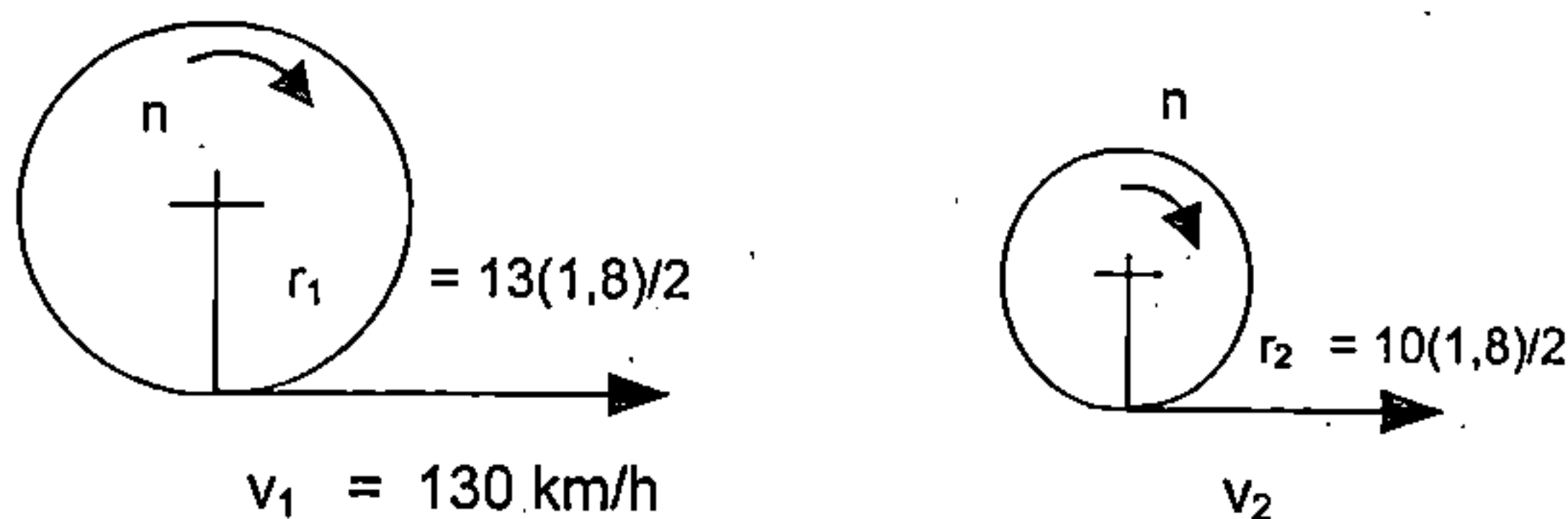
Un auto original estándar utiliza ruedas aro 13. Para ir a Ticlio se decide, en Lima, cambiar las ruedas por aro 10; e inflarlas a 24 PSI. En Ticlio la presión es aproximadamente 0,62 bar.

- Cuando el velocímetro marca 130km/h, ¿a qué velocidad va realmente el auto?
- ¿Cuál es la presión manométrica (medidor) del aire en las ruedas al pasar por Ticlio, si éstas se encuentran a 28°C.

Considerar temperatura en Lima y Ticlio 20°C y -3°C respectivamente.

Solución:

a)



Si el velocímetro marca 130km/h, esto corresponde a un número de rpm constante n , con aro 13 o aro 10. Entonces, los radios son aproximadamente, según figura, $r_1 = 11,7'' \approx 297\text{mm}$, $r_2 = 9'' \approx 229 \text{ mm}$.

$$n = \frac{v_1}{r_1} = \frac{v_2}{r_2}, \frac{130}{11,7} = \frac{v_2}{9}, v_2 = 100\text{km/h}$$

b) Sean los subíndices L: Lima, T: Ticlio, se cumple para el aire como gas ideal:

$$\frac{p_L V_L}{T_L} = \frac{p_T V_T}{T_T} \quad V_L = V_T \text{ (volumen constante)}$$

$$p_L = 14,7 + 24,0 = 38,7 \text{ PSI}, \quad T_L = 273 + 20 = 293 \text{ K}$$

$T_T = 273 + 28 = 301 \text{ K}$, reemplazando: $\frac{38,7}{293} = \frac{p_T}{301}$ en Ticlio la presión absoluta de la llanta es

$$p_T = 39,76 \text{ PSI}$$

La presión manométrica en Ticlio es:

$$p_{mT} = p_T - p_{ambT} = 39,76 - 0,62 \text{ bar} \left(\frac{14,7 \text{ PSI}}{1 \text{ bar}} \right)$$

$$p_{mT} \approx 31 \text{ PSI}$$

CAPÍTULO III

TEORÍA DE BANCO

La teoría de banco comprende las herramientas e instrumentos accesorios que son necesarios en un taller de metal-mecánica. El instrumental que corresponde a las máquinas-herramientas será tratado en los capítulos del torno, la fresadora y otras máquinas-herramientas.



Figura 1. Herramientas varias.

1. ÚTILES DE TRABAJO

Los útiles de trabajo comprenden las herramientas de trabajo de banco, los tornillos, las limas, las sierras, las brocas y las herramientas de roscar.

1.1 Herramientas varias: Alicates, destornilladores, llaves, compases, martillos. Otras herramientas

Herramientas varias

Al hablar de herramientas se tendría que considerar una amplia gama de accesorios y elementos de trabajo en un taller, así como las herramientas de corte de las máquinas-herramientas, o también elementos manuales y semimanuales como la brochadora o la generadora de canales chaveteros. Trataremos solamente las herramientas básicas de la teoría de banco.

Así, veremos los alicates, destornilladores, llaves, compases y martillos. Otras herramientas muy usadas en la carpintería metálica son: el buril, el cincel, la rasqueta, la carda, el granete, la punta de señalar y el gramil.

Alicates

Los alicates sirven para sujetar piezas pequeñas y hacer ajustes menores. Estas herramientas no deben ser sustituidas por las llaves, es decir, no sirven para el ajuste de apriete o torque de pernos y tuercas.

Se pueden considerar los siguientes tipos:

- *Alicate mecánico.*- Sirve para hacer trabajos de sujeción y doblado en el área de metal-mecánica. No puede ser usado para instalaciones eléctricas.

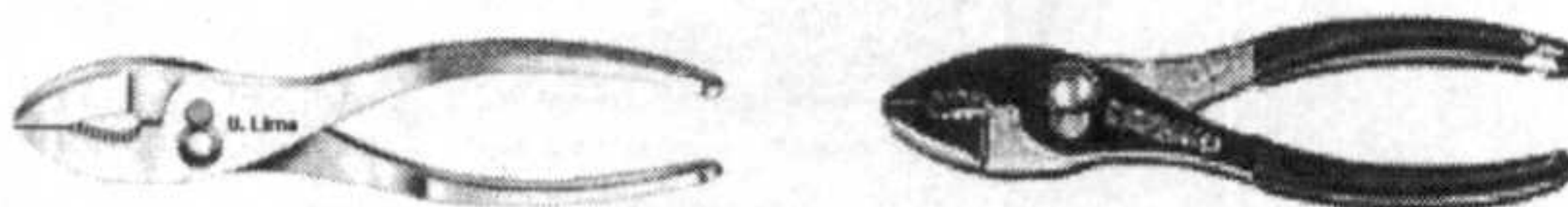


Figura 2. Alicate mecánico y alicate eléctrico.

- *Alicate eléctrico o de electricista.*- Sirve para realizar cortes de cables eléctricos. Tomando en cuenta la seguridad del operador, se pueden realizar cortes a cables energizados o con corriente eléctrica, pues estos alicates son similares a los mecánicos pero llevan mangos con aislamiento eléctrico.
- *Alicate de presión o perro.*- Es una herramienta de sujeción permanente. Contiene un gatillo y un regulador de tornillo. La regulación se puede adaptar fácilmente a las dimensiones del elemento a remover, ya sea para ajustar o aflojar. El elemento puede ser una tuerca o cabeza de perno hexagonal y cuadrada entre otros.

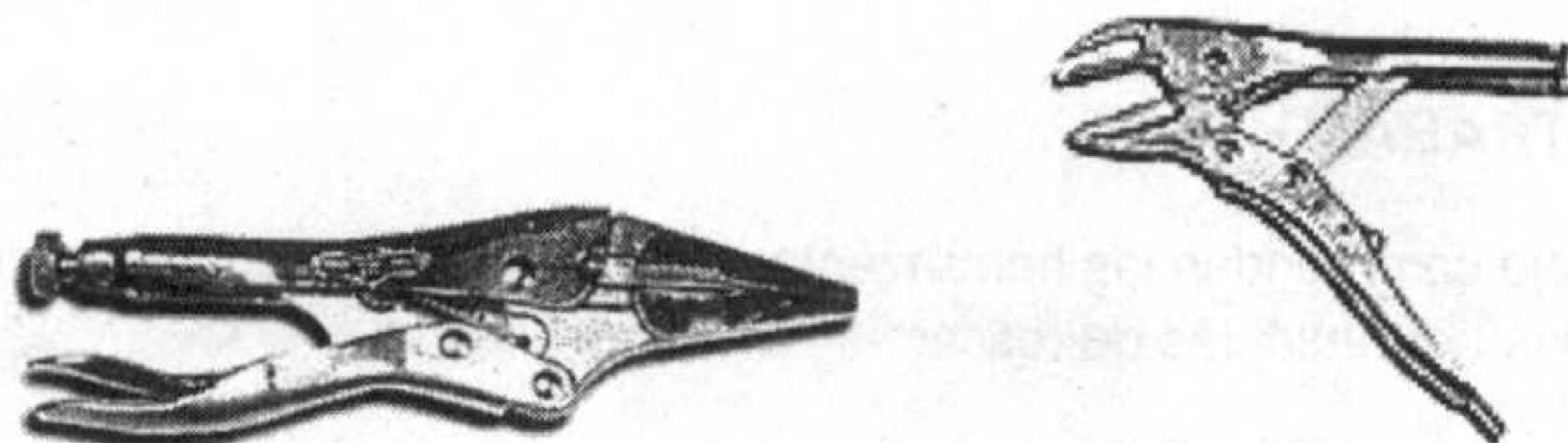


Figura 3. Alicates de presión. Las mordazas son regulables de acuerdo al tamaño de la tuerca o cabeza de perno a remover.

- *Alicate pico de loro regulable.*- Es un alicate de mangos bastante más largos que un alicate eléctrico, y sus mordazas también son alargadas y perpendiculares a los mangos. La distancia entre las mordazas es fácilmente regulable.



Figura 4. Alicates tipo pico de loro.

- *Alicate de pinzas.*- Contiene dos mordazas alargadas en forma de punta, que permite alcanzar lugares de difícil acceso. También permite montar arandelas, pines, etc. Para las arandelas de presión, tanto para ejes como para agujeros, se tienen los alicates de pinzas de acción exterior y acción interior, respectivamente.

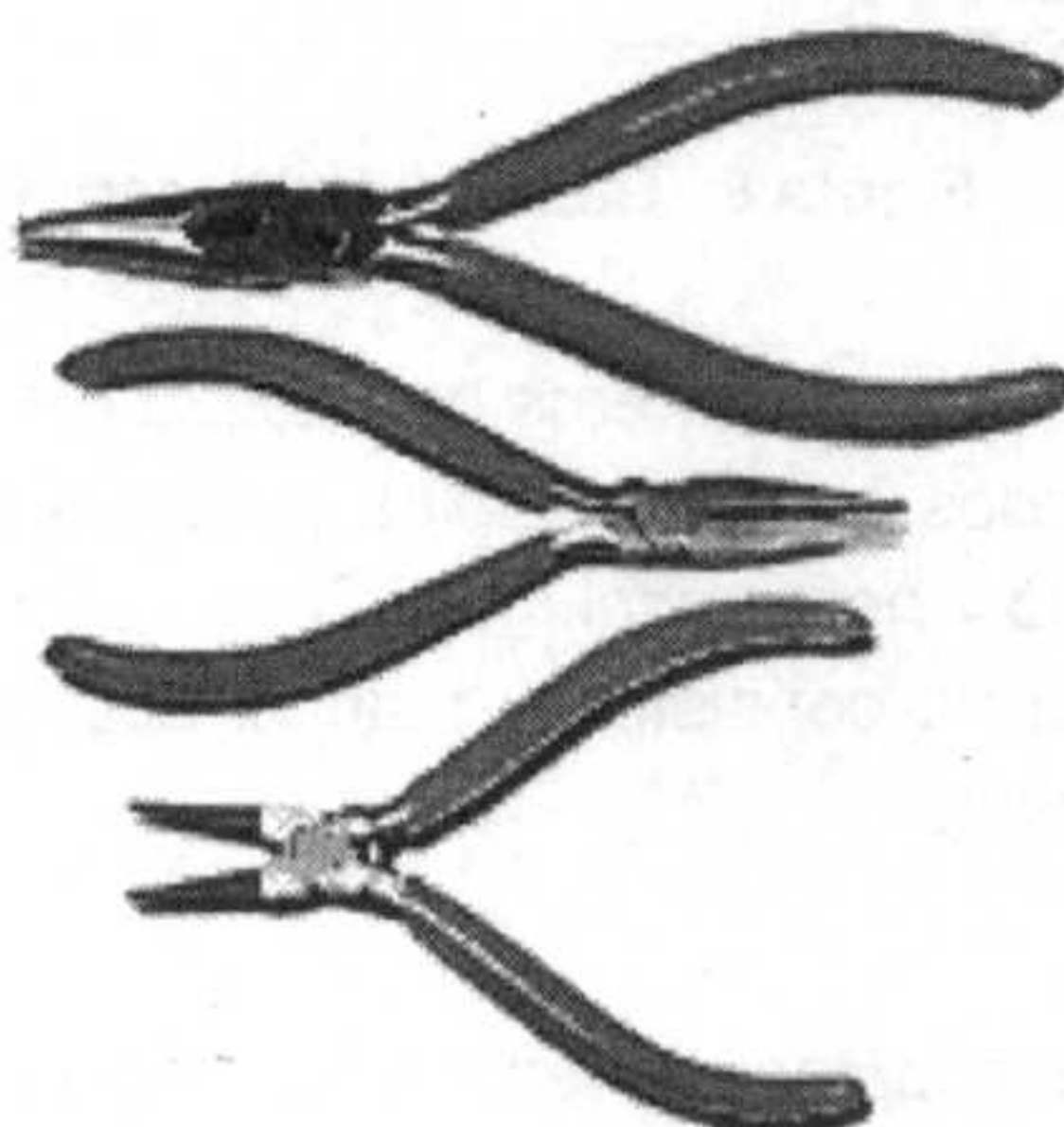


Figura 5. Alicates tipo pinzas, de punta plana, de punta redonda y punta de aguja.

- *Alicate de tenazas o de corte.*- Se pueden realizar operaciones de corte o doblado de alambres y platinas. También se puede cortar cables eléctricos si los mangos llevan aislamiento eléctrico.

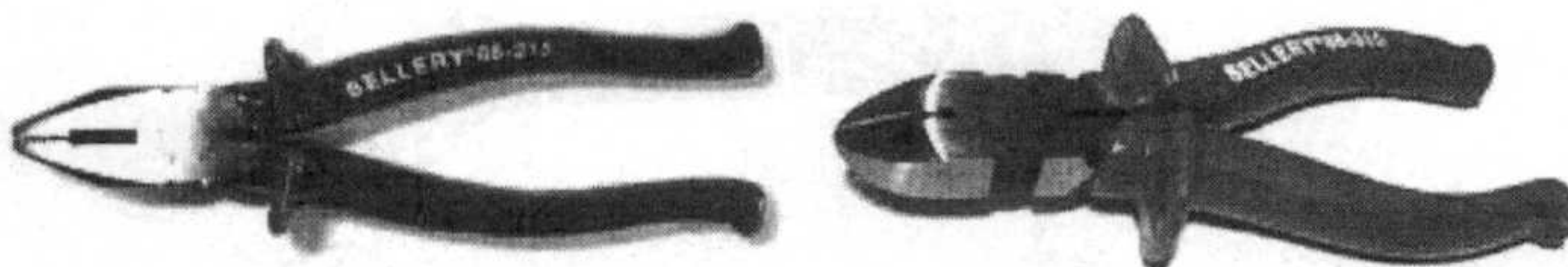


Figura 6. Alicates de corte.

Destornilladores

Los destornilladores sirven para lograr el montaje y desmontaje de pernos y tornillos con diferentes tipos de cabeza y también, en algunos casos, para remover las tuercas.

Se tienen los siguiente tipos de destornillador:

- *Punta plana.*- Para pernos y tornillos de cabeza plana o de ranura.
- *Punta estrella o de cruz.*- Para pernos y tornillos de cabeza estriada.

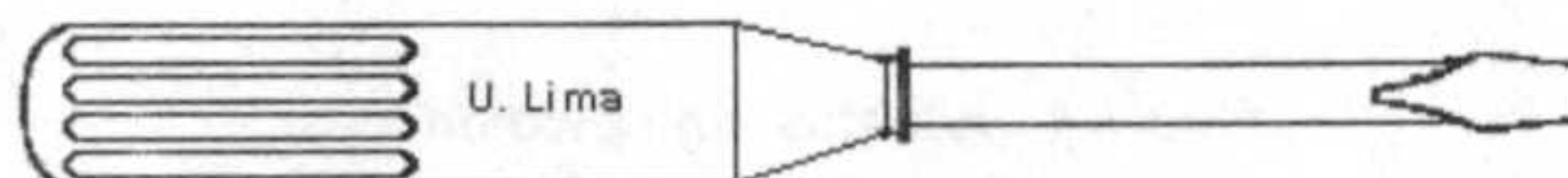


Figura 7. Destornillador plano.

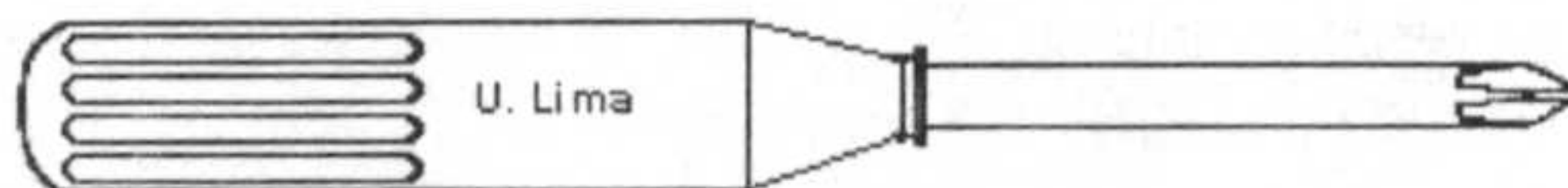


Figura 8. Destornillador estrella.

- *Punta hexagonal o Allen.*- Para prisioneros de cabeza hexagonal o Allen.
- *Punta de dado.*- Tiene dados intercambiables para las diferentes dimensiones de tornillos y pernos de cabeza cuadrada y hexagonal.

Una buena práctica de ingeniería consiste en usar el destornillador indicado y adecuado para la cabeza de perno o tornillo a remover.

Llaves

Las llaves, a diferencia de los alicates, tienen como función principal hacer el ajuste adecuado o dar el torque de diseño a los tornillos, pernos y espárragos. Las llaves también sirven para remover elementos roscados que tienen apriete.

Hay los siguientes tipos:

- *Llave de boca o española.*- El extremo de la llave es abierto y forma parte de un hexágono, de forma tal que es accesible a zonas difíciles de llegar para el ajuste de un elemento roscado, sea tuerca o perno.

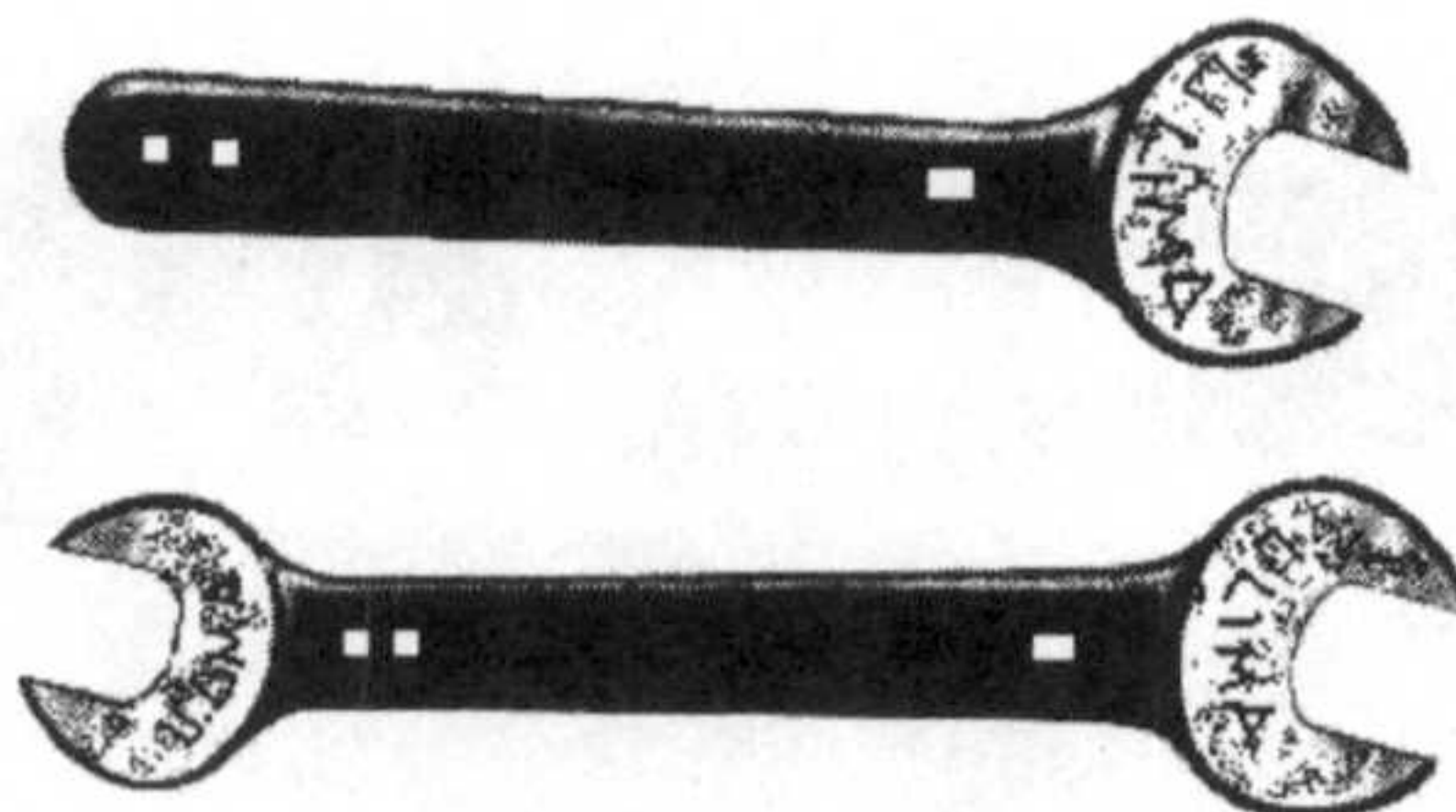


Figura 9. Llaves de boca simple y doble.

- *Llave de corona o de estrías.*- Sujeta todo el perímetro de las cabezas de pernos y tuercas, garantizando la durabilidad de las mismas. En general, se deben usar llaves de corona quedando las llaves de boca para casos estrictamente necesarios.

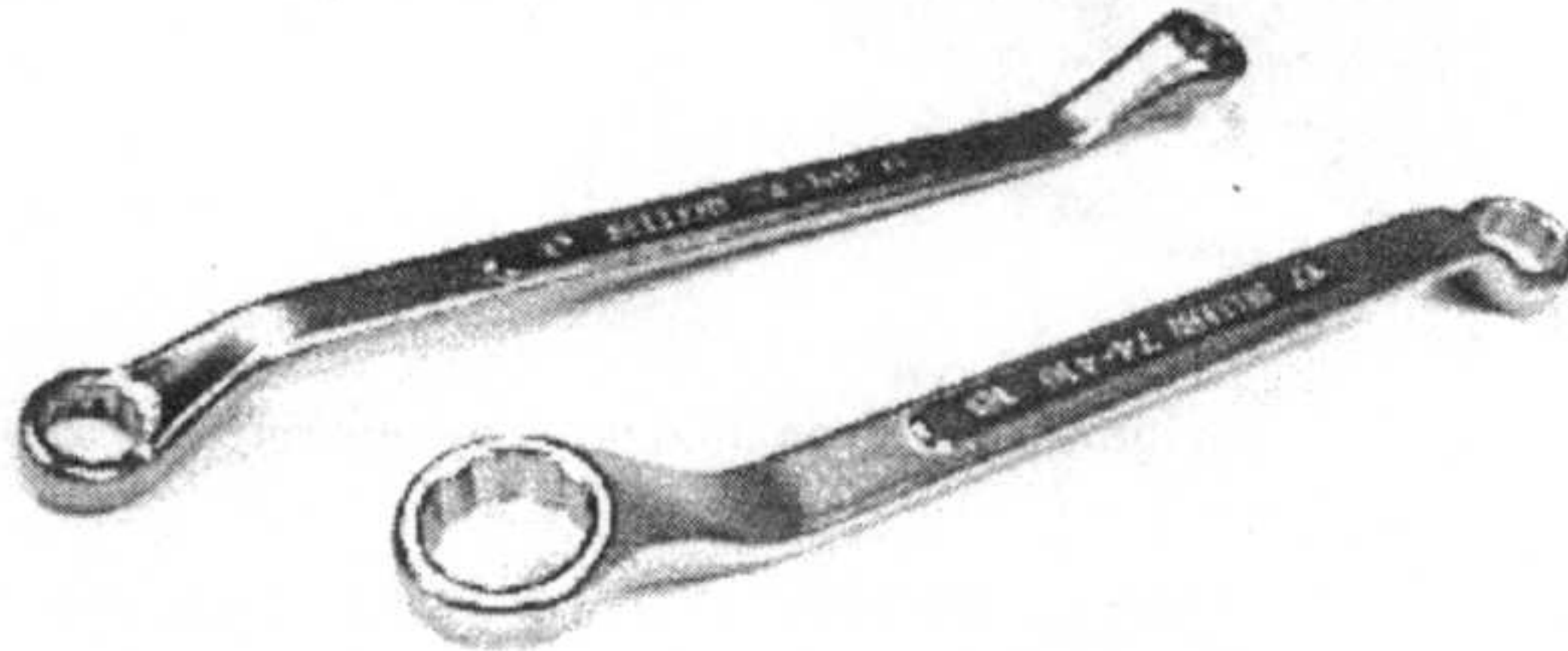


Figura 10. Llaves de corona doble.

- *Llave mixta.*- Es una llave combinada, donde un extremo es llave de boca y el otro extremo es llave de corona. Ambos extremos corresponden a la misma medida. Esta llave es bastante práctica y útil.



Figura 11. Llave mixta.

- *Llave Allen o hexagonal.*- Permite remover pernos y tuercas de agujero hexagonal. Estos casos se encuentran generalmente en los prisioneros.

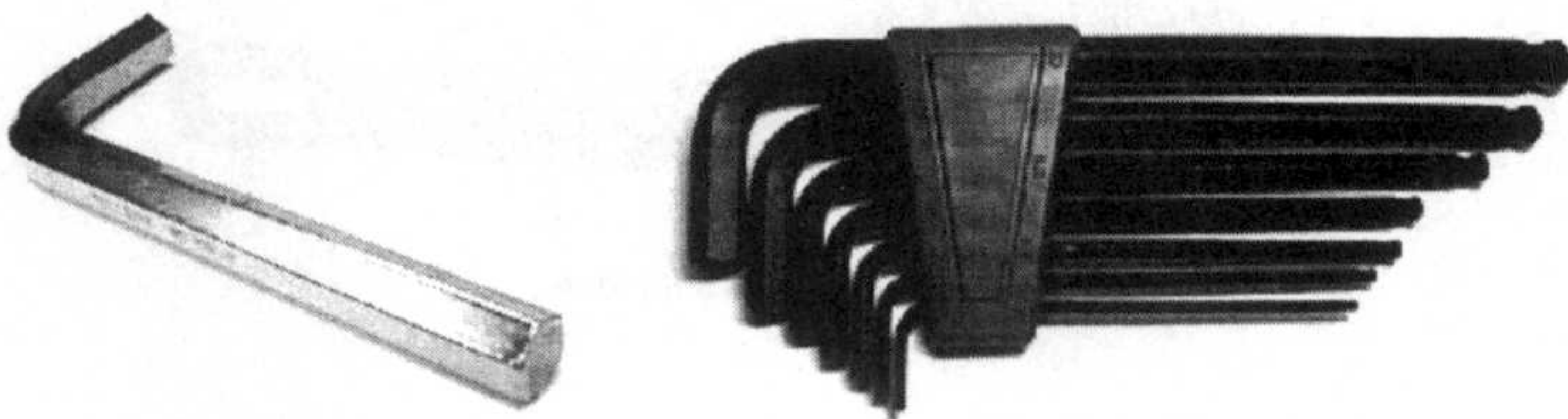


Figura 12. Llaves hexagonales tipo Allen.

- *Llave de dado.*- Son llaves con dados o cubos intercambiables que permiten lograr una mayor adherencia al perno o tuerca. Por ser el dado con la palanca más robusto, se logran ajustes con torque bastante mayor que con las llaves de corona. Para facilitar el roscado de aproximación se tiene un *ratchet* que consiste en un mecanismo de retorno libre.

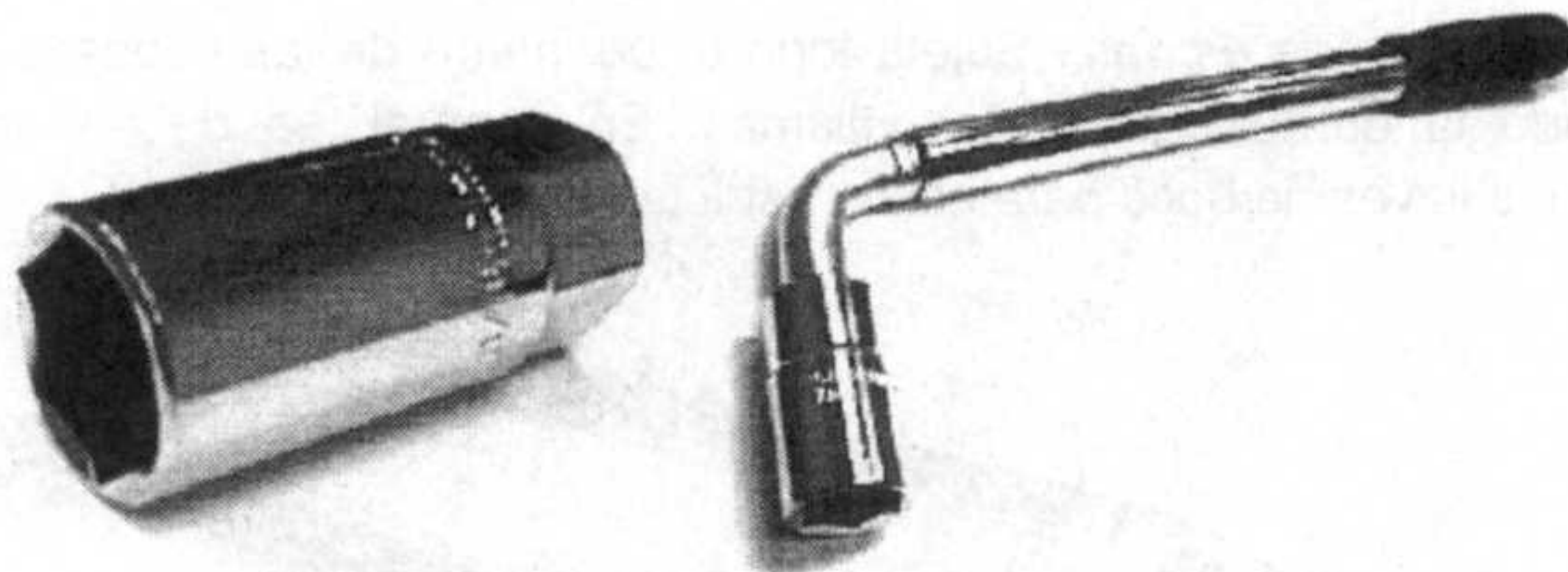


Figura 13. Llaves de dado y extensión.

- *Llave francesa.*- Es una llave de precisión con mordazas regulables. Se utiliza cuando no se cuenta con la adecuada llave de boca o de corona.



Figura 14. Llave francesa.

- *Llave inglesa.*- Sirve para dar ajuste a tuberías y ejes sin cabeza o estriado. Sus mordazas son regulables y de juego loco con muelle.

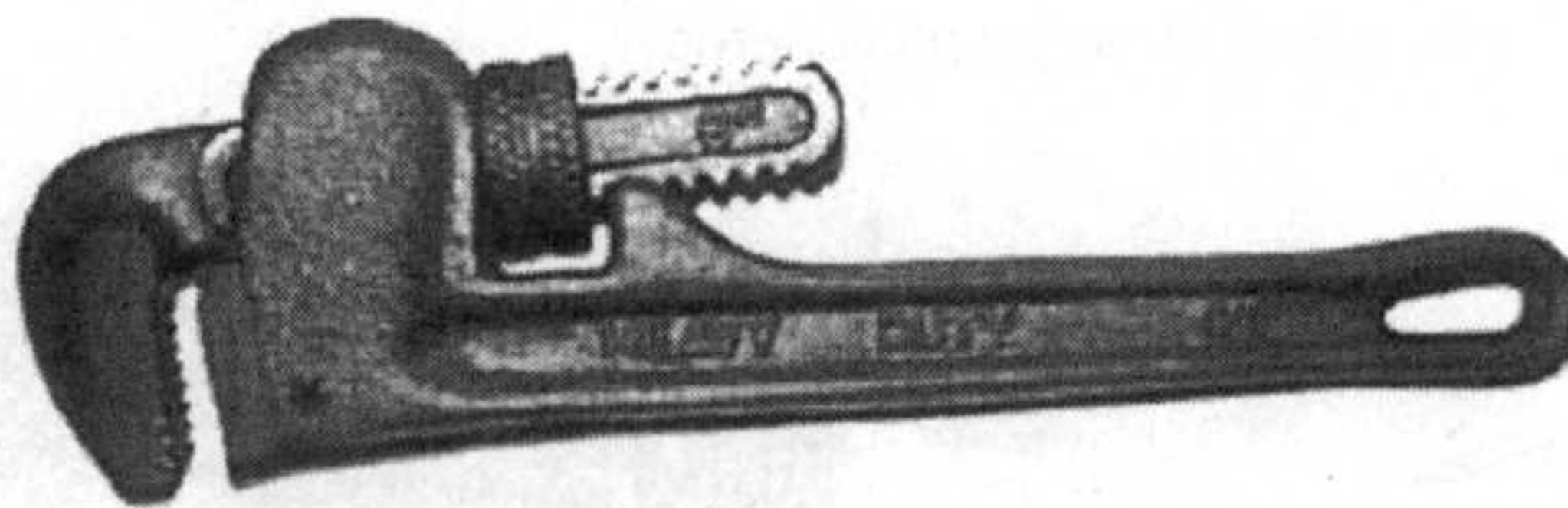


Figura 15. Llave inglesa.

- *Llave de cadena.*- Sirve para dar ajuste a los sistemas de tuberías. Su trabajo complementa el de la llave inglesa. Permite el ajuste o remoción de tubos.



Figura 16. Llave de cadena.

- *Llave de gancho.*- Sirve para dar el ajuste a tuercas redondas o collarines roscados que llevan una o varias muesca en su parte exterior o periferie.

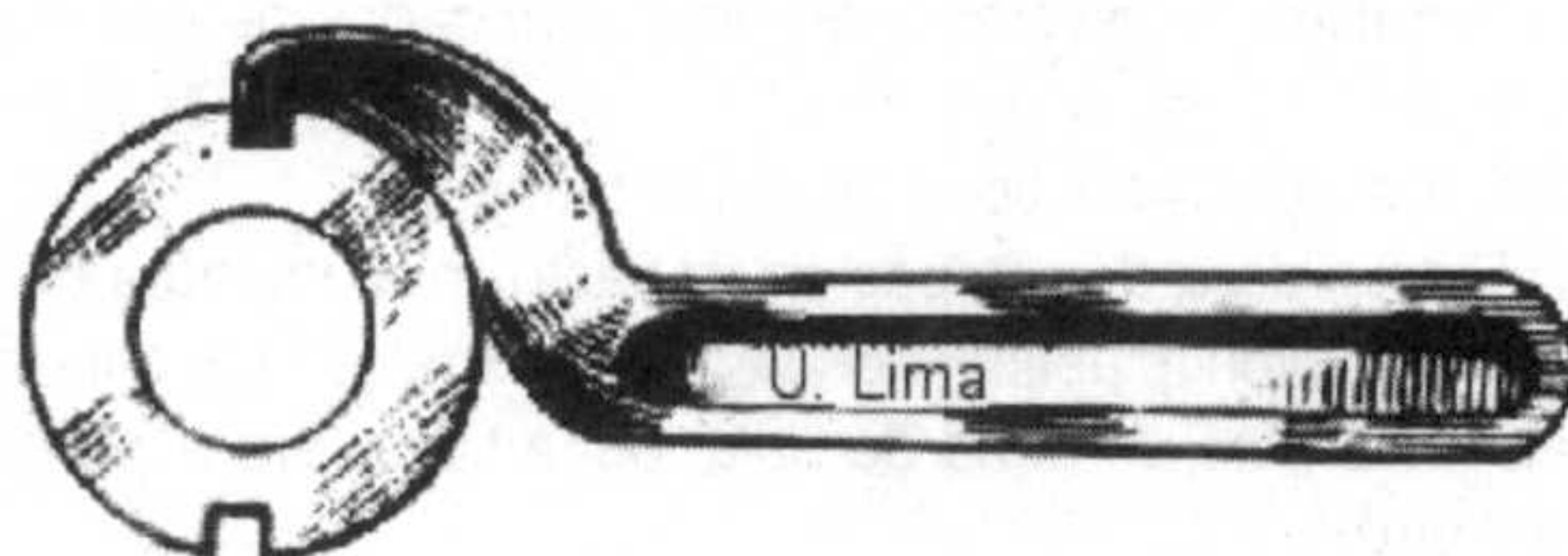


Figura 17. Llave de gancho.

Compases

Los compases son instrumentos de comparación de medidas entre centros, medidas interiores y medidas exteriores.

Se tienen los siguientes tipos de compás:

- *Compás de exteriores.*- Permite determinar medidas exteriores como diámetros de ejes, aristas de cubos y otros.
- *Compás de interiores.*- Permite determinar medidas interiores como redondo de husillos o ejes huecos entre otros.
- *Compás comparador o de puntas.*- Determina la distancia entre dos centros de ejes o agujeros futuros.
- *Compás hermafrodita.*- Es un compás que combina el compás de interiores con el de exteriores

En la figura 18 se muestran los tipos de compás antes descritos.

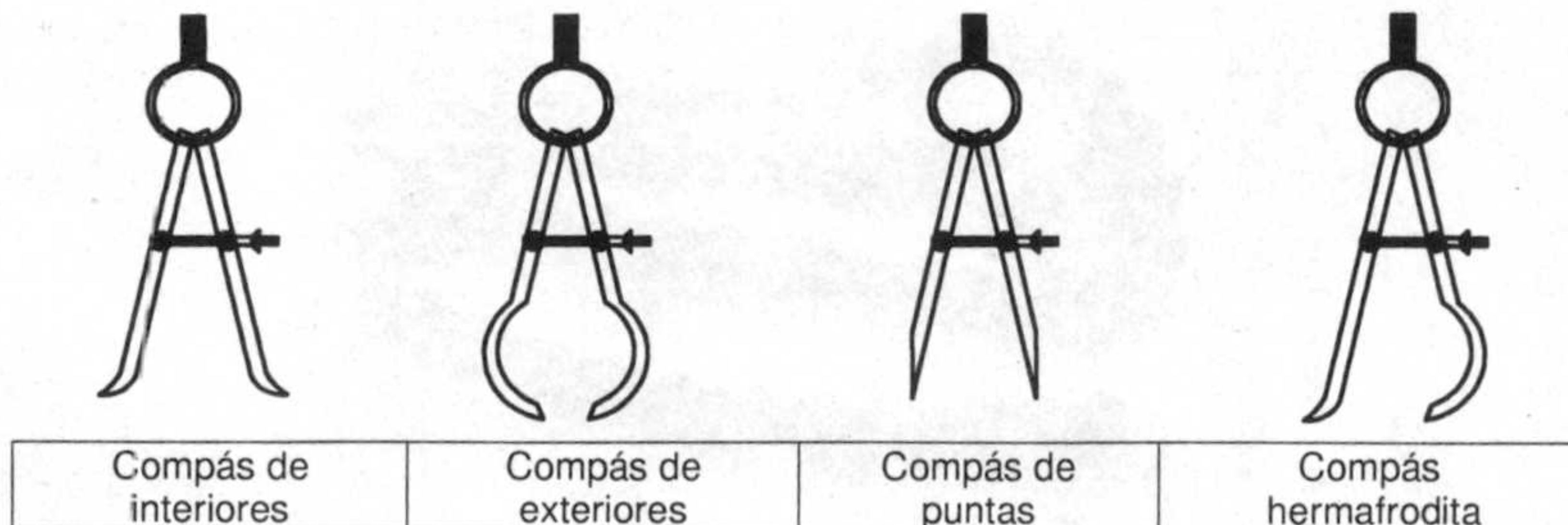


Figura 18. Tipos de compás.

Martillos

Los martillos son herramientas compuestas por una cabeza de hierro y un mango que la atraviesa por un agujero. Existen martillos de diversas formas y fabricados de diferentes materiales y tamaños según la operación a realizar.

Se pueden considerar los siguientes tipos de martillo de taller:

- *Martillos duros.*- Sirven para dar golpes de impacto a elementos mecánicos, y para lograr el conformado o deformación plástica de partes y metales. La cabeza es de hierro duro. Se pueden considerar martillos de peña de bola, peña transversal, peña recta, peña de zapatero, peña de gancho y otros.
- *Martillos blandos.*- Sirven para golpear piezas acabadas o separar partes sin causar maltrato o deformación plástica de las mismas. Se tienen martillos con cara de cuero, con puntas de plástico o baquelita y de cabeza con bronce.

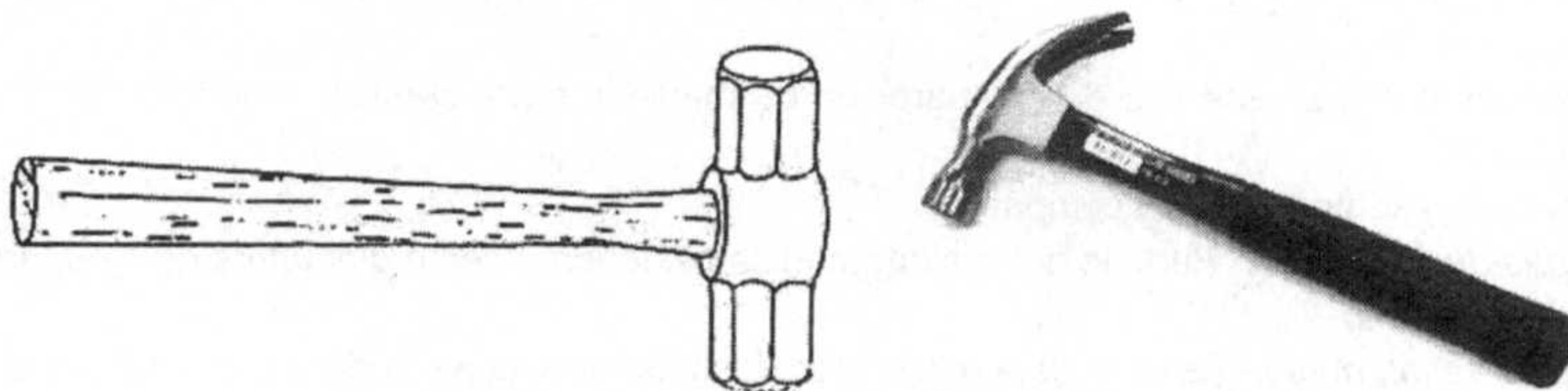


Figura 19. Martillo de baquelita, martillo de acero tipo gancho.

Otras herramientas

La figura 20 ilustra las herramientas más comunes en un taller de banco. Algunas de éstas se describen a continuación:

- *Buril.*- El buril es una herramienta que permite arrancar material necesario para dejar la pieza aproximadamente de las dimensiones requeridas. Hay buriles cuyo filo es en V aguda, unas de punta redonda, y otras de desbaste.

- *Cinzel.*- El cinzel es una herramienta de acero, hexagonal u octogonal, usado para el corte. Es necesario golpearlo con un martillo o comba para realizar el corte. Hay cinzel para ranurar, el de filo redondo y el de punta piramidal.
- *Carda.*- La carda se emplea para eliminar la rebarba y viruta que queda en las limas. También sirve para eliminar la rebarba que se adhiere fuertemente a los cantos de una pieza previamente cortada.
- *Granete.*- El granete es un instrumento que se usa en el taller como punzón para marcar centros que van a permitir el taladrado posterior con precisión.
- *Rayador.*- La punta de señalar o rayador permite el trazado de líneas de referencia de poca profundidad en el metal. La rayadura es permanente y la línea marcada no desaparece ante la presencia de grasa o el manipuleo en el trabajo.
- *Gramil.*- El gramil es un instrumento muy útil para trazar, nivelar o centrar superficies planas o cilíndricas. Está hecho de acero y está constituido por una base, una columna, una punta de trazar y los respectivos accesorios.
- *Portabrocas.*- El portabrocas sirve para sujetar las brocas. Por un extremo sujeta las brocas mediante mordazas y por el otro, que tiene un vástago cónico, se sujeta al husillo del taladro. También se le conoce como *chuck*.
- *Escariador.*- El escariado es la operación que permite dar la dimensión exacta y buen acabado a un agujero previamente taladrado por medio del escariador. Para poder dar la dimensión exacta a un agujero por medio del escariador, es necesario que este agujero sea taladrado a un diámetro ligeramente menor al del escariador. Finalmente, con el escariador se da el diámetro con la tolerancia deseada. Hay escariadores fijos y extensibles.
- *Rasqueta.*- La rasqueta sirve para rascar pintura de las partes metálicas, para eliminar las capas de corrosión o restos de carbono en un tratamiento.

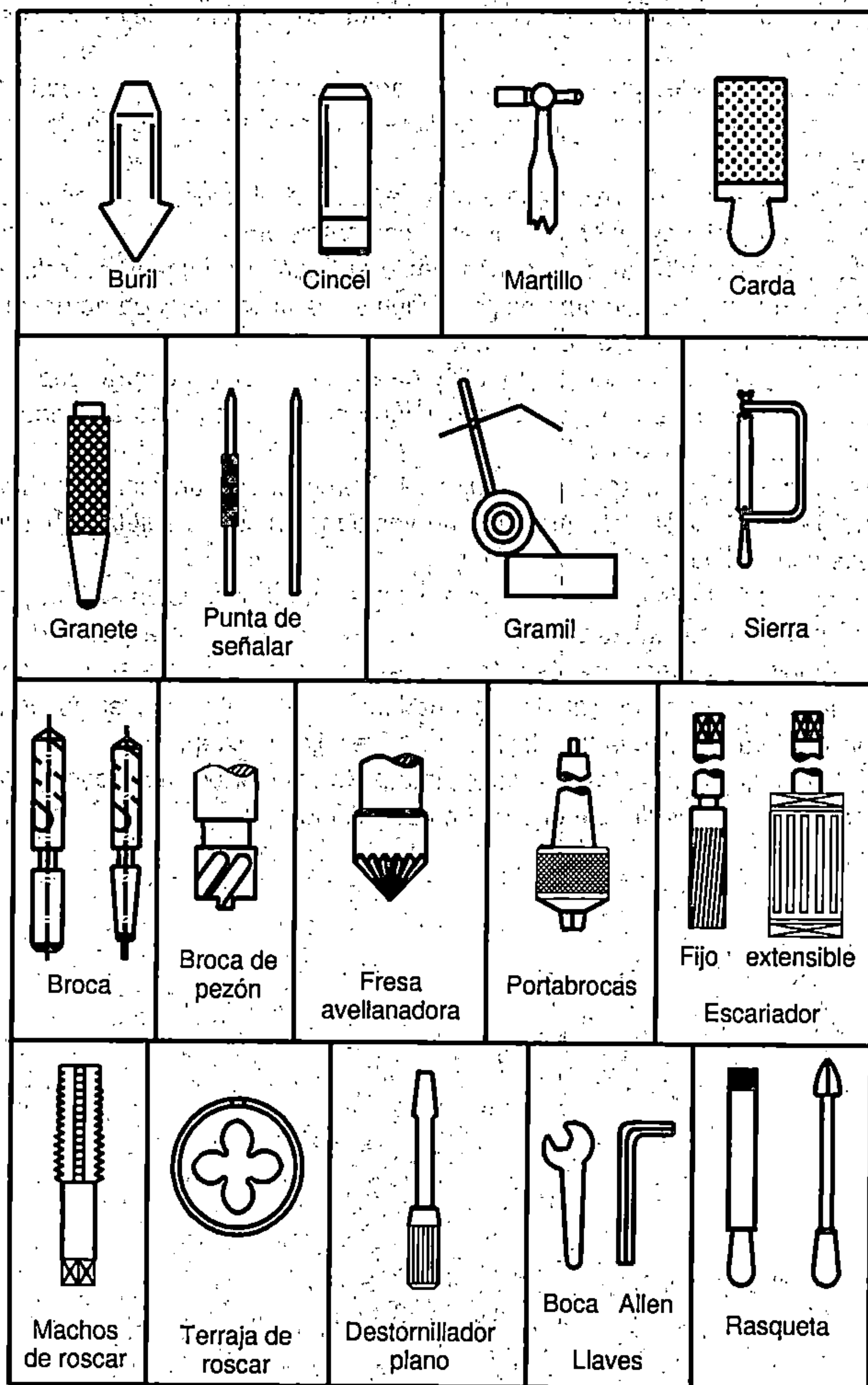


Figura 20. Herramientas más comunes en la teoría de banco.

1.2 Tornillos de trabajo. Tornillo de banco. Tornillo de máquina

Tornillos de trabajo

Los tornillos de trabajos son fundamentalmente dos: el tornillo de banco y el tornillo de máquina.

- *Tornillo de banco.*- El tornillo de banco también puede ser llamado tornillo de mesa, prensa de banco o sujetadora de trabajos mecánicos. El tornillo de banco va montado sobre la mesa de trabajo del taller mecánico, llamada banco. Tiene dos quijadas de acero templado, con cubiertas de material blando (Al, Cu o bronce) para evitar el maltrato y aplastamiento de la pieza a trabajar.

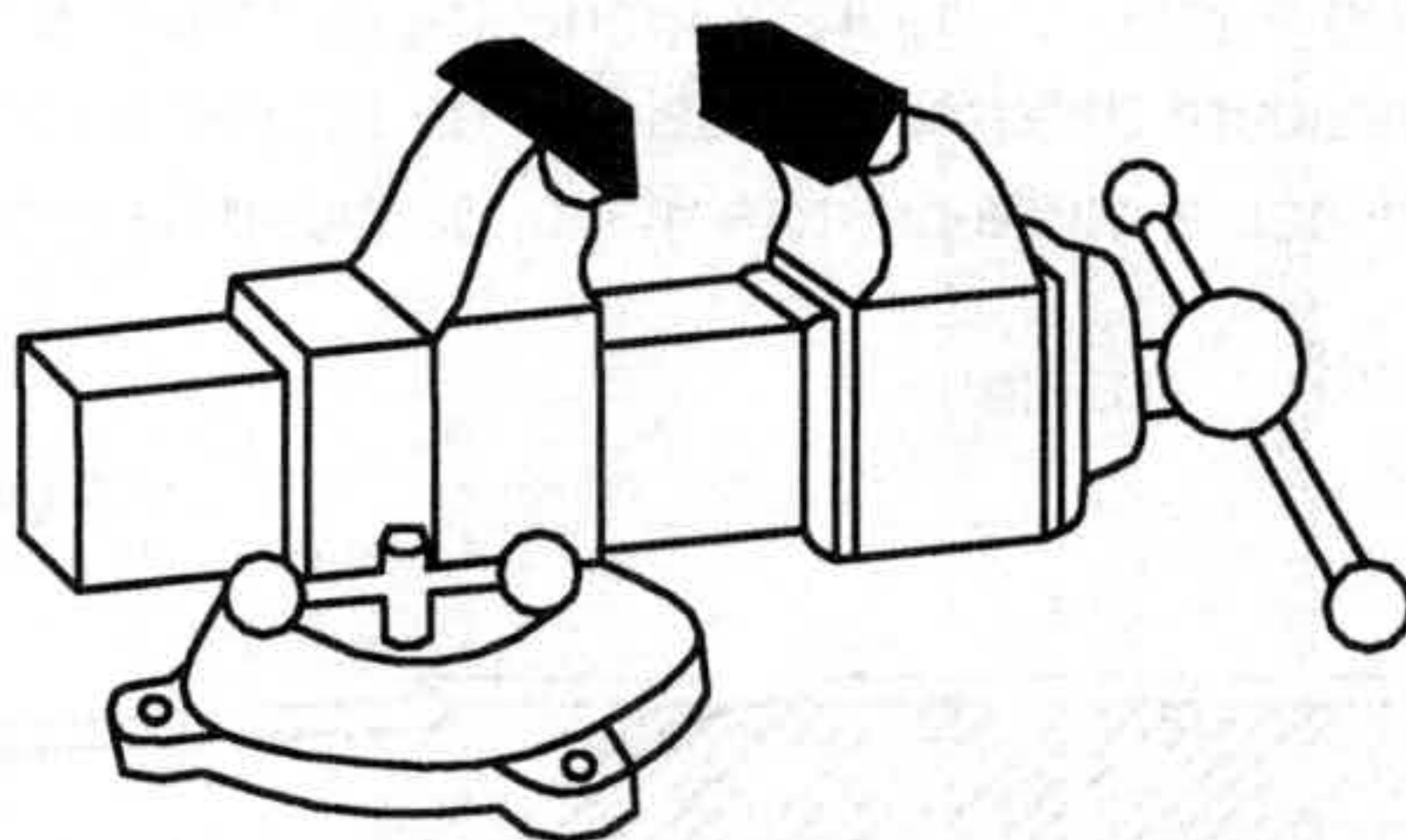


Figura 21. Tornillo de banco.

- *Tornillo de máquina.*- El tornillo de máquina es una prensa de sujeción que va sobre la bancada de un torno, fresadora, cepilladora, taladro, o alguna máquina-herramienta de arranque de viruta de metales. El tornillo de máquina es una herramienta precisa que destaca por la planitud de su base y por la perpendicularidad de las caras de sus dos mordazas. Estas mordazas reciben tratamiento térmico y luego son rectificadas.

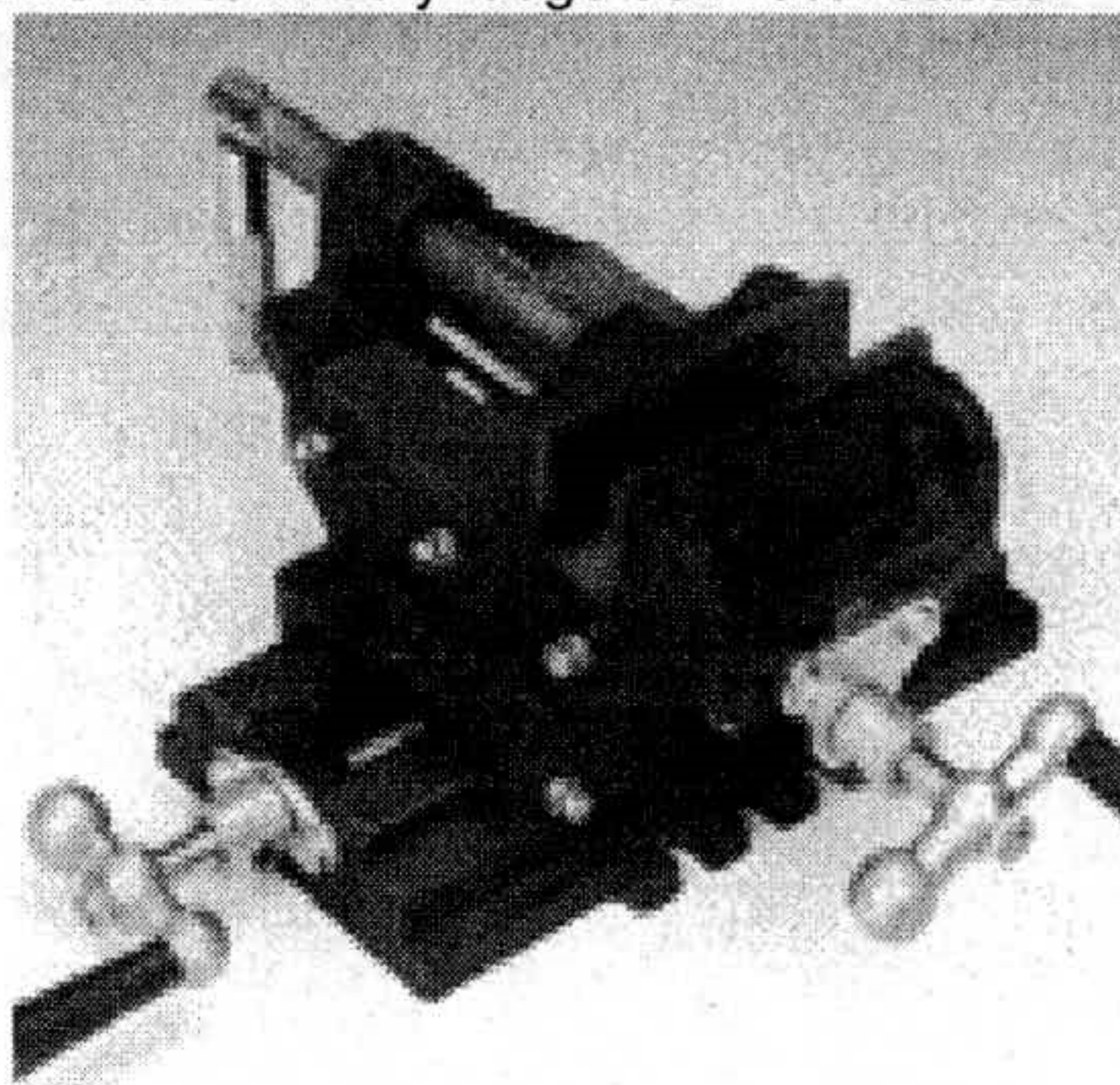


Figura 22. Tornillo de máquina.

1.3 Limas. Partes de la lima. Clasificación de las limas

Limas

La lima es una herramienta manual que logra arranque de polvo de viruta en metales ferrosos, no ferrosos, maderas, plásticos y otros. Las limas para metales están conformadas por acero duro de alta velocidad y con tratamiento térmico.

El limado es un proceso de maquinado manual que conforma y alisa una superficie metálica al quitarle pequeñas virutas.

Partes de la lima

Entre las partes más importantes de una lima se tienen: la punta, la cara, el canto, el talón, la espiga, su longitud, y la picadura o trama. La figura 23 muestra el detalle de las partes de una lima con picadura simple. El tipo de picadura determina la calidad de trabajo a realizar; es decir, una picadura simple dará acabado, y una picadura doble permite mayor cantidad de limado.

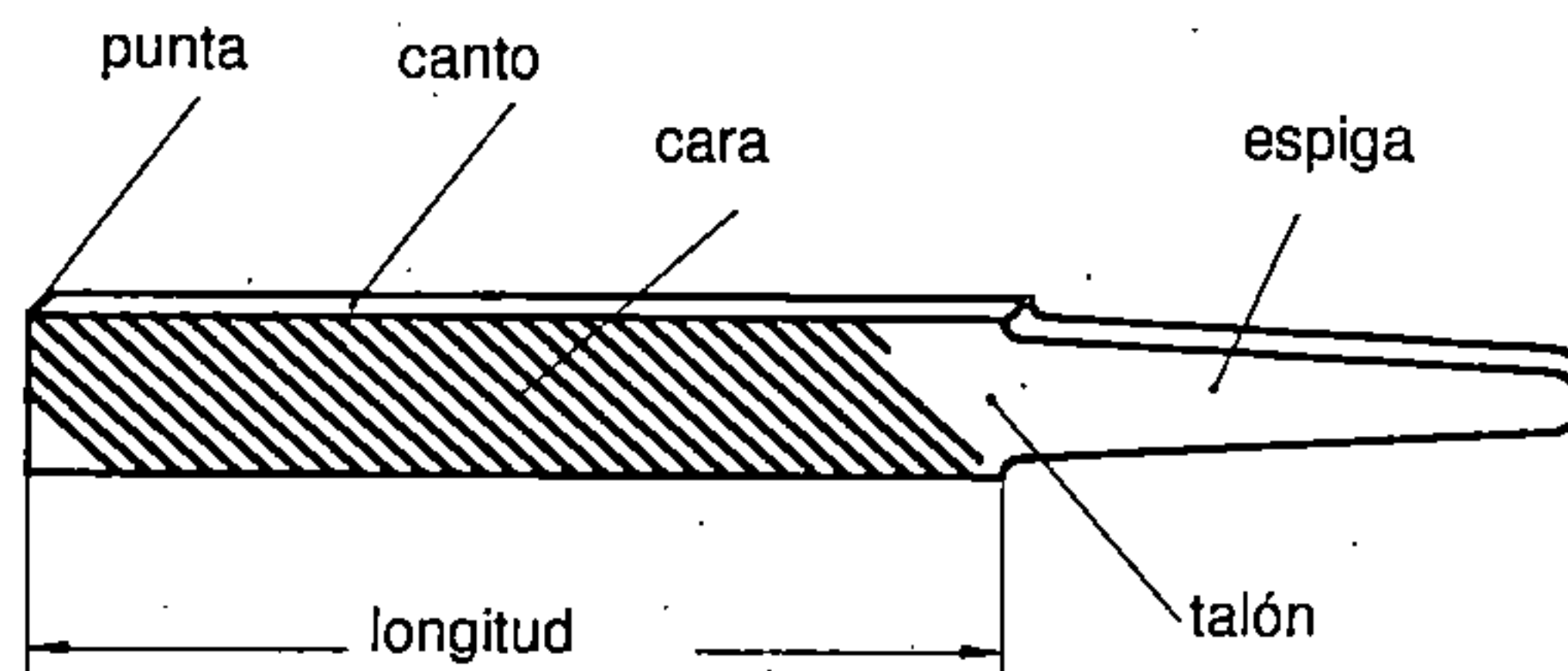


Figura 23. Partes de una lima.

Clasificación de las limas

En general las limas se pueden clasificar según la longitud, según la forma, según el tipo de corte, según la aspereza de su picadura y según el campo de aplicación:

- *Según la longitud de la lima.*- Se tienen longitudes de 4, 6 10, 12, y 18 pulgadas (ver longitud en partes de la lima).
- *Según la forma de la sección.*- Las secciones de corte de las limas pueden ser plana, cuadrada, triangular, media caña y redonda, como se muestran en la figura 24.

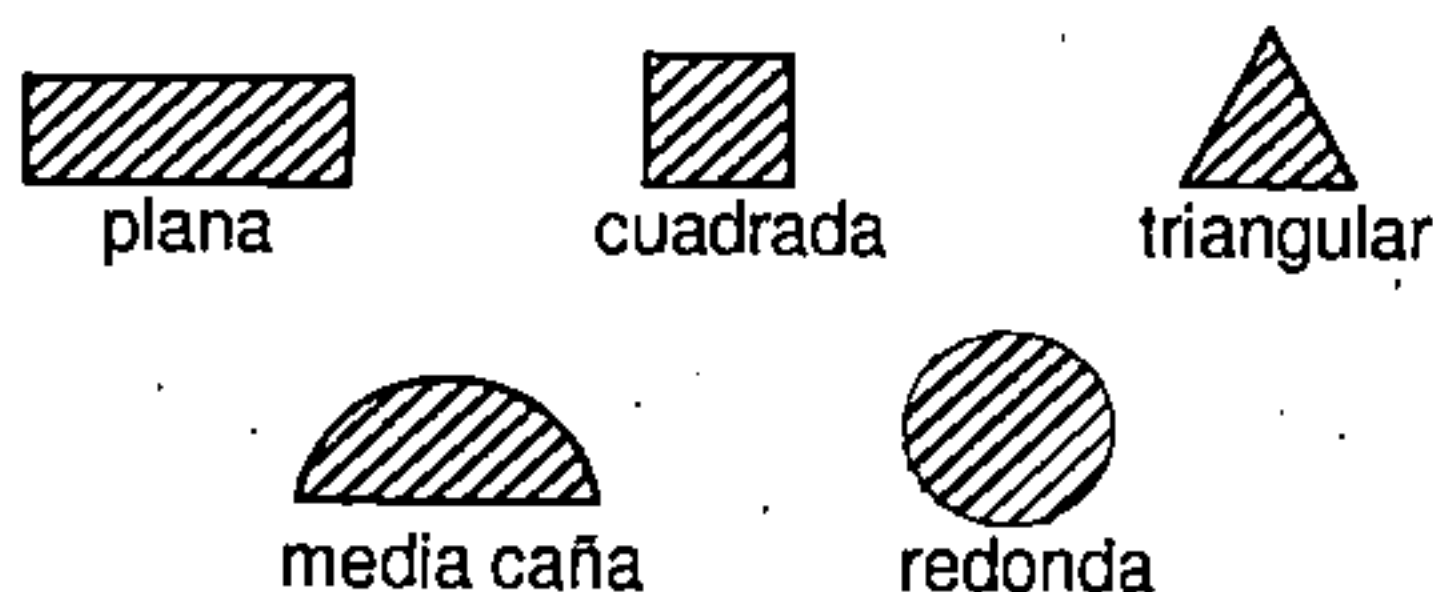


Figura 24. Tipos de sección de una lima.

- **Según el tipo de corte.**- Se presentan los siguientes casos:
 - Lima de picadura simple ($65-85^\circ$ con la sección transversal) para trabajos de acabado.
 - Lima de picadura doble (la trama son puntas tipo diamante) para quitar gran cantidad de material.
 - Lima de dientes curvados (los dientes no se atorán con facilidad) para limar metales blandos, Cu, Al.
 - Escofina (dientes en forma de cincel, cortantes angostos y agudos) para trabajo burdo.

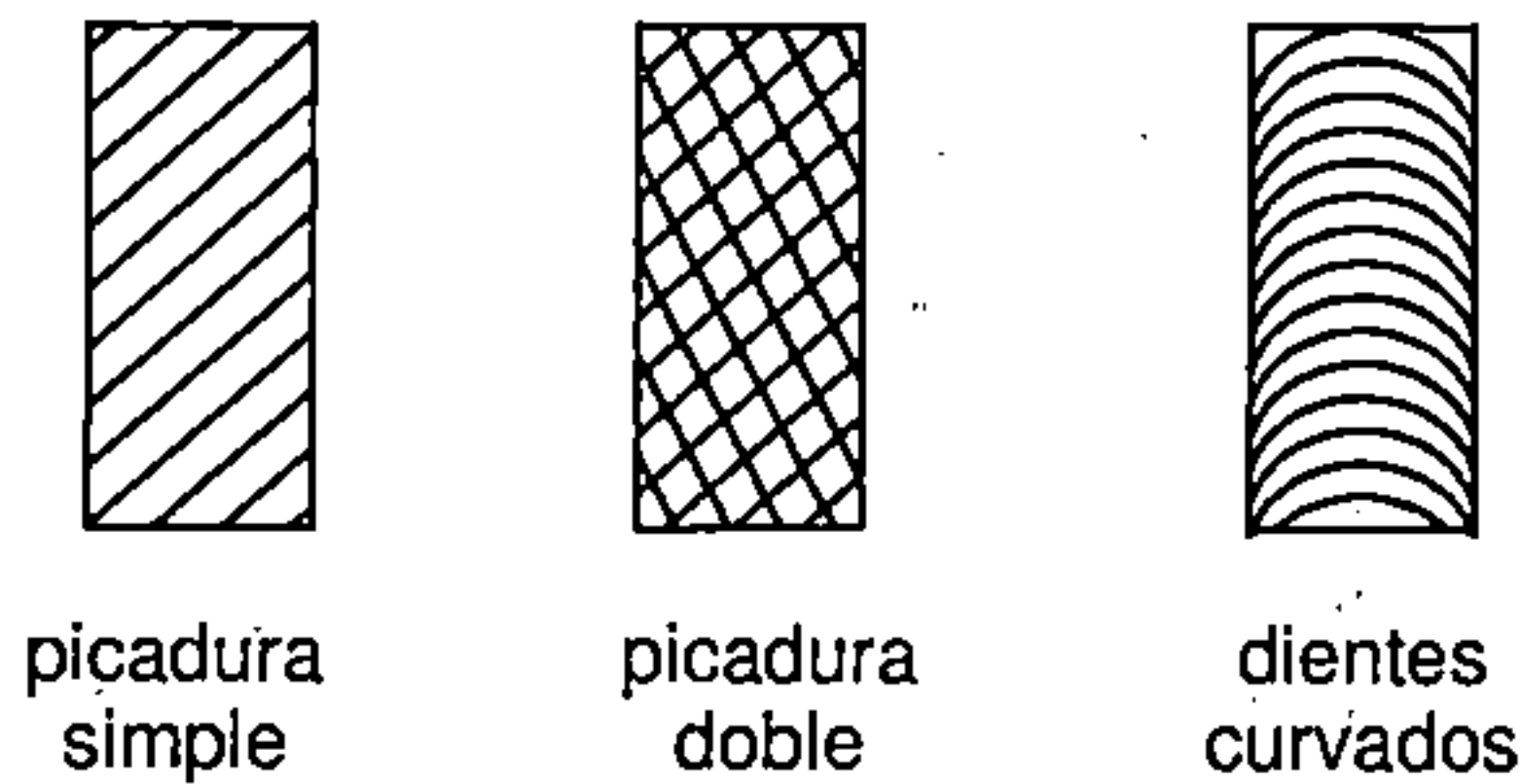


Figura 25. Tipos de picadura de una lima.

- **Según la aspereza del corte.**- Se tienen las siguientes limas:
 - Lima gruesa: se utilizan para sacar viruta.
 - Lima mediana: para aproximar la medida.
 - Lima fina: para un acabado superficial.
- **Según el campo de aplicación.**- Se puede mencionar los siguientes tipos:
 - Lima corriente (para trabajos en general).
 - Lima tipo aguja (para piezas pequeñas).

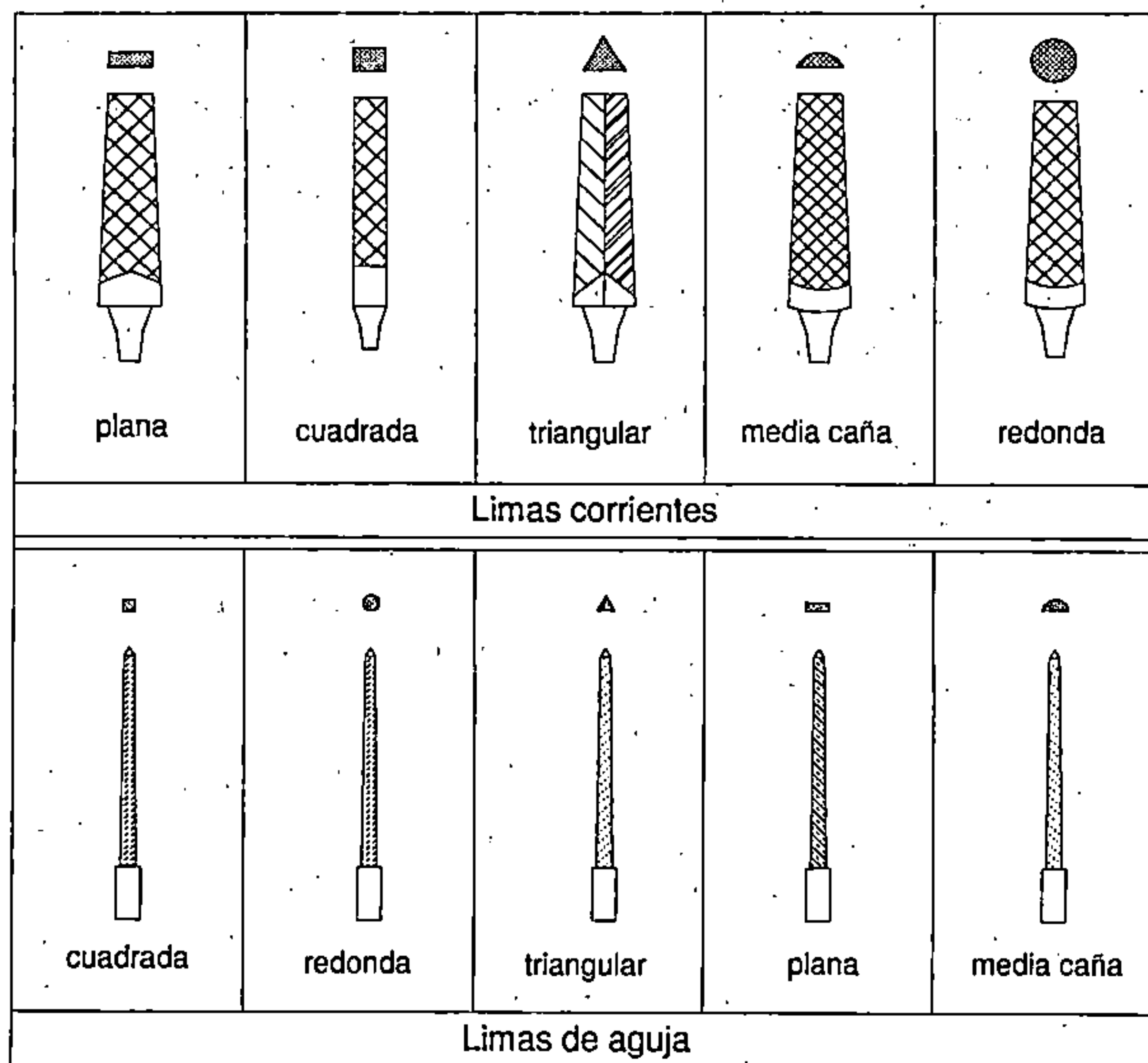


Figura 26. Limas corrientes y limas de aguja.

1.4 Sierra de arco manual. Hojas de sierra

Sierra de arco manual

La sierra de arco es una herramienta manual que sirve para el corte de barras metálicas de pequeña dimensión. Para medidas mayores a una pulgada o 25 milímetros es recomendable usar la sierra mecánica.

Las partes de la sierra de arco manual lo forman el arco y la hoja. El elemento principal de una sierra de arco es la hoja de corte. El arco o bastidor puede ser de un tipo fijo que sólo admite una longitud de hoja, o también puede ser ajustable para hojas de varias longitudes. Los arcos son hechos con mangos rectos o también inclinados. Los soportes o sujetadores pueden fijar la hoja formando ángulos alrededor del eje de dicha hoja. La figura 27 muestra el esquema de la hoja montada y las partes principales de la sierra manual.

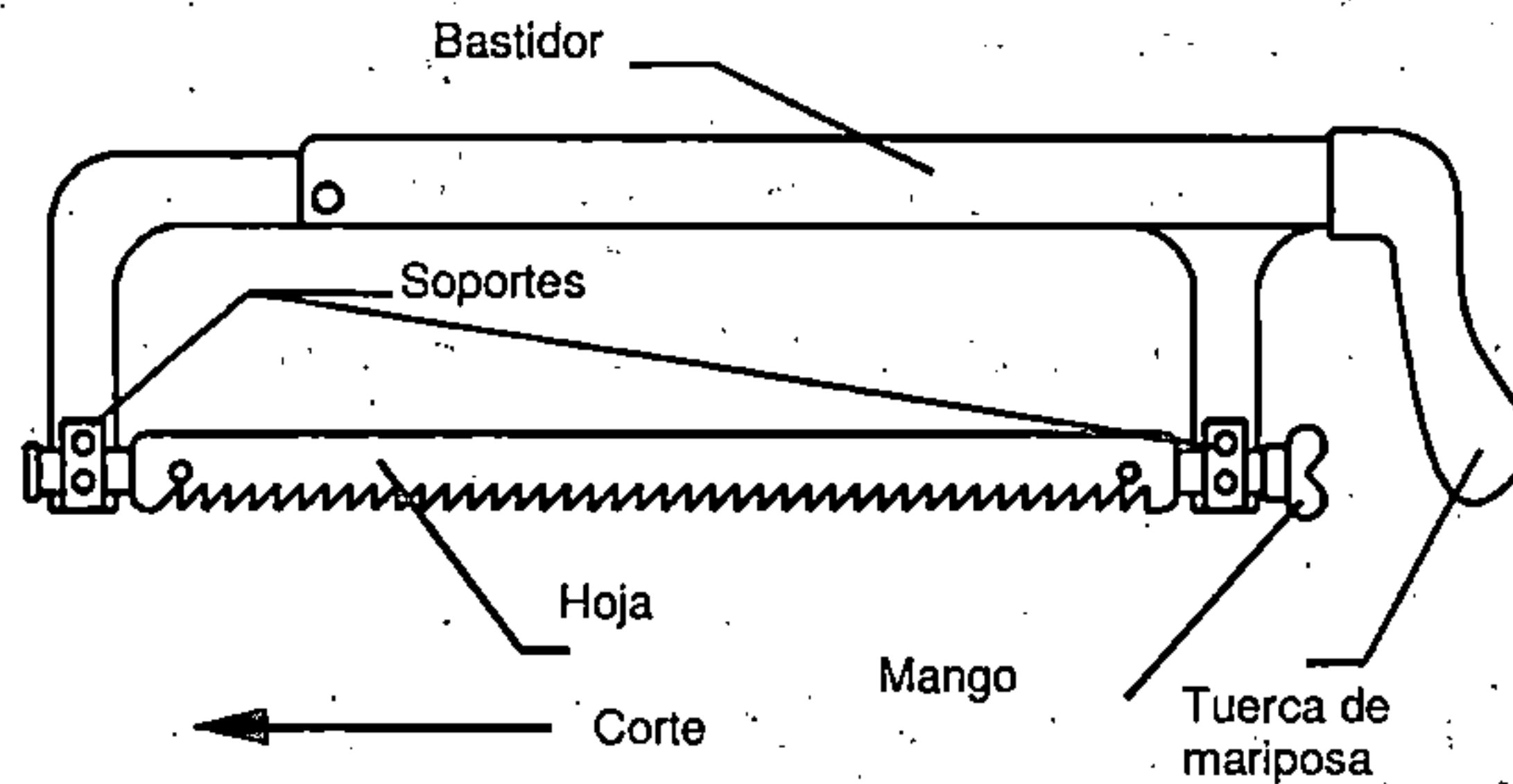


Figura 27. La sierra de arco y sus partes. Los dientes de la hoja muestran el sentido de corte de la herramienta.

Hojas de sierra

Las hojas de sierra son elementos de corte de acero al carbono preferentemente elásticos. La mejor técnica se da en las hojas bimetálicas donde el material del alma es elástico y el material de los dientes de corte es más duro, pero más frágil que el alma.

El montaje de la hoja debe ser con los dientes adelante en la dirección del corte, oponiéndose al lado del mango. Este detalle es importante pues, al observar la figura 28, un sentido es de corte y el otro de descanso.

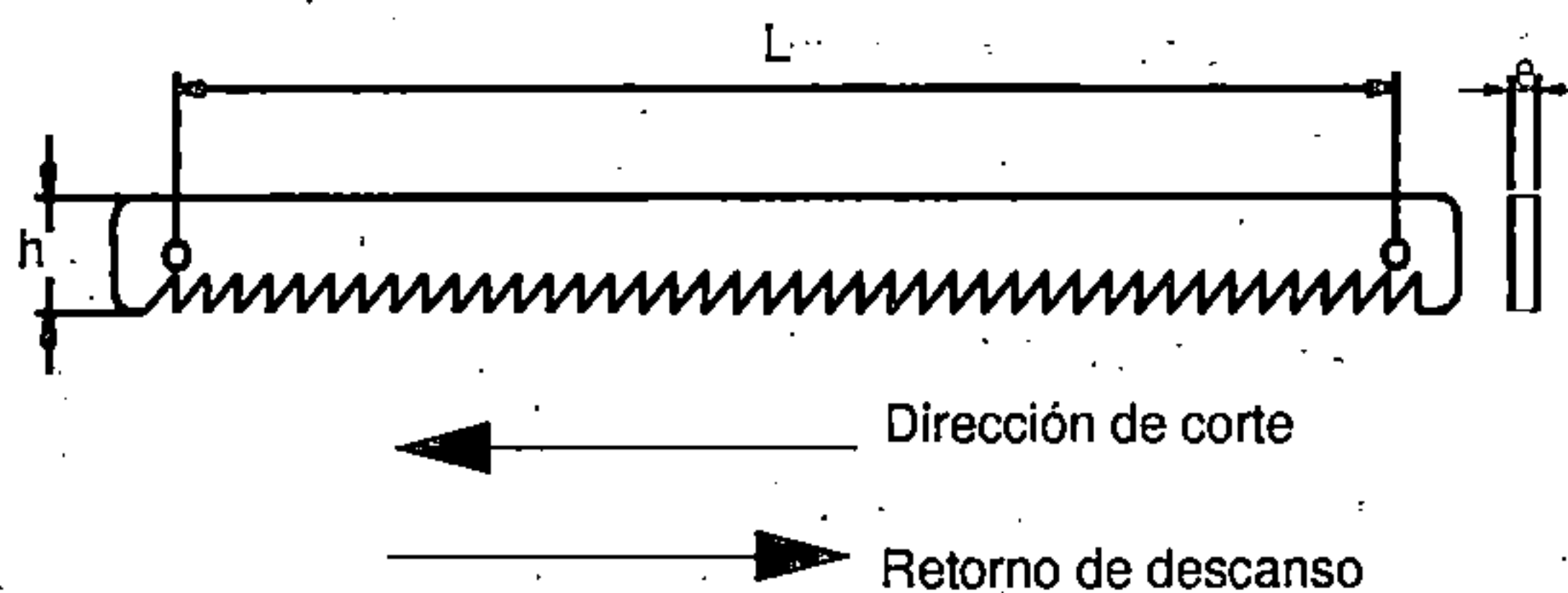


Figura 28. La hoja de sierra y su geometría.

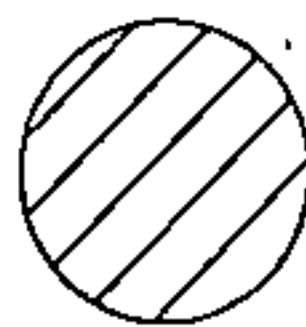
Las características generales de las hojas de sierra pueden ser:

- **Tamaño** longitud $L = 8 - 10 - 12$ pulg. ($\approx 20 - 25 - 30$ cm)
altura $h \approx \frac{1}{2}$ "
espesor $e \approx 0.025$ pulg. (0.64 mm)

- **Material**
 - acero al carbono con aleación de tungsteno (W).
 - acero al carbono con aleación de molibdeno (Mo).
 - acero al wolframio (W) de alta velocidad (acero rápido).
 - acero al molibdeno (Mo) de alta velocidad (acero rápido).

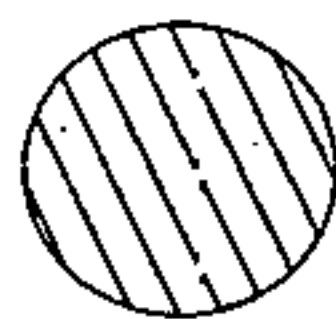
Nota.- El tungsteno o wolframio es un metal cuyo aspecto es semejante al acero brillante. Su densidad es $\gamma_w = 19.3 \text{ kg/lt.}$ También se le utiliza en lámparas con filamentos de tungsteno y en aleaciones que dan alta dureza a los aceros.

- **Tipos de hojas:**
 - *Hoja toda endurecida.*- Con acero extraduro templado y revenido. Son frágiles.
 - *Hojas semiflexibles.*- Son en general menos frágiles.
 - *Hojas dorso flexible o bimetálicas.*- Sólo los dientes están endurecidos, haciendo a la hoja menos frágil.
- **Número de dientes:**
 - *14 dientes/pulg..*- (disposición alternada). Para cortar: acero blando, latón y hierro fundido.

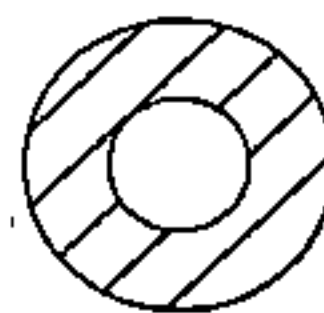


acero
blando

- *18 dientes/pulg..*- (disposición alternada). Para cortar: barras, barrenas (husillos), ángulos de hierro delgados, acero de herramientas.

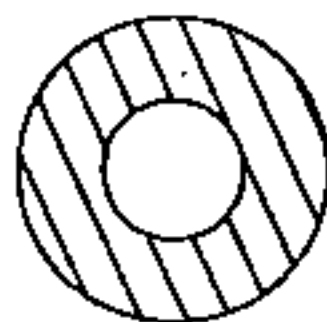


bronce



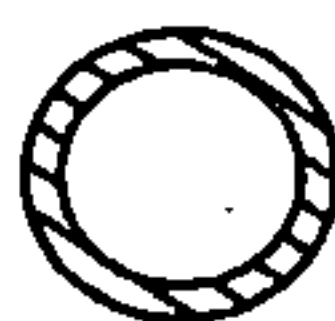
husillo
de
acero

- *24 dientes/pulg..*- (disposición ondulada). Para cortar: tubos de bronce, tubos de hierro de paredes gruesas.



husillo
de
bronce

- 32 dientes/pulg.- (disposición ondulada). Para cortar: tubos de pared delgada y láminas de metal.



tubos de pared delgada

1.5 Brocas. Tipos de broca

Brocas

Las brocas son herramientas de corte con arranque de viruta, cuya función principal es hacer agujeros pasantes a los diferentes tipos de materiales. Las dos fuerzas actuantes principales son, por un lado, la de corte, que es la fuerza tangencial y, por otro lado, la axial de compresión, que es la fuerza promotora de la penetración y generación del agujero.

Las brocas normales se producen con vástago recto, cónico u otro elemento de fijación rápida. El vástago es generalmente blando para facilitar la sujeción. La parte cortante de la broca se produce de acero endurecido de alto contenido de carbono, acero rápido o de aceros aleados con cobalto. La punta de corte de la broca también puede estar constituida por una pastilla de carburo.

Estas herramientas se elaboran maquinando dos canales espirales o ranuras a lo largo del cuerpo de la broca. Las acanaladuras o canales permiten la salida de la viruta.

El sentido de giro de la broca y, por lo tanto, el sentido de corte se determina haciendo uso de la regla de la mano derecha.

Tipos de broca

Se consideran tres tipos importantes de brocas, que se basan en el tipo de material a taladrar. Por lo tanto, se tienen brocas para metales, brocas para madera y materiales blandos no metálicos, y brocas para cemento, piedra y concreto.

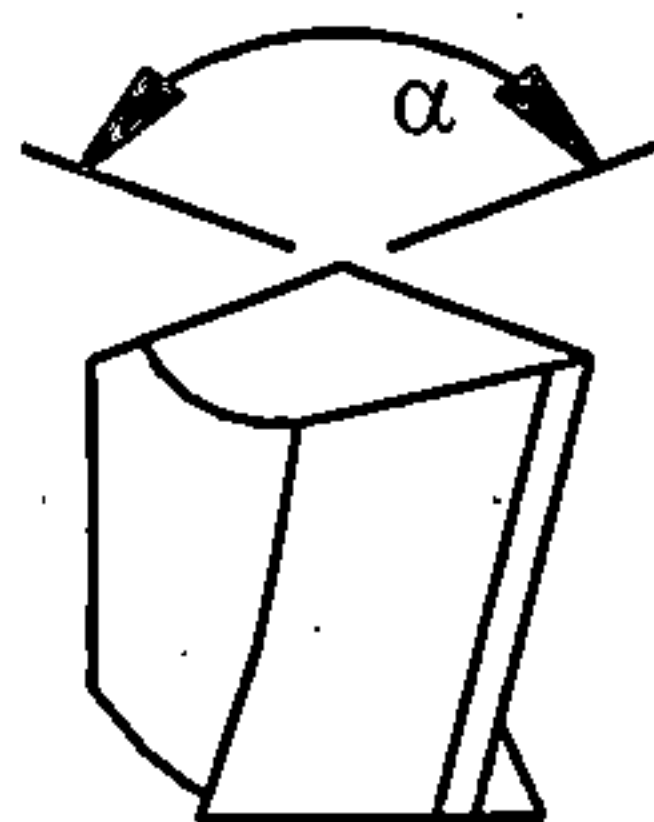


Figura 29. Ángulo de las brocas. El ángulo de la punta queda determinada por el tipo de material a taladrar.

- *Brocas para metales.*- Las brocas para metales tienen un ángulo α que van de 136° a 90° . Para taladrado de cigüeñales α es 128° , para materiales duros, 136° , aceros con tratamientos

térmicos y aleados y piezas forjadas 125° , para hierro fundido, aleaciones de aluminio, cobres, bronces 90° , para aceros suaves es 118° .

La figura 20 muestra dos brocas para metal, una con vástago cilíndrico y otra con cono morse.

- *Brocas para maderas y materiales no metálicos.*- Las brocas para estos casos tienen puntas más pronunciadas, y el ángulo de las caras de corte α va de 118° a 60° . Estas brocas llevan generalmente una puntita tipo tornillo para la penetración inicial. Para taladrar baquelita, cobre, plástico, se tiene un ángulo α de 118° , para madera fibra de vidrio se tiene 60°
- *Brocas para cemento.*- Estas brocas logran penetrar el cemento fácilmente con ayuda de un percusor. La punta es acerada o puede llevar una pastilla carburada la cual es más ancha que el diámetro general de la broca y permite abrir el agujero en el lugar necesario.

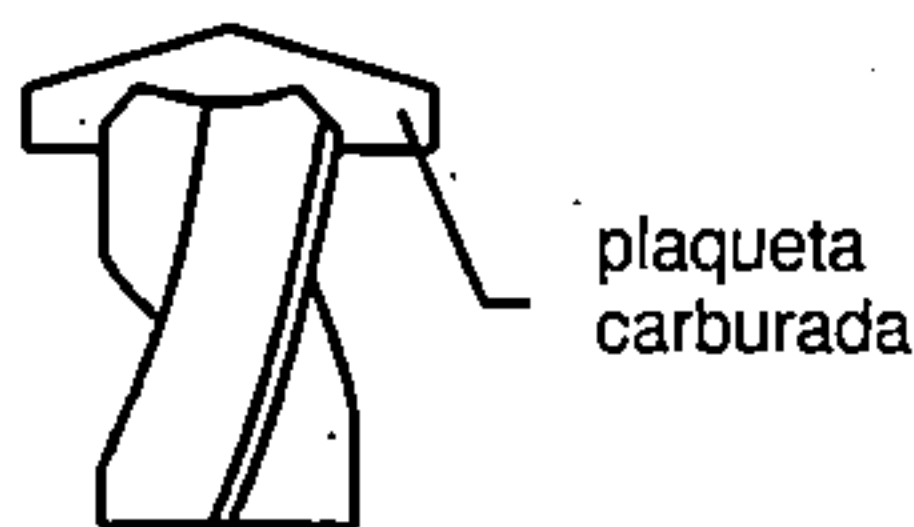


Figura 30. Cabeza de una broca para cemento.

En casos especiales, y ante la imposibilidad de hacer un recocido, se puede hacer agujero a piezas templadas, usando este tipo de brocas.

1.6 Herramientas de roscar. Machos de roscar. Terraaja para roscar ejes

Herramientas de roscar

Las herramientas manuales de roscar son las brocas de machos o machos de roscar y las terrajas o dados para roscar ejes.

Machos de roscar

El macho es una herramienta con el filete o hilo de corte dividido en tres, cuatro o seis dientes, mediante surcos longitudinales (figura 31).

Los machos de roscar vienen en diferentes medidas y para cada medida hay tres machos pasantes: uno basto, uno medio y uno de acabado.

El empleo de machos es un procedimiento sencillo para generar una rosca interna en un agujero previamente taladrado. Manualmente se pueden lograr roscas menores a una pulgada o 25 milímetros.

- *Ángulos característicos:*
 - Ángulo de incidencia α .- Su función es disminuir la fricción entre la herramienta y la pieza. Su valor es siempre bastante pequeño, para evitar variaciones sensibles del diámetro en los afilados de la herramienta.

Como referencia se tiene: $0^\circ \leq \alpha < 6^\circ$

- Ángulo de ataque γ .- Este ángulo está en función de la resistencia de corte del material a roscar, del grado de acabado esperado en la rosca interior y de la eliminación de viruta. Este ángulo es menor si aumenta la dureza del material a trabajar.

Como referencia se tiene: $6^\circ \leq \gamma \leq 25^\circ$

- Ángulo de filo β .- Este ángulo se obtiene del resultado de la elección de los ángulos de incidencia y ataque.

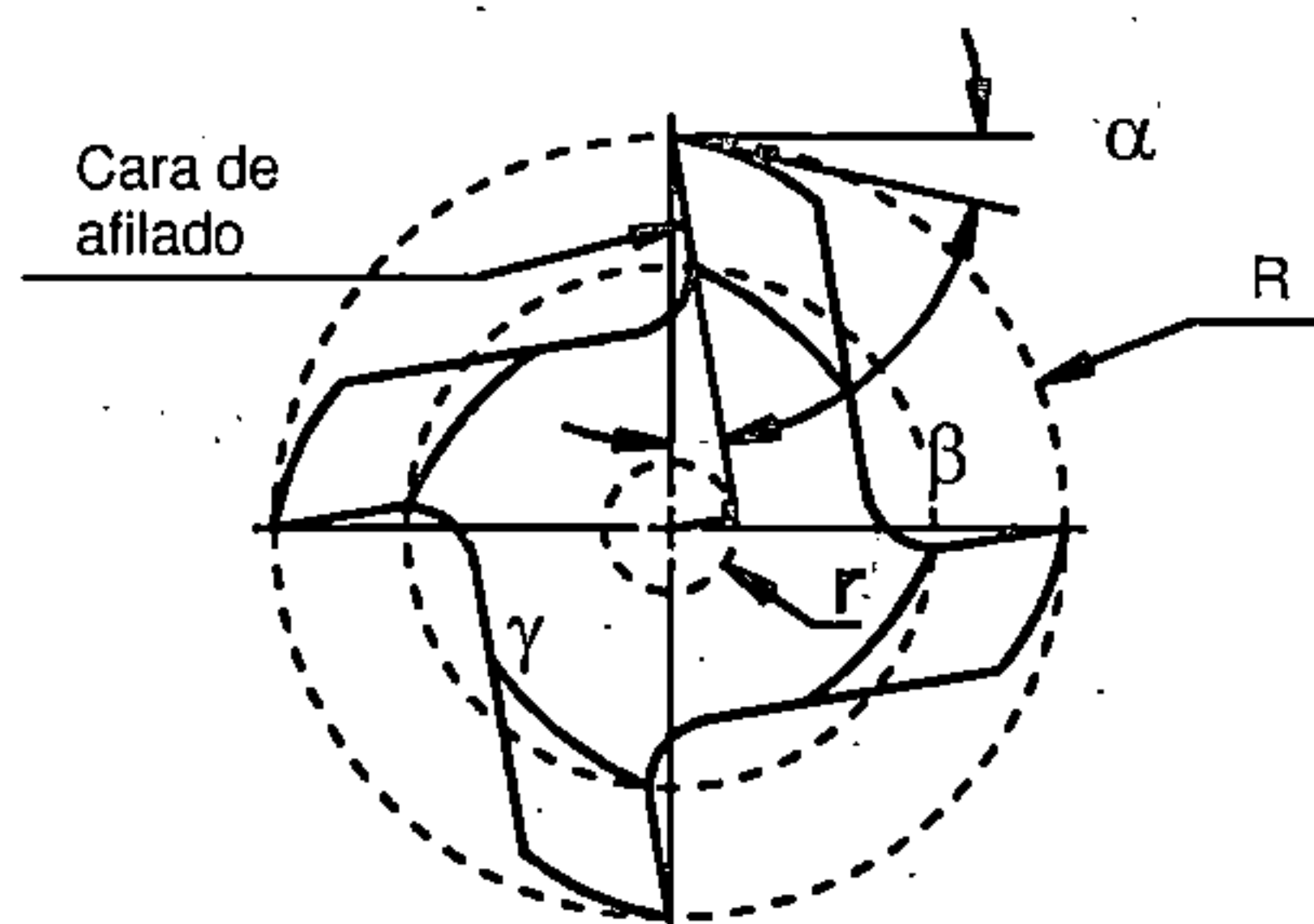


Figura 31. Vista de sección de un macho de roscar. El radio menor r , está en función al ángulo de ataque γ y al radio mayor R .

- Ángulos recomendados para algunos materiales a roscar:

Material a roscar	α	β	γ
Aleaciones blandas, aluminio, bronce	0°	65°	25°
Aceros de bajo carbono	6°	75°	9°
Aceros de medio carbono y aleados	4°	80°	6°

- *Conjunto de machos para roscar a mano una rosca interior.*- Los machos se accionan con una palanca giramachos. Tienen una punta o entrada troncocónica, cuya longitud aumenta con la dureza del material. Para disminuir esfuerzos y mejorar la calidad de la rosca interior, generalmente se utilizan tres machos:
 - Macho de desbaste o "basto"
 - Macho intermedio o "medio" o semibasto
 - Macho de acabado o "fino"

Es decir, se inicia el camino de roscado con el "basto", se continúa con el "medio" y se termina con el "fino".

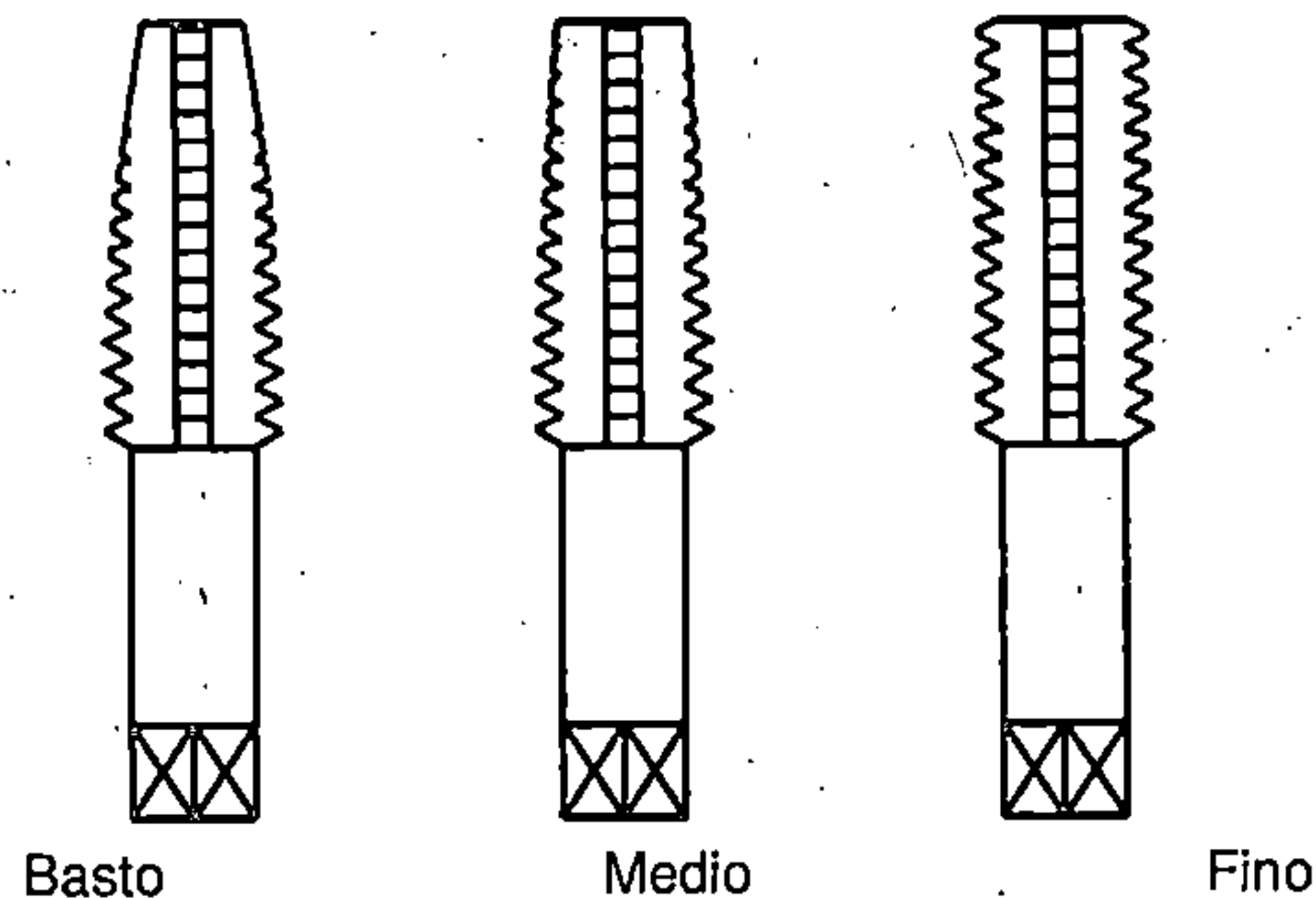


Figura 32. Juego de machos de roscar para generar una rosca interior.

Terraja para roscar ejes

El dado de roscado de ejes o llamado terraja es una herramienta sencilla para generar roscas exteriores a ejes previamente preparados.

Las terrajas vienen en dados de diferentes medidas y para cada medida es un solo dado.

Al igual que el macho de roscar, la terraja de roscar tiene los filetes divididos en partes tales que permite la liberación fácil de la viruta en el momento del corte.

Los ángulos característicos cumplen las mismas funciones que los correspondientes a los machos de roscar. La diferencia principal se da en que la terraja cuenta con un solo dado para la generación de la rosca exterior. Sólo es necesario dejar el diámetro recomendado al eje a desbastar.

El roscado manual de ejes se puede dar para diámetros menores de una pulgada o 25 milímetros.

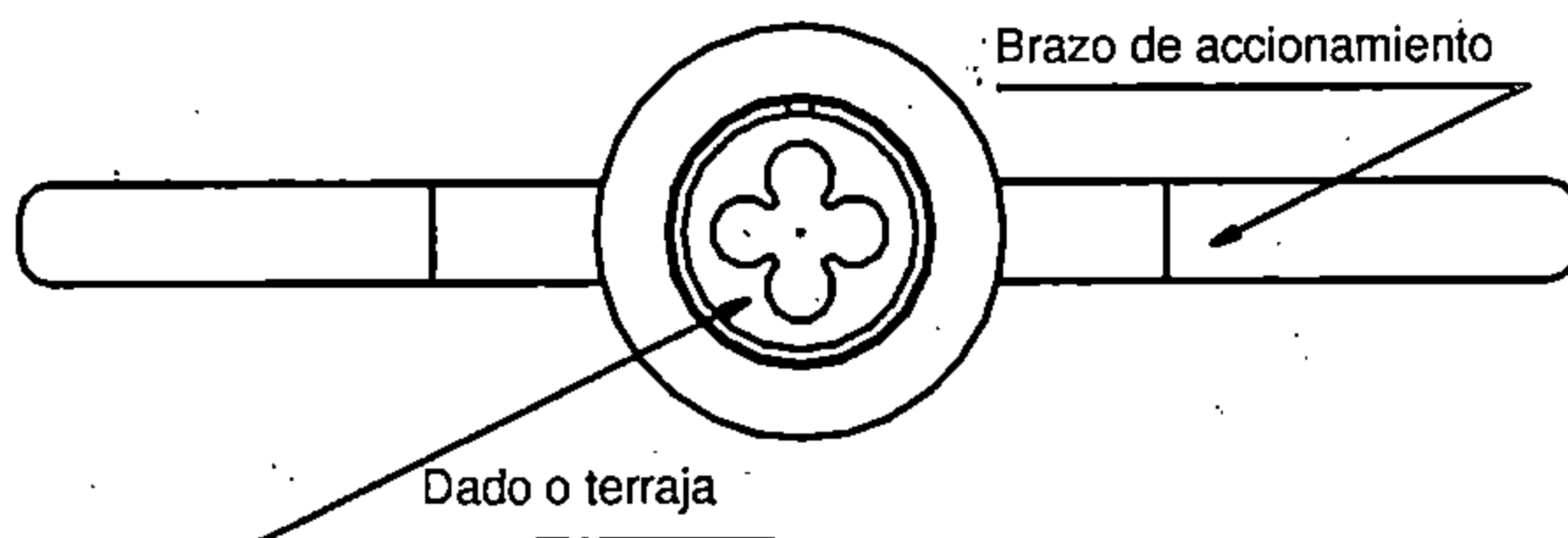


Figura 33. La terraja y su palanca de accionamiento de torque.

1.7 Fabricación manual de roscas. Fabricación de la rosca interior. Fabricación de la rosca exterior

Fabricación manual de roscas

La explicación y procedimiento de fabricación manual de roscas se facilita bastante conociendo la nomenclatura de las roscas interiores o tuercas y de las roscas exteriores o tornillos. Cabe indicar que perno es un tornillo con su propia tuerca.

Partiremos dando la nomenclatura general de una rosca en el sistema americano y una rosca en el sistema internacional.

En el sistema americano se tiene: $D_N - NH \text{ UNC} - nB$

donde:

D_N	:	diámetro nominal, o aproximadamente diámetro mayor de la rosca, en pulgadas.
NH	:	número de hilos por pulgada.
p	:	paso de la rosca interior ($p=1/NH$)
UNC	:	unificada nacional corriente (o también UNF : unificada nacional fina UNEF : unificada nacional extrafina)
B	:	rosca interior o rosca hembra (también, A : rosca exterior o rosca macho)
n	:	grado de calidad de la rosca
1B, 1A	:	ajuste flojo o de fácil montaje y desmontaje
2B, 2A	:	ajuste de calidad en tornillos, sujetadores y en la mayoría de piezas intercambiables
3B, 3A	:	ajuste de alta calidad, para máquinas de alta precisión

Como ejemplo, se tiene una rosca $\frac{1}{2} - 13 \text{ UNF} - 2B$,

entonces:	diámetro nominal o mayor	$\frac{1}{2}'' \phi$
	número de hilos por pulgada	13 hilos/pulgada
	paso	$1/13$ de pulgada
	calidad 2B, rosca interior con ajuste de calidad 2 para pernos.	

En el sistema internacional se tiene:

$$M D_N \times p$$

donde:

M	sistema métrico
D_N	diámetro nominal o aproximadamente diámetro mayor de la rosca, en milímetros.
p	paso de la rosca, expresada en milímetros el valor de (p se puede obviar si la rosca es gruesa, pero debe incluirse siempre si la rosca es de paso fino o extrafino)

Como ejemplo, se tiene las roscas M10 x 1.5, M10 y M10 x 1.0

Rosca M10 x 1.5 significa rosca milimétrica por la letra M, diámetro nominal 10 milímetros, y

paso de la rosca 1.5 milímetros. Observando la tabla 2 para 10 milímetros de diámetro, el paso 1.5 es para rosca gruesa y 1 milímetro para rosca fina.

Rosca M10

es rosca gruesa cuya nomenclatura es igual que escribir M10 x 1.5. Es decir, si no se indica el paso, se asume rosca gruesa.

Rosca M10 x 1.0

significa rosca milimétrica por la letra M, diámetro nominal 10mm, y paso 1mm, correspondiente a rosca fina.

Fabricación de la rosca interior

La rosca interior se fabrica con ayuda de los tres machos de roscar. Los pasos a seguir para la fabricación de una rosca interior unificada nacional se dan a continuación.

Primero

Conociendo el diámetro nominal D_N o D_{mayor} , se taladra el agujero previo de diámetro D_{Broca} aproximado, o de tablas. El agujero puede ser ciego, o también pasante, de acuerdo al diseño.

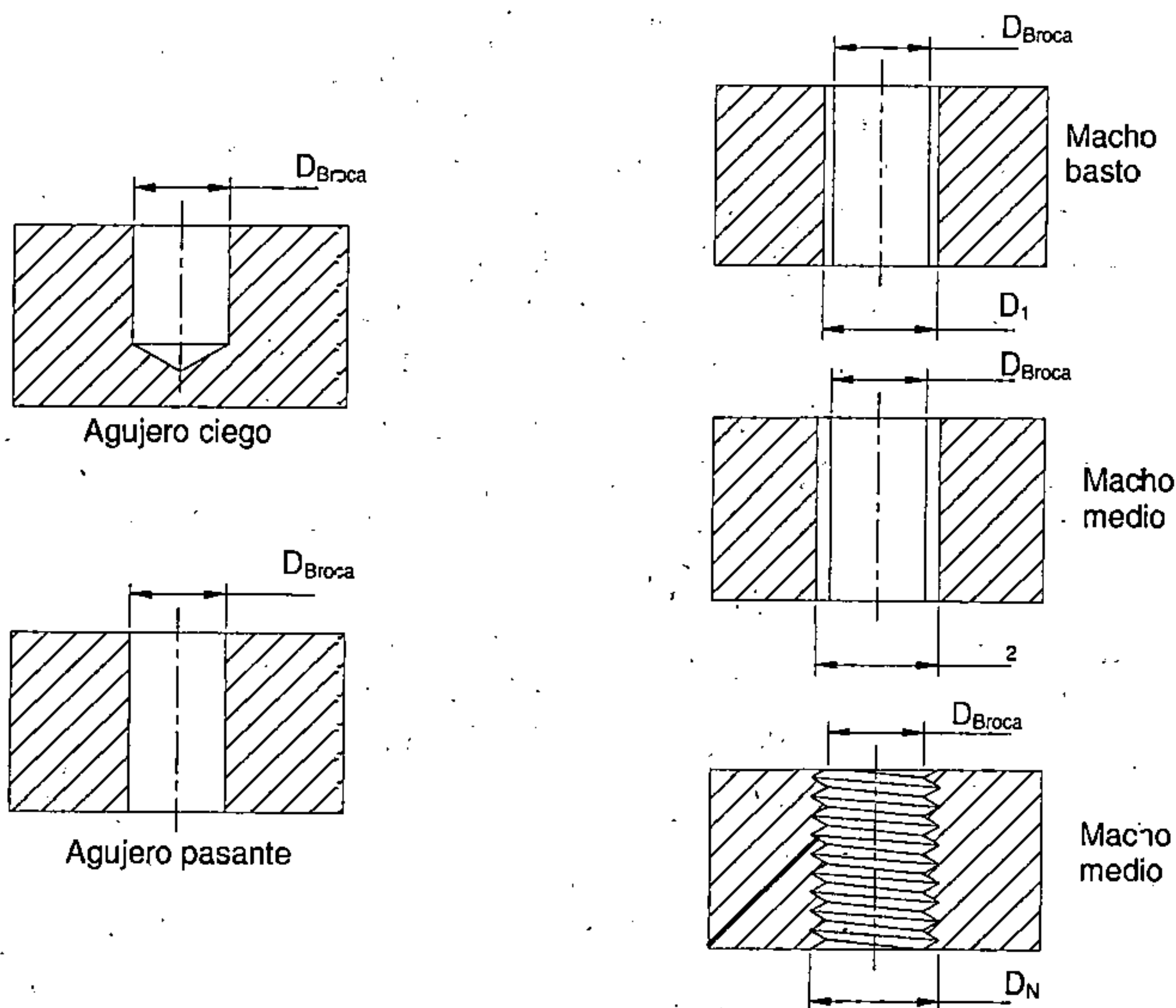


Figura 34. Fabricación manual de rosca interior.

Se cumple aproximadamente que el diámetro nominal o mayor de la rosca interior es el diámetro de la broca para hacer el agujero previo más el paso del hilo. Entonces, se tiene que el diámetro de la broca será:

$$D_{\text{BROCA}} \approx D_{\text{mayor}} - p$$

Donde se tiene:

D_{BROCA}	diámetro de broca previa a usar.
D_{mayor}	diámetro mayor de la rosca interior. ($D_N = D_{\text{mayor}}$)
p	paso de la rosca interior.
NH	número de hilos por pulgada.

El paso p de la rosca americana (pulgadas) se obtiene dividiendo 1 entre el número de hilos por pulgada (NH).

$$p = \frac{1}{NH}$$

En la rosca milimétrica la especificación indica directamente el paso.

Las tablas 1 y 2 muestran el diámetro de broca recomendable D_{BROCA} , correspondiente al sistema en pulgadas y al sistema en milímetros respectivamente.

Segundo

Se selecciona el juego de machos, conjunto de tres machos de roscar, de acuerdo con el diámetro D_N y el paso p , o el número de hilos NH .

Se pasan los tres machos con ayuda de la palanca de torque, haciendo el maquinado manual en el orden establecido, primero macho "basto", luego macho "medio", y finalmente macho "fino" para el acabado.

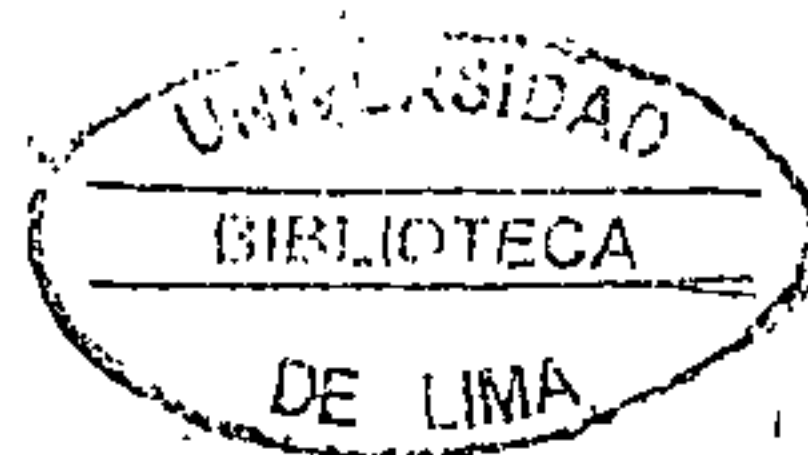
Se recomienda conservar la dirección axial del macho con el agujero y, además, girar un cuarto de vuelta y retroceder para desechar la viruta, luego girar otro cuarto de vuelta y volver a retroceder, y así sucesivamente hasta terminar la rosca.

Macho	Hilos	Broca	Macho	Hilos	Broca
D_N	NH	D_{BROCA}	D_N	NH	D_{BROCA}
1/16	60	3/64	5/8	18	37/64
3/32	48	1/16	11/16	11	19/32
1/8	40	3/32	11/16	16	5/8
5/32	32	1/8	3/4	10	21/32
5/32	36	1/8	3/4	16	11/16
3/16	24	9/64	3/4	20	45/64
3/16	32	5/32	7/8	9	48/64
7/32	24	11/64	7/8	14	13/16
7/32	32	3/16	7/8	20	53/64
1/4	20	13/64	1	8	7/8
1/4	24	13/64	1	12	59/64
1/4	28	7/32	1	14	15/16
1/4	32	7/32	1	20	61/64
5/16	18	1/4	1 1/8	7	63/64
5/16	24	17/64	1 1/8	12	1 3/64
5/16	32	9/32	1 1/4	7	1 3/64
3/8	16	5/16	1 1/4	12	1 11/64
3/8	24	21/64	1 3/8	6	1 7/32
7/16	14	3/8	1 1/2	6	1 11/32
7/16	20	25/84	1 1/2	12	1 27/64
1/2	12	27/64	1 5/8	5 1/2	1 29/64
1/2	13	27/64	1 3/4	5	1 9/16
1/2	20	29/64	1 7/8	5	1 11/16
9/16	12	31/64	2	4 1/2	1 25/32
9/16	18	33/64	3	4	2 3/4
5/8	11	17/32	4	4	2 3/4

Tabla 1. Tabla unificada nacional de brocas para la fabricación de roscas interiores, con machos de roscar en pulgadas (sistema ASA).

Diámetro D _N Mm	Paso p mm Gruesa	Broca D _{BROCA} Mm	Paso p Mm Fina	Broca D _{BROCA} Mm
1	0,25	0,88	0,2	0,76
1,2	0,25	0,88	0,2	0,94
1,4	0,3	1,01	0,2	1,14
1,7	0,35	1,25	0,2	1,42
2	0,4	1,48	0,25	1,70
2,3	0,4	1,78	0,25	1,98
2,6	0,45	2,02	0,35	2,15
3	0,5	2,35	0,35	2,55
3,5	0,5	2,72	0,35	3,05
4	0,7	3,09	0,5	3,35
4,5	0,75	3,58	0,5	3,35
5	0,8	3,96	0,5	4,33
6	1	4,70	0,75	5,03
7	1	5,70	0,75	5,03
8	1,25	6,38	1	6,70
9	1,25	7,38	1	7,70
10	1,5	8,05	1	8,70
12	1,75	9,73	1,5	10,00
14	2	11,40	1,5	12,05
16	2	13,40	1,5	14,05
18	2,5	14,75	1,5	16,05
20	2,5	16,75	1,5	18,05
22	2,5	18,75	1,5	20,05
24	3	20,10	2	21,40
27	3	23,10	2	21,40
30	3,5	25,45	2	21,40
33	3,5	28,45	2	20,40
36	4	30,80	3	32,10

Tabla 2. Tabla de brocas para fabricación de roscas interiores con machos de roscar en milímetros (sistema DIN).



Fabricación de la rosca exterior

La fabricación de una rosca exterior se realiza sobre un eje con ayuda de la herramienta llamada terraja. El dado de la terraja debe corresponder al número de hilos. El eje debe ser torneado previamente a un diámetro ligeramente menor al diámetro nominal D_N de la especificación de la rosca.

Sea la especificación de la rosca a crear, $D_N - NH \text{ UNC} - 2A$, o también $MD_{N \times p}$; entonces el diámetro previo del eje o vástago es:

$$D_{\text{eje}} = D_N - (0,1 \text{ a } 0,2)p$$

donde: D_{eje} diámetro del eje o vástago previo a la terraja.
 D_N diámetro nominal de la rosca
 p paso de la rosca

En la práctica se puede considerar:

$$D_{\text{eje}} = D_N - 0,15p$$

o para diámetros menores a $\frac{3}{4}"\phi$, aproximar el valor de:

$$D_{\text{eje}} \approx D_N - \frac{1"}{128}$$

y en el sistema métrico

$$D_{\text{eje}} \approx D_N - 0,2\text{mm}$$

La figura 35 muestra el esquema del eje previo, y el roscado final.

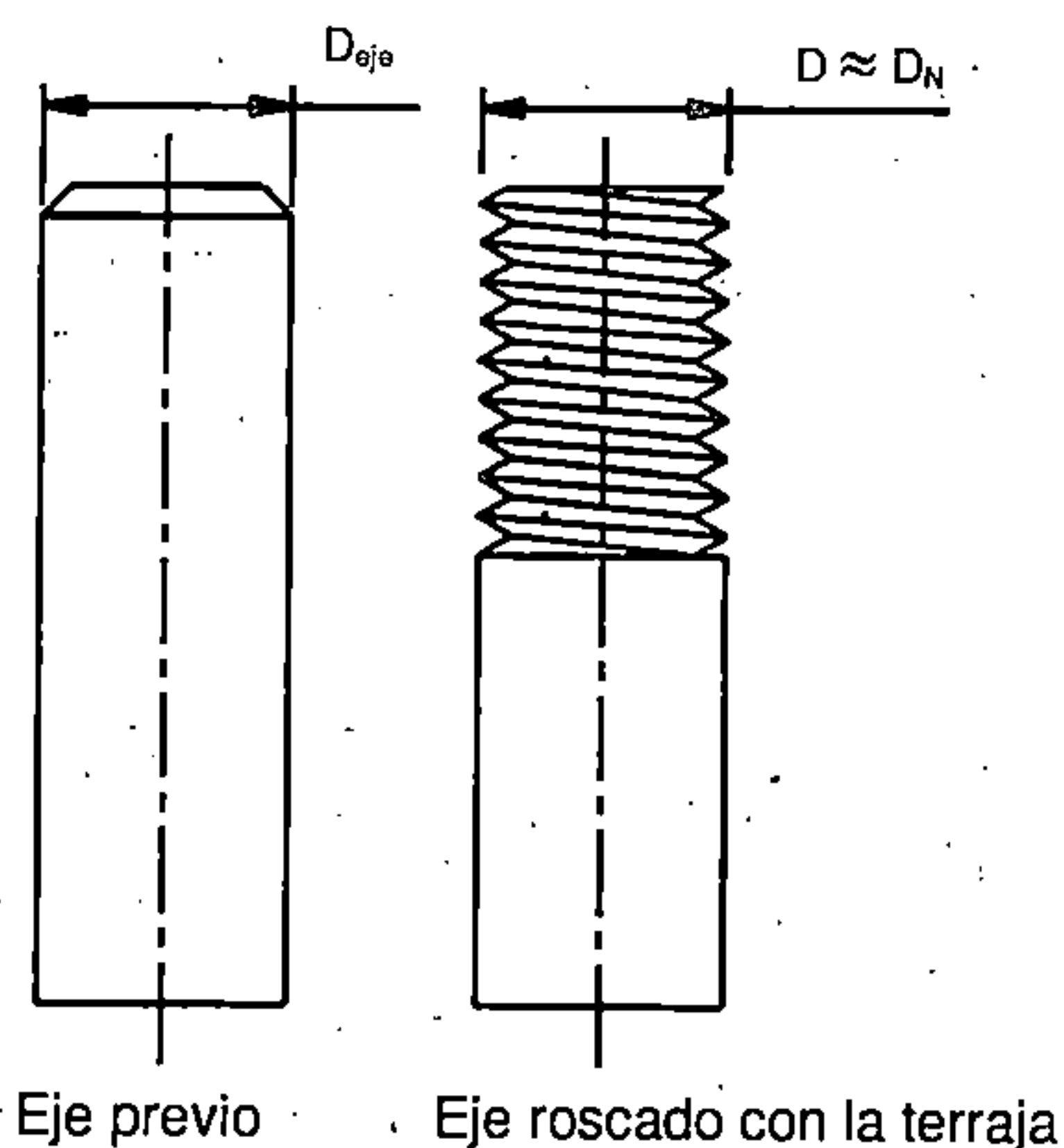


Figura 35. Fabricación manual de rosca exterior.

2. PROBLEMAS DE APLICACIÓN

Problema 1

¿Qué diámetro aproximado de broca previa al juego de machos de roscar recomienda para hacer las roscas interiores 5/16 - 18 UNC - 2B y M8 x 1,25? Dar ambas respuestas en mm.

Solución:

Para la rosca interior 5/16 - 18 UNC - 2B, el diámetro de broca previa aproximado será, según el ítem 1.7,

$$D_{\text{BROCA}} \approx D_N - p, \quad D_{\text{BROCA}} \approx \frac{5}{16} - \frac{1}{18}, \quad D_{\text{BROCA}} \approx 0,257 \text{ pulg.}$$

o de la tabla 1, se obtiene: $D_{\text{BROCA}} = \frac{1''}{4}$

y se obtiene el rango: $\frac{1''}{4} \leq D_{\text{BROCA}} \leq 0,257''$

Como en la práctica se puede recurrir a brocas milimétricas, entonces el rango de valores es:

$$6,35\text{mm} \leq D_{\text{BROCA}} \leq 6,50\text{mm}$$

Para la rosca interior M8 x 1,25, el diámetro de broca previa será:

$$D_{\text{BROCA}} \approx 8 - 1,25, \quad \underline{D_{\text{BROCA}} \approx 6,75\text{mm}}$$

De la tabla 2 se obtiene: $\underline{D_{\text{BROCA}} = 6,38\text{mm}}$

Finalmente, el rango en milímetros será:

$$6,38 \leq D_{\text{BROCA}} \leq 6,75$$

(1/4") (0,266")

Problema 2

Dada una rosca interior M14x2: (marcar la respuesta correcta)

- En su fabricación manual, se hace previamente un agujero de 13,9mm antes de introducir los machos de roscar. ✖
- El paso de la rosca es aproximadamente 1/2 pulg. -|

- c. Se puede tallar la rosca en el torno, usando el avance manual del carro portaherramientas del torno.
- d. Se puede usar un juego de machos M14x2, o 35/64-12UNC-2A
- e. N.A.

Solución:

Según la tabla 2, la broca previa es de 11,40mm. El paso de la rosca es aproximadamente 0,08 pulgadas (2mm). La rosca se fabrica en el torno con avance automático. Sólo se puede usar macho en milímetros.

La respuesta es e. N.A.

Problema 3

Indicar la diferencia entre gramil y granete.

Solución:

El gramil permite controlar paralelismo y circularidad de superficies. La base puede ser la piedra mármol para comparar superficies planas, o también para el caso de círculos, la bancada del torno, para superficies cilíndricas.

El granete o punzón sirve para dejar una huella previa al centro de un agujero a taladrar con la broca. El granete recibe el impacto del martillo y deja marcado el centro con su punta de acero duro, y sirve de guía para la punta de la broca.

Problema 4

Mencionar algunos elementos de medición directa y de medición indirecta en un taller de metal-mecánica.

Solución:

Medición directa:

- Vernier, pálmer, profundímetro, alturímetro, reloj comparador, goniómetro, regla graduada.

Medición indirecta:

- Galgas o *gauges*, compases, patrones de calibración, comparadores telescópicos.

Problema 5

Indicar si es verdadera (V) o falsa (F), cada una de las afirmaciones.

- La carda permite el trazado de líneas de referencia. F
- El cincel permite arrancar material, para dejar la pieza a la dimensión requerida. V X → F
- La lima redonda permite agrandar agujeros circulares. V
- La tarraja o terraja sirve para hacer roscas interiores. F
- El mármol permite comprobar la planitud de las superficies. ✓

Solución:

La carda sirve para limpiar las limas o material de viruta o rebarba. El cincel arranca material, pero no se logra las medidas requeridas por el plano. La terraja talla roscas exteriores en ejes.

La respuesta es FFVFV.

Problema 6

Con ayuda de la terraja se desea fabricar la rosca exterior $\frac{7}{8}-20 \text{ UNEF}-2A$, para un perno de cabeza hexagonal cuya longitud roscada deberá ser 1 pulgada, y el vástago sin roscar $\frac{1}{2}$ pulgada de longitud.

- ¿De qué diámetro máximo puede ser el tramo sin roscar?
- ¿Cuál es el diámetro previo a la fabricación de la zona roscada?

Solución:

- El vástago no roscado corresponde al diámetro nominal de la rosca $\frac{7}{8}$ pulgada.
- La zona roscada necesita un eje previo que, según el ítem 1.7, para roscar ejes, será aproximadamente:

$$D_{\text{eje}} = D_N - 0,15 p, \text{ Es decir: } D_{\text{eje}} = \frac{7}{8} - 0,15 \left(\frac{1}{20} \right)$$

Luego:

$$D_{\text{eje}} = 0,8675" \text{ (o } 22\text{mm } \phi)$$

CAPÍTULO IV

EL TORNO

1. CONCEPTO

El torno es una máquina de arranque de viruta, cuya función principal es lograr superficies de revolución; es decir, ejes y agujeros concéntricos en metales u otros materiales. La figura 1 muestra un proceso común de torneado de una pieza mecánica.

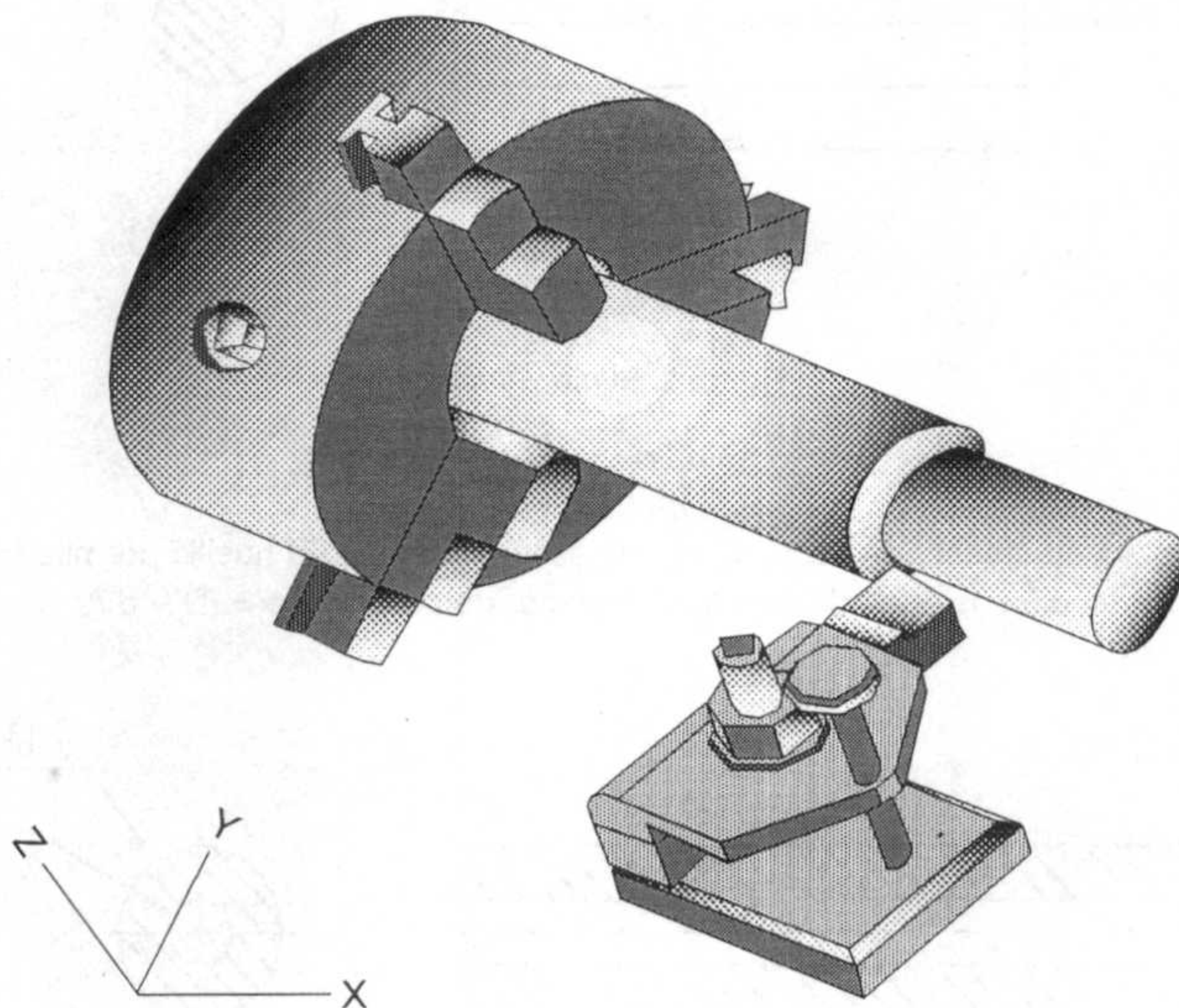


Figura 1. Torneado de una pieza mecánica. Se observa el *chuck* sujetando la pieza, mientras la herramienta se encuentra en un proceso de reducción de diámetro.

1.1 Superficies de revolución comunes en el torneado

El torneado representa todas las operaciones de maquinado para generar superficies de revolución con el uso del torno.

Hay una gran variedad de términos en ingeniería que describen una superficie de revolución y que puede ser generada en el torno. En el presente capítulo describiremos algunas de las superficies más comunes, que se pueden encontrar en una máquina, equipo o herramienta.

Eje

El eje es una barra sólida de sección circular. Eje será una definición general que puede ser aplicada a toda superficie de revolución.

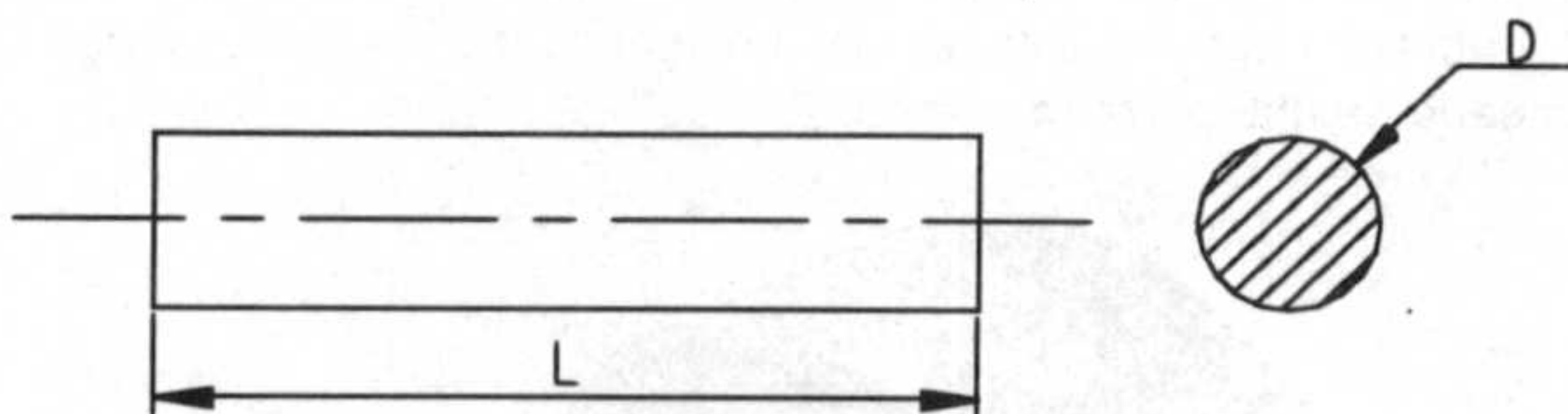
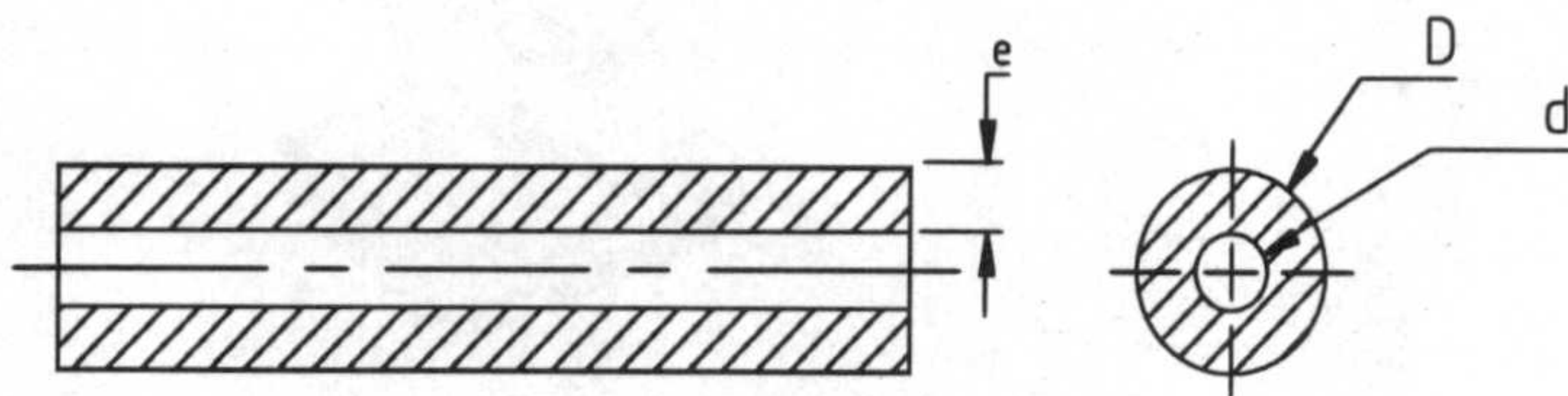


Figura 2. El eje y su sección.

Husillo

El husillo es un eje hueco; es decir, un eje de sección tubular. El husillo permite transmitir potencia al eje, debido a sus dimensiones de pared. El espesor de pared es $e = (D - d)/2$



$$0 < d < D$$

Figura 3. El husillo y su sección.

1.1 Superficies de revolución comunes en el torneado

El torneado representa todas las operaciones de maquinado para generar superficies de revolución con el uso del torno.

Hay una gran variedad de términos en ingeniería que describen una superficie de revolución y que puede ser generada en el torno. En el presente capítulo describiremos algunas de las superficies más comunes, que se pueden encontrar en una máquina, equipo o herramienta.

Eje

El eje es una barra sólida de sección circular. Eje será una definición general que puede ser aplicada a toda superficie de revolución.

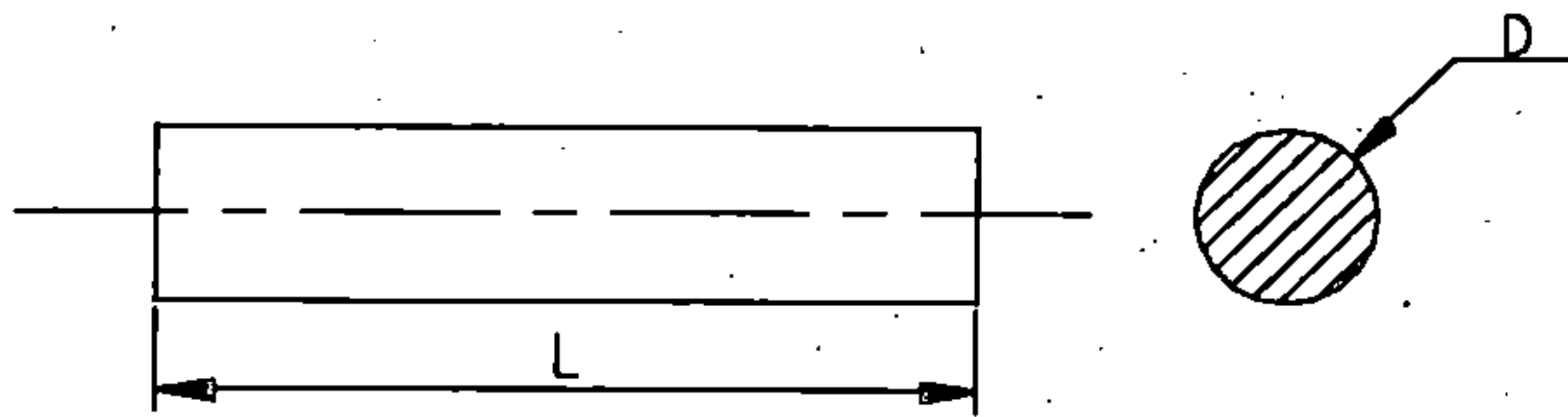


Figura 2. El eje y su sección.

Husillo

El husillo es un eje hueco; es decir, un eje de sección tubular. El husillo permite transmitir potencia al eje, debido a sus dimensiones de pared. El espesor de pared es $e = (D - d)/2$

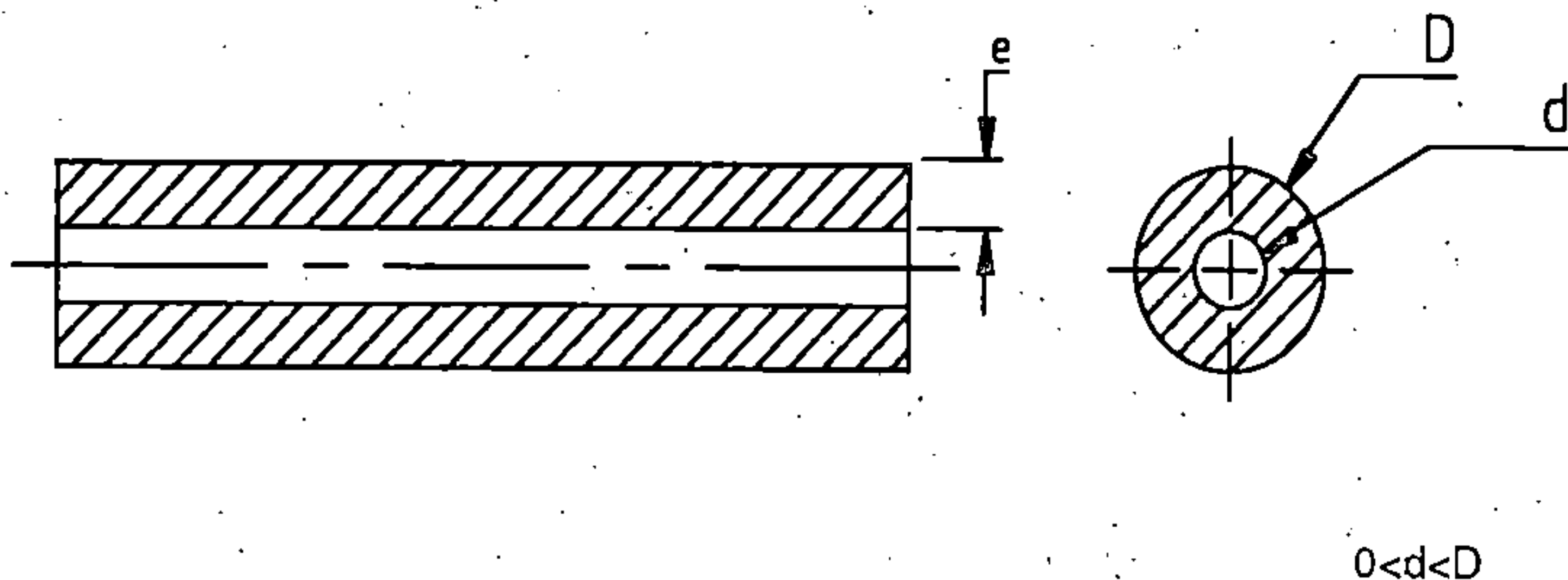
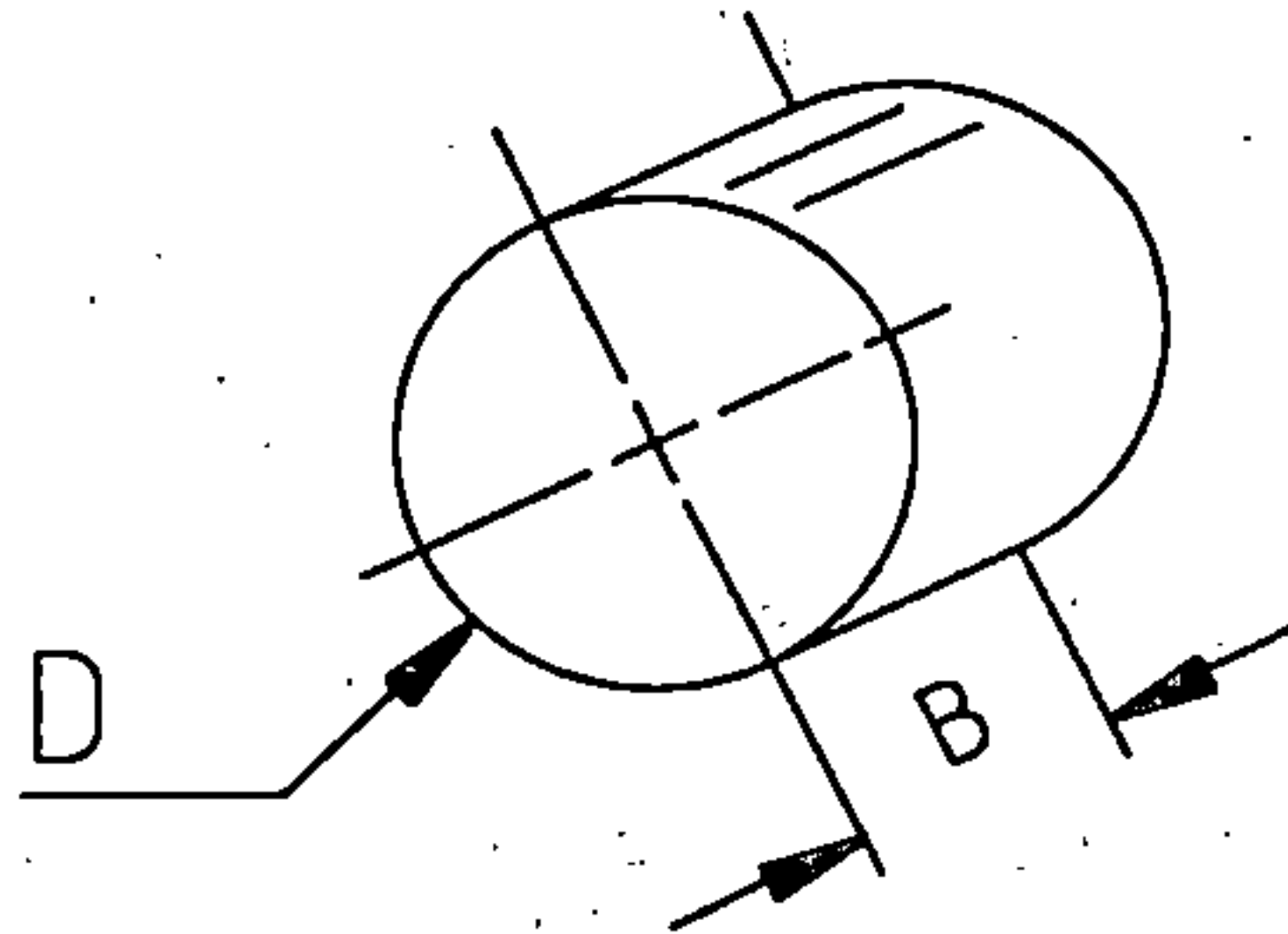


Figura 3. El husillo y su sección.

Cubo

El cubo es un eje de longitud corta. Se le puede utilizar para fabricar piñones o también herramientas y llaves de torsión.

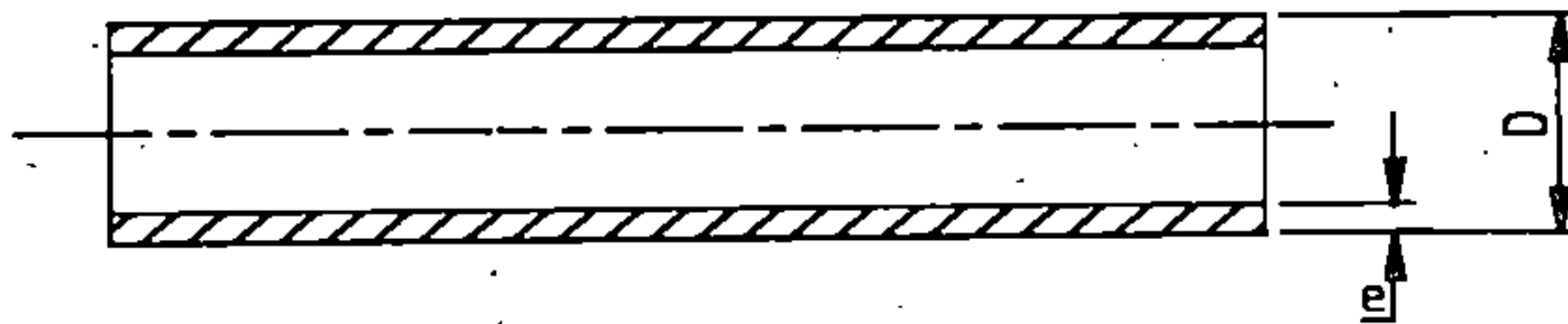


$$B \approx (0,6 - 1,5)D$$

Figura 4. El cubo de longitud B.

Cilindro

El cilindro se asemeja a un husillo de pared muy delgada. Se le encuentra en las camisas cilíndricas de motores de combustión interna y como accesorio en algunas herramientas.



$$e \ll D$$

Figura 5. El cilindro de pared $e \ll D$.

Dado

El dado se asemeja a un cubo hueco. En el lenguaje industrial se habla de cubo hueco o masa si se trata del material base para el tallado de engranajes.

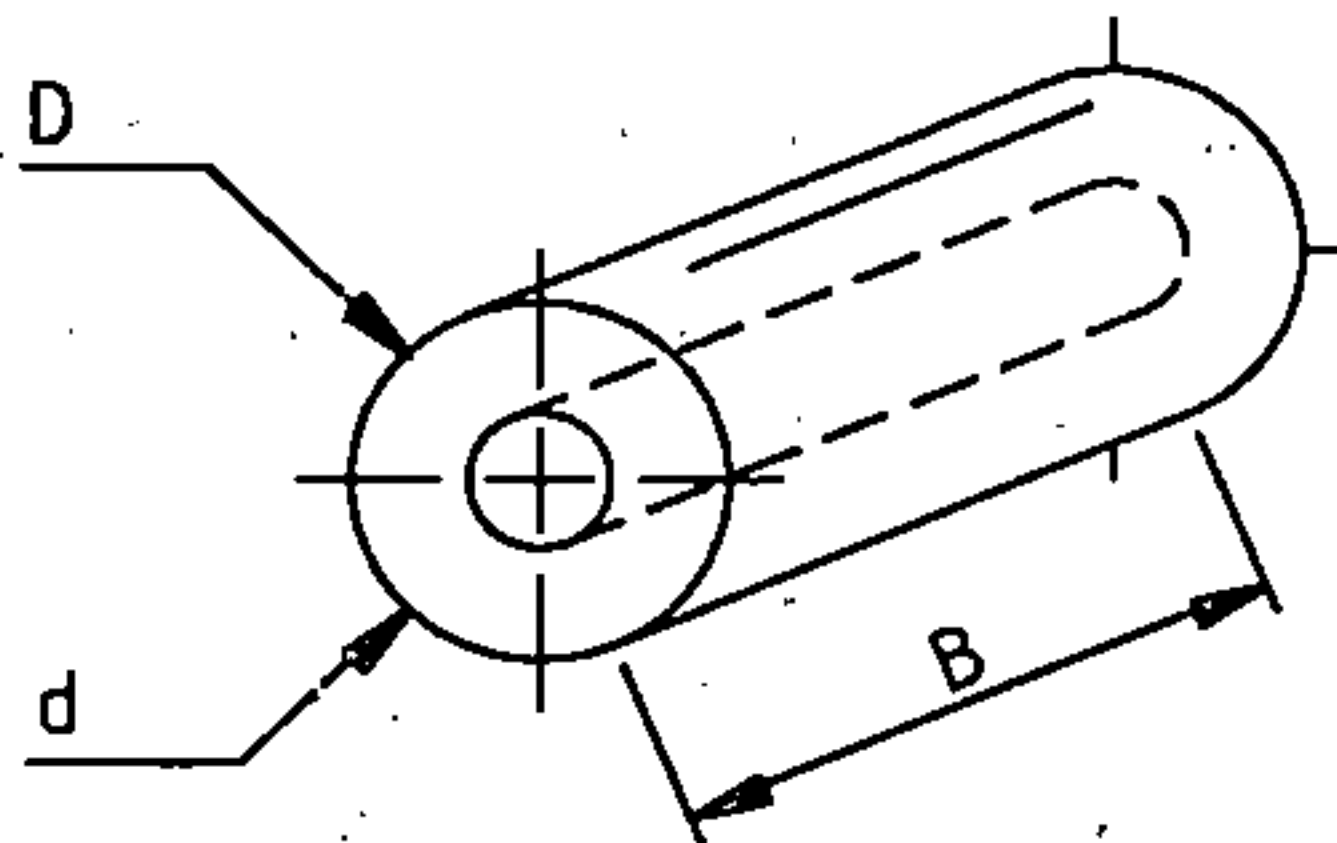


Figura 6. El lado de longitud B y diámetros D y d.

Manguito, buje, cojinete de fricción, chumacera, bocina

Todos estos accesorios de revolución cumplen la función de ser el contacto de ensamble o separación entre un eje y un agujero. Estos elementos pueden trabajar a fricción, o de apoyo al aplastamiento o, simplemente, como un accesorio para dar el juego de ajuste o apriete deseado

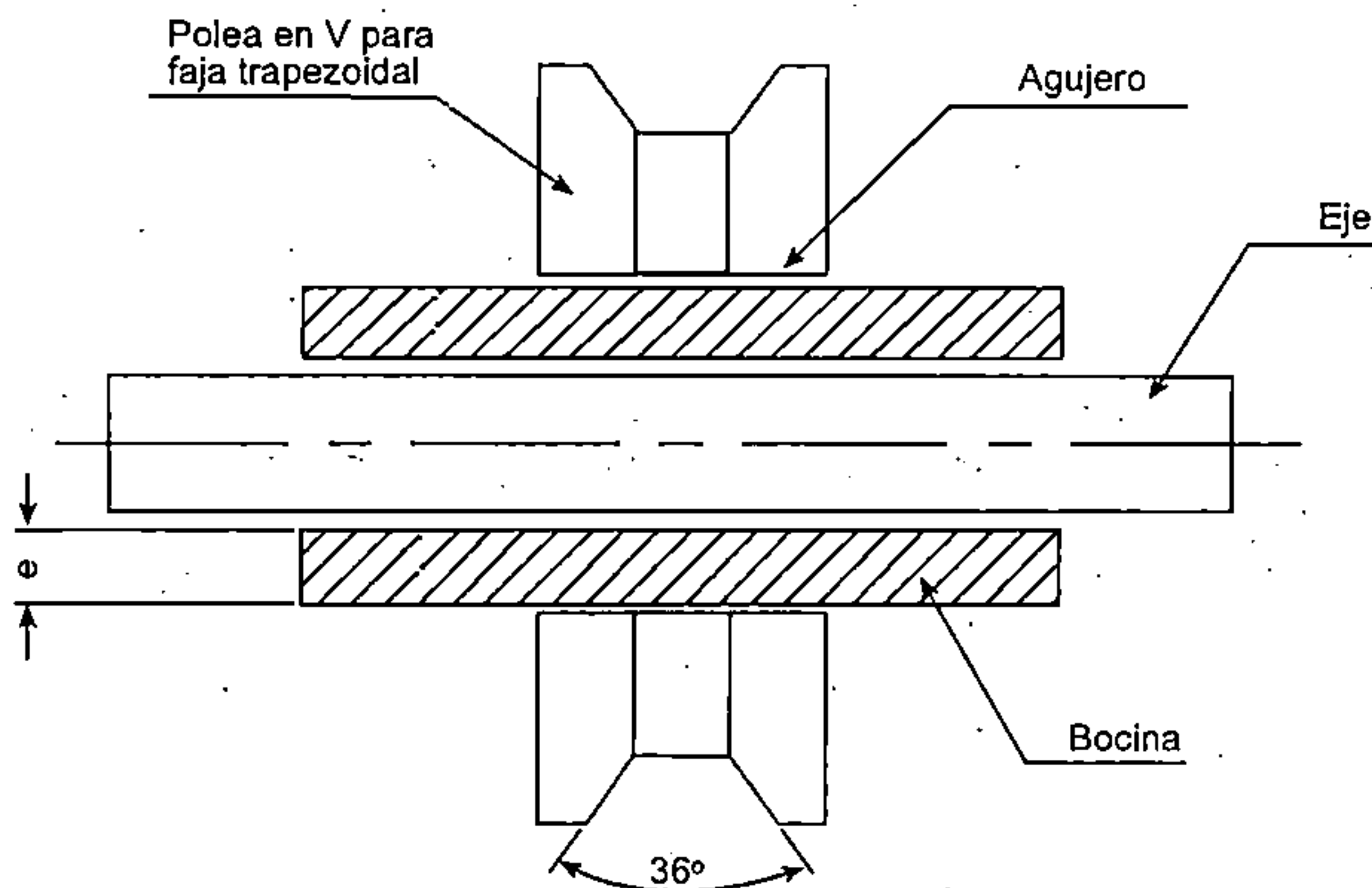
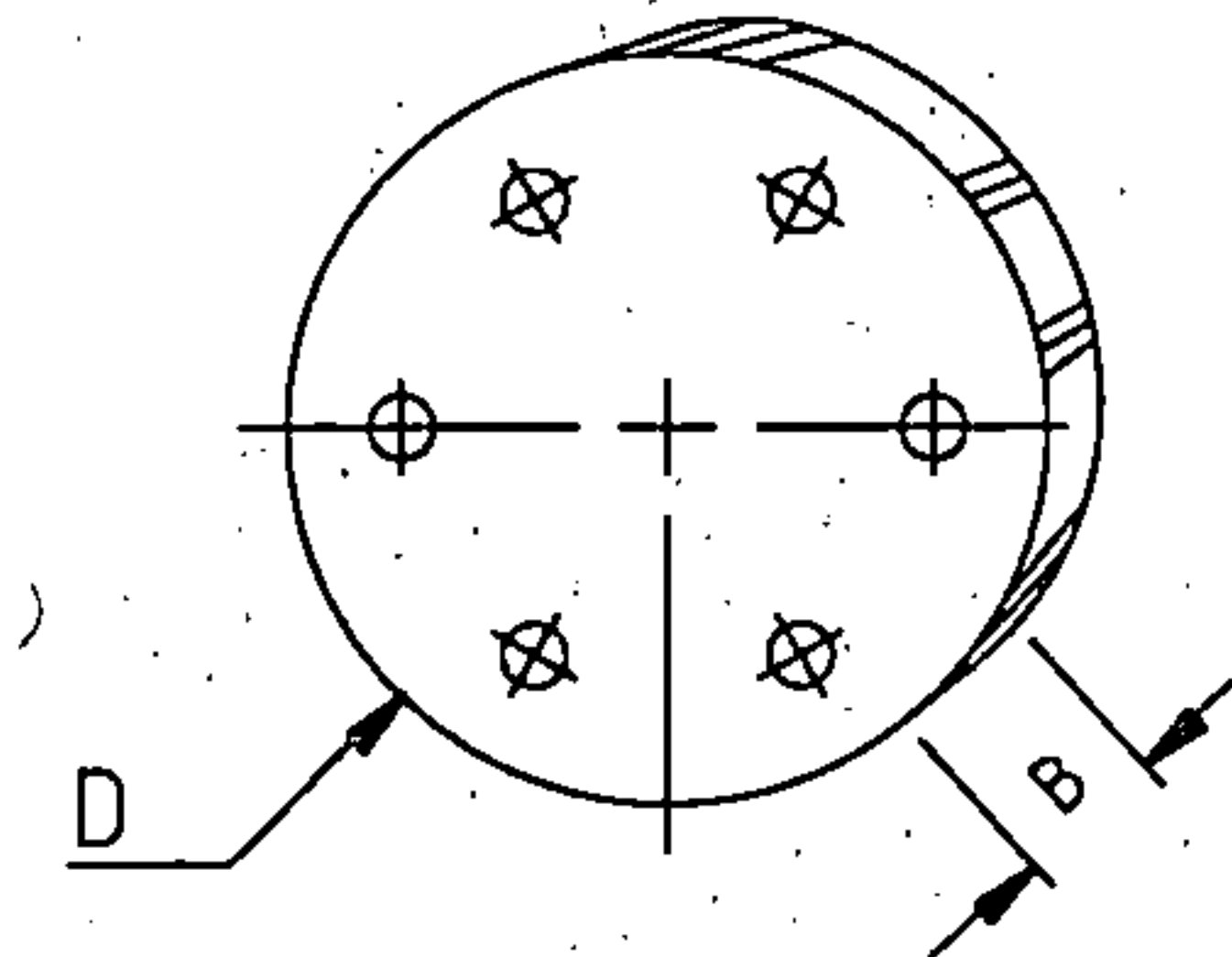


Figura 7. Sistema de ensamble de polea, bocina y eje. La bocina es generalmente de material menos duro, para evitar el desgaste prematuro de la polea o el eje.

Plato, volante, disco

El plato, la volante y el disco son ejes de diámetro grande y espesor pequeño. El plato puede servir en el accionamiento de un embrague, para acople y desacople. El disco puede ser utilizado en un sistema de frenos. La volante necesita un balanceo previo y permite equilibrar las fuerzas centrífugas y mantener la inercia de rotación en muchas máquinas y motores.



$$B \ll D$$

Figura 8. Esquema de un disco de ancho B y diámetro D.

1.2 Partes del torno paralelo

Se toma como base de estudio el torno paralelo por ser este tipo de torno el más usado en el campo industrial y en los talleres de mantenimiento y reparación de equipos y máquinas. Las partes principales del torno paralelo se describen a continuación:

- Caja de avances
- Cabezal fijo, o cabezal del husillo principal
- Husillo principal, donde se monta el *chuck*
- Plato de arrastre o, en reemplazo, el *chuck*, para sujetar la pieza y darle el movimiento giratorio de corte.
- Centro al husillo
- Guías de la bancada, para el movimiento longitudinal del carro portaherramientas
- Soporte compuesto, para movimiento en diagonal de la cuchilla de corte
- Carro transversal, para dar movimiento perpendicular al útil de corte, con respecto al eje principal
- Carro longitudinal, para dar movimiento paralelo al útil de corte, con respecto al eje principal

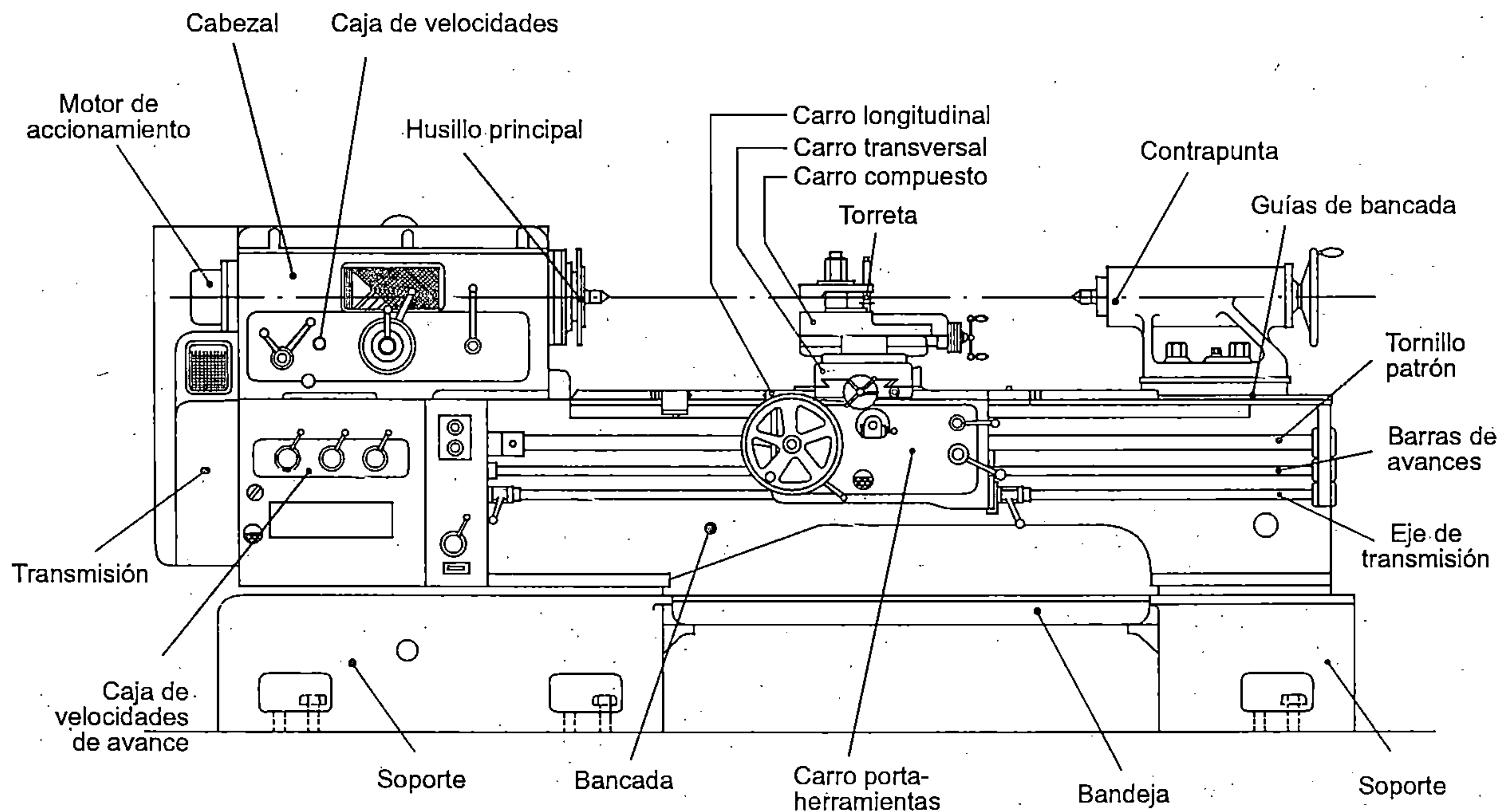


Figura 9. El torno paralelo y sus partes. El útil es la herramienta de corte.

- Centro de la contrapunta
- Husillo a la contrapunta
- Cabeza móvil o contrapunta, de apoyo de la pieza y con giro libre
- Barra de avances, para movimiento automático del carro transversal y longitudinal
- Tornillo patrón o husillo de roscar, para la generación de roscas
- Cremallera
- Carro portaherramientas
- Torreta o soporte de las cuchillas de corte
- Bancada o mesa guía de la máquina herramienta
- Bandeja o cubeta de virutas y mecanol o mezcla agua aceite como refrigerante
- Soporte o apoyo de la bancada

La figura 9 muestra el torno paralelo y se detalla cada una de sus partes. Se puede observar que en su cabezal principal se encuentra instalado un plato de arrastre. Este plato divisor puede ser reemplazado por el *chuck* portapieza de trabajo.

1.3 Procedimientos de torneado

Los procedimientos de torneado más comunes son el cilindrado exterior, el cilindrado interior o mandrilado, el refrentado, el ranurado, cuello o tronzado parcial, el tronzado o corte, el roscado interior y exterior, el torneado cónico, el moleteado y el torneado de forma.

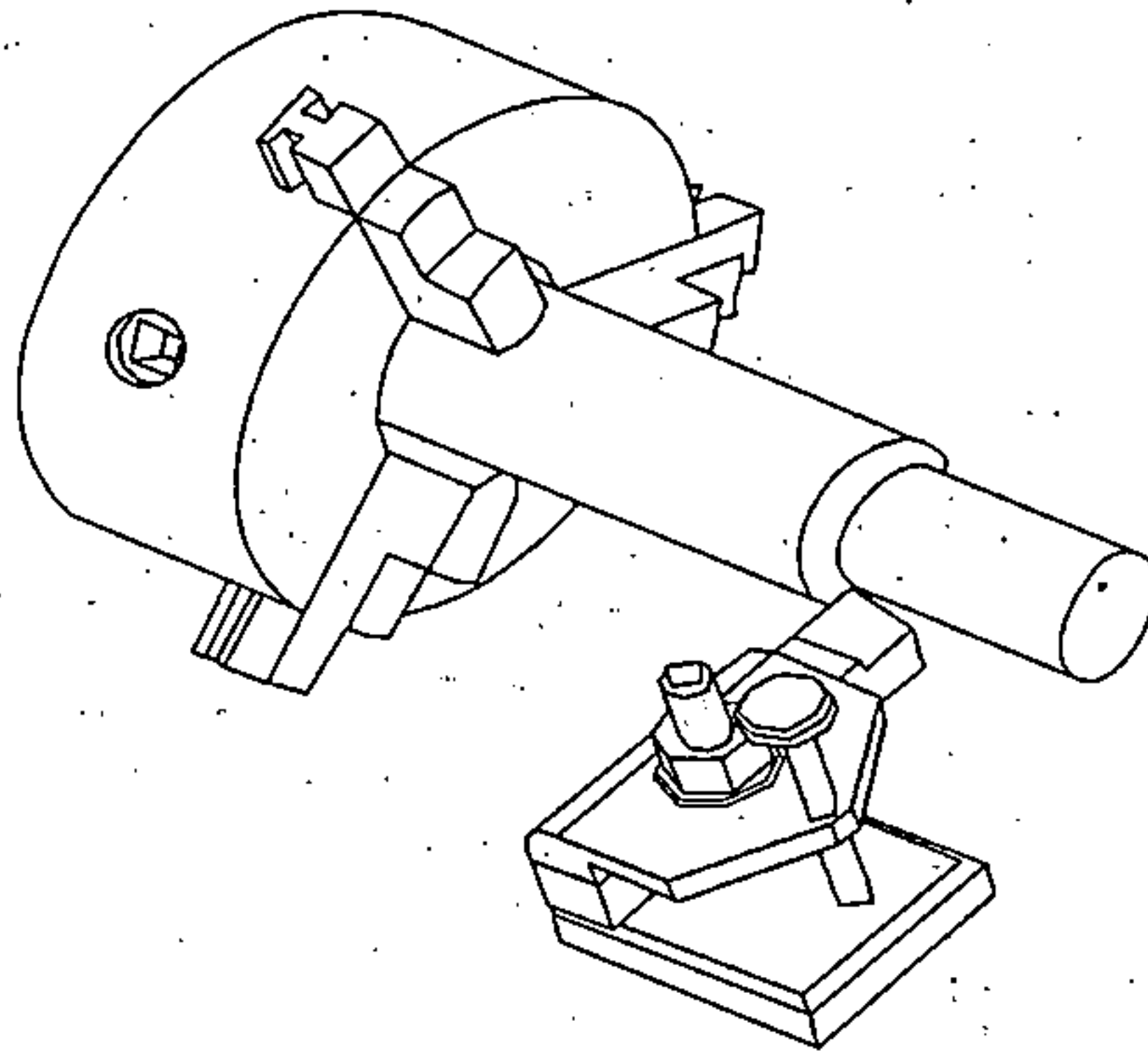


Figura 10. Pieza sujeta al *chuck*. La cuchilla de corte realiza el cilindro exterior de la pieza.

Cilindrado exterior

El cilindrado exterior es una operación que consiste en tornear un eje, estando uno de sus extremos sujeto al plato universal o *chuck* y el otro a la contrapunta, con giro libre de su punta. El torneado cilindrado es el maquinado de un eje, para reducir una longitud determinada L de su diámetro inicial d_i a un diámetro final o menor d_f .

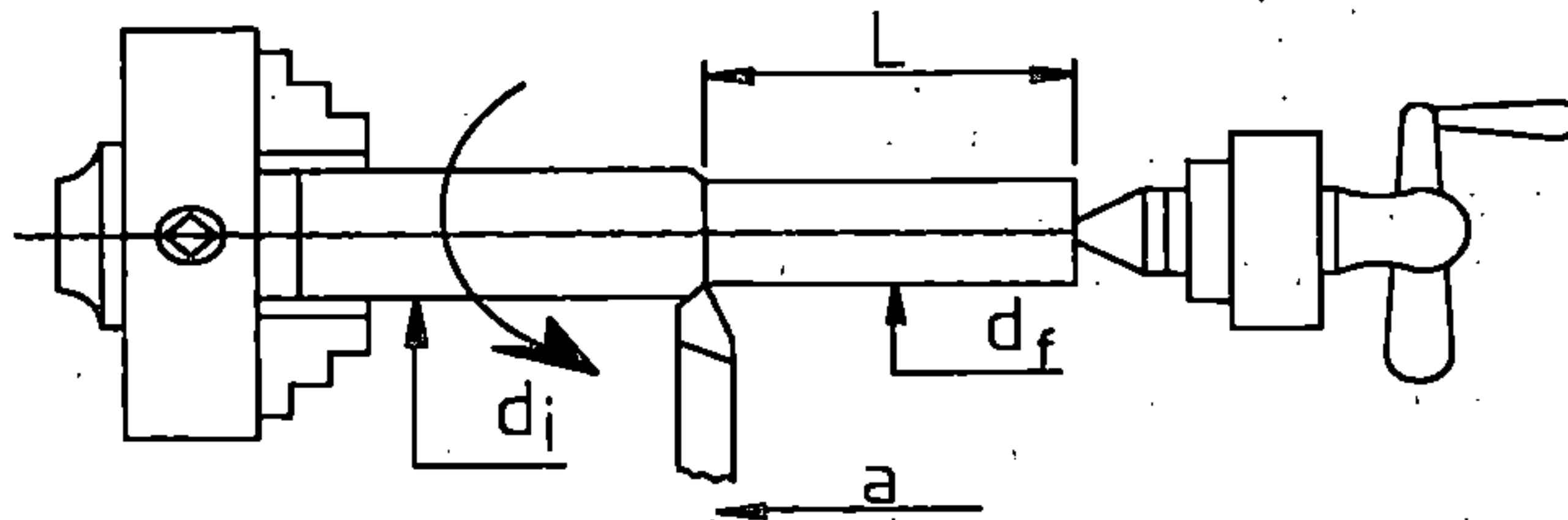


Figura 11. Cilindrado exterior de un eje.

El volumen de viruta será:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i^2 - d_f^2) \cdot L$$

Cilindrado interior o mandrilado

El mandrilado consiste en lograr una superficie de revolución interior de un diámetro mayor respecto del diámetro inicial, por la acción de una herramienta o útil de corte, que se desplaza paralela al eje de giro de la pieza a tornear. Para realizar esta operación, la pieza debe tener una forma tubular o contener un agujero no pasante, para permitir el ingreso de la cuchilla de corte. De esta manera se comienza con un diámetro inicial menor d_i y se maquina o mandrila hasta un diámetro final mayor d_f .

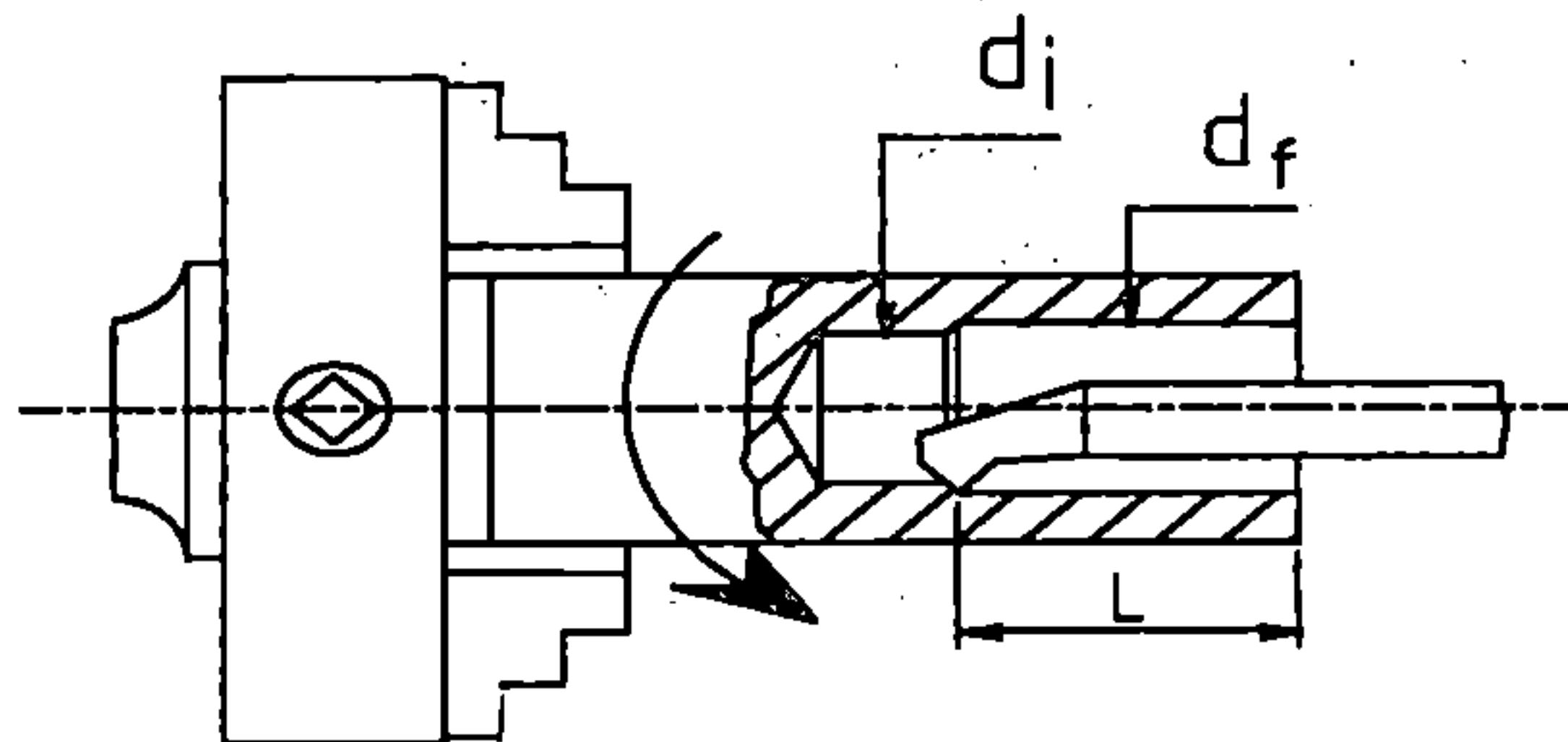


Figura 12. Cilindrado interior de un agujero ciego.

El volumen de viruta será:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (d_i^2 - d_f^2) \cdot L$$

Refrentado

El refrentado consiste en lograr una superficie plana perpendicular al eje del torno en la cara transversal del material. La herramienta de corte se desplaza perpendicularmente al eje principal del torno por medio del carro transversal. El refrentado total de una pieza permite obtener la planitud de las caras laterales. Es decir, se parte de una longitud inicial L_i , y se reduce a una longitud final L_f , pero el diámetro d o la sección transversal se mantendrá constante.

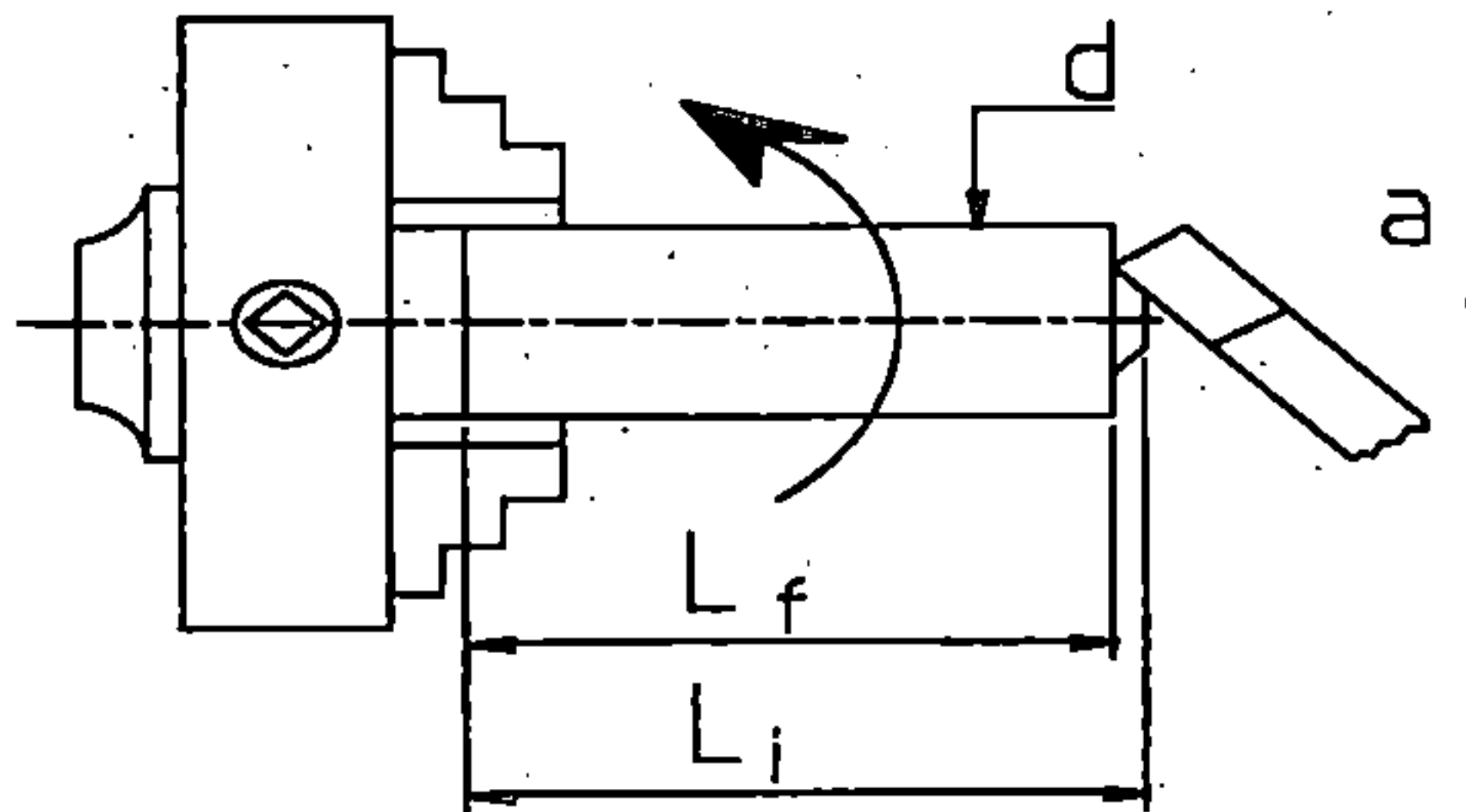


Figura 13. Refrentado de la cara derecha de un eje.

El volumen de viruta será:

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 (L_i - L_f)$$

Roscado

El roscado consiste en maquinar la rosca en un eje o superficie de revolución, con ayuda de una cuchilla de roscar. La relación de velocidades entre el movimiento lineal de la herramienta y el de rotación del material a torner están sincronizados a través del tornillo patrón. Es decir, cuando el husillo principal gira una revolución o vuelta, el tornillo patrón le dará al útil de corte el avance de un paso P_a correspondiente a la rosca que se elabora.

Puede obtenerse un roscado exterior como el que se muestra en la figura, pudiendo ser rosca derecha o rosca izquierda, según el sentido de giro del husillo del torno. De la misma forma se pueden maquinar roscas interiores derechas o izquierdas.

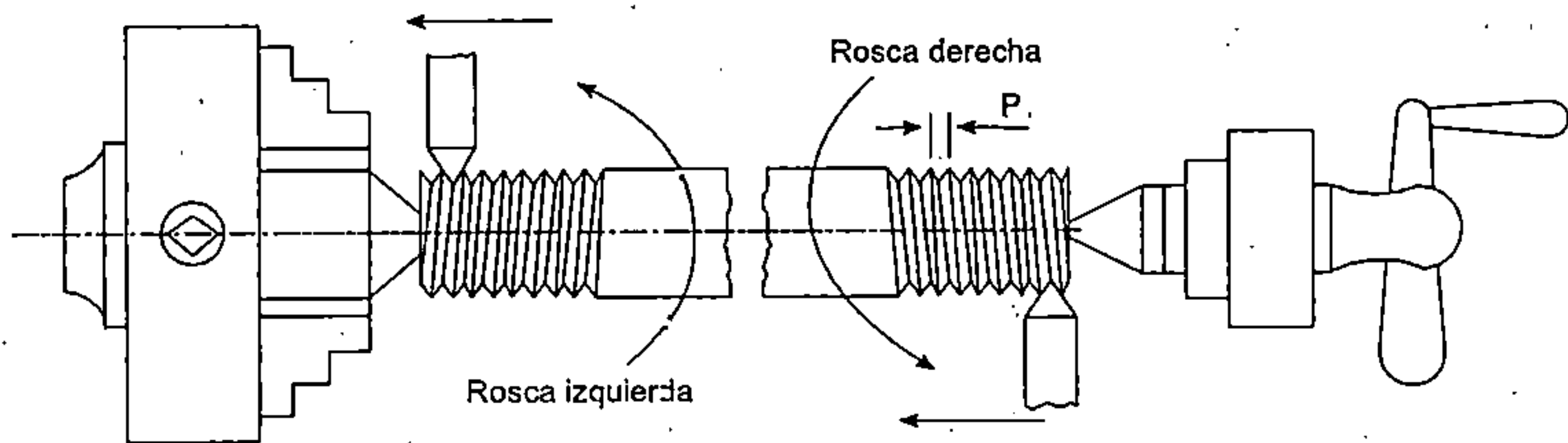


Figura 14. Roscada exterior, derecha e izquierda.

Ranurado, cuello o tronzado parcial

El ranurado consiste en maquinar un cuello con una cuchilla de tronzar, accionando dicha cuchilla en dirección radial a la pieza de trabajo. El ancho del cuello e es el del ancho del filo del útil, y el diámetro final será d_f , menor al diámetro inicial d . (figura 15).

El volumen de viruta será:

$$V = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_f^2) e$$

Tronzado total o corte

El tronzado es una operación de torneado que consiste en maquinar una ranura del ancho de la cuchilla, para cortar transversalmente la pieza de trabajo. Esta operación se logra por la acción de una herramienta de corte que penetra al material en dirección transversal a su eje, hasta lograr la división o separación total. De acuerdo con la figura, el corte significa diámetro final cero ($d_f=0$).

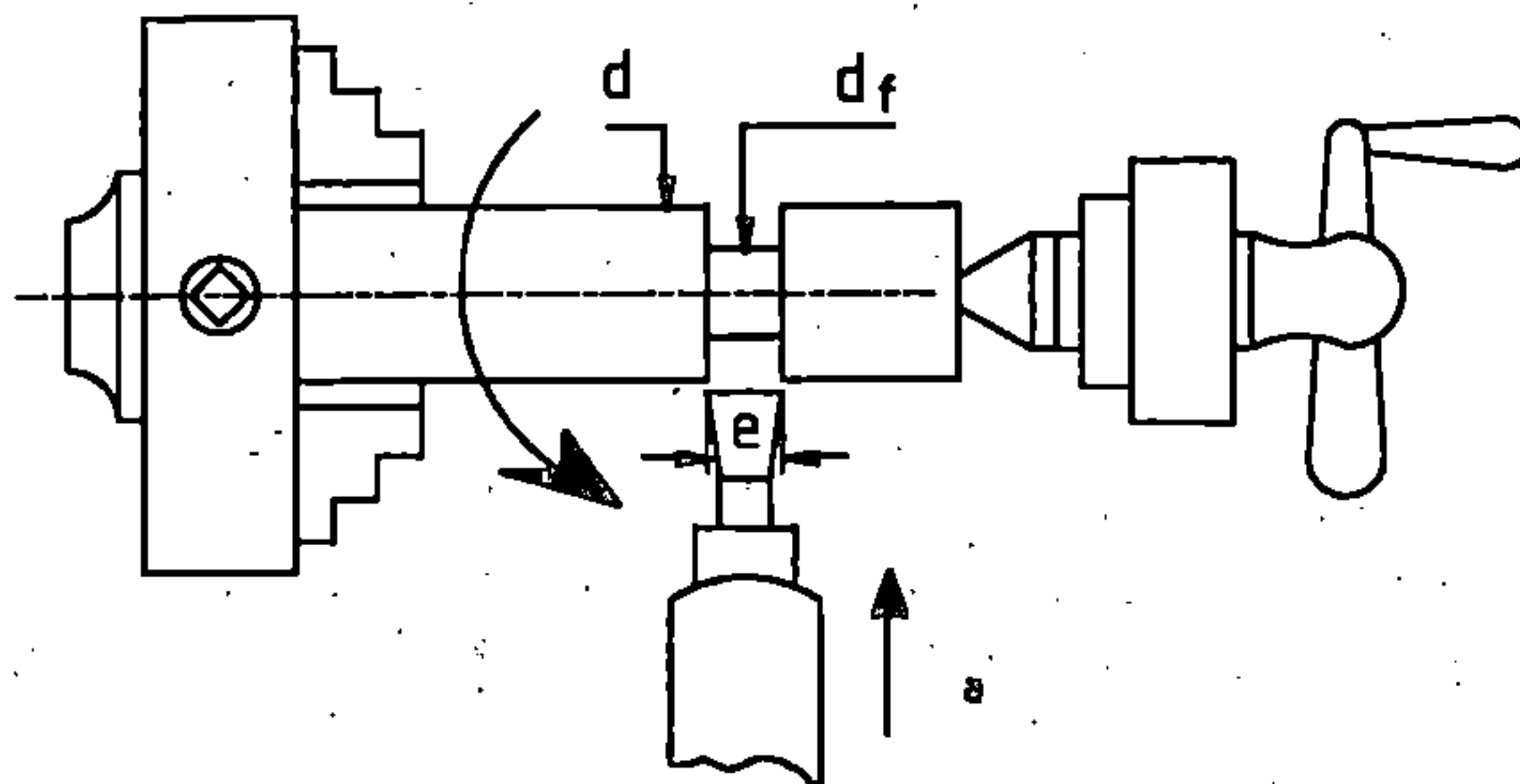


Figura 15. Tronzado. Será cuello o tronzado si $d < d_f < 0$, y será corte total si $d_f = 0$.

El volumen de viruta será:

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 e$$

Torneado cónico

Es una operación de torneado o corte en diagonal, para lograr el maquinado de superficies cónicas exteriores o interiores. Para realizar este trabajo se utiliza el carro compuesto, que es el que permite dar el movimiento angular de la cuchilla con respecto al eje principal del torno.

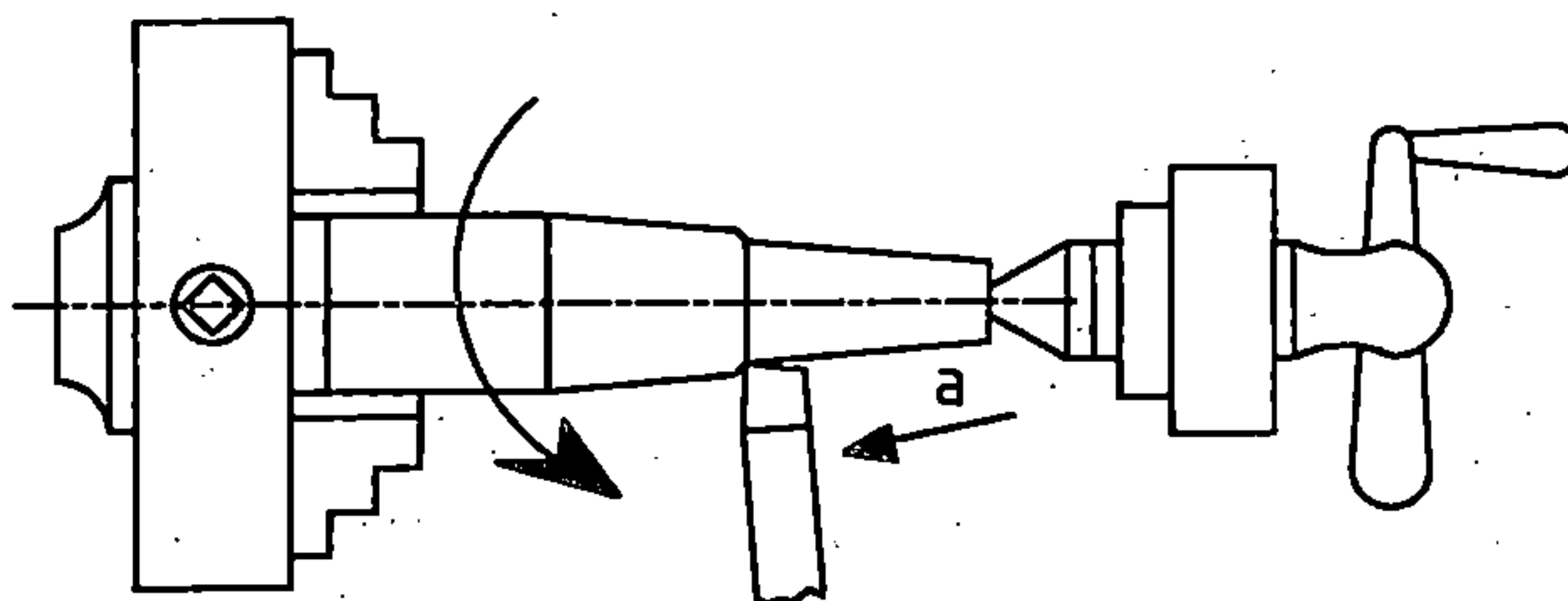


Figura 16. Torneado cónico de un eje. La cuchilla se desplaza en diagonal con el carro compuesto.

El volumen de viruta se calcula de acuerdo con la geometría inicial y final de la pieza.

Moleteado

El moleteado es un procedimiento de conformado en frío que consiste en lograr una huella deformada plásticamente sobre una superficie de revolución. Esta huella será permanente y se logra con una herramienta de rodillos o muelas, llamada moleteadora, que actúa por presión radial en forma transversal sobre la superficie a deformar.

El moleteado facilita la manipulación de piezas ante la presencia de aceite o grasas debido a la superficie rugosa que resulta del maquinado. Además, mejora la presentación de la misma, pues la huella dejada es regular y uniforme.

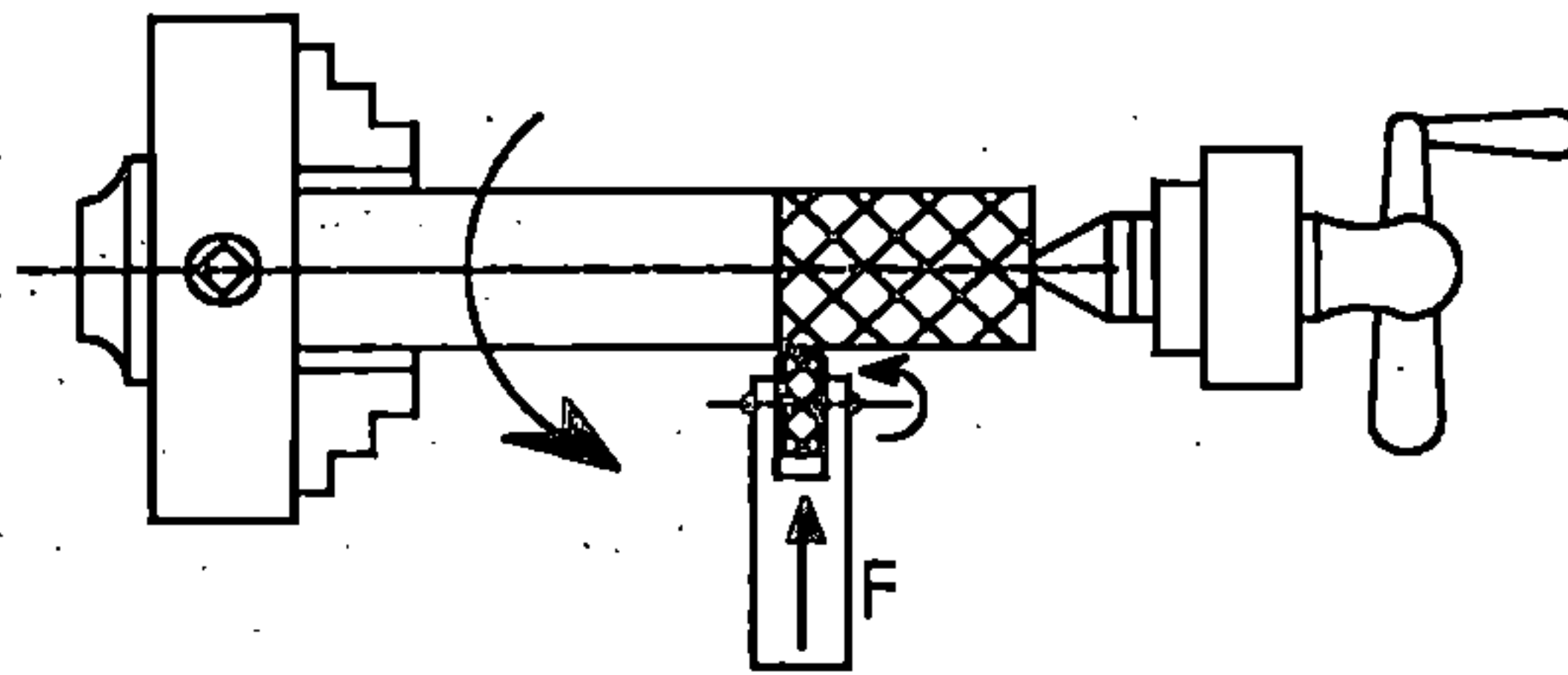


Figura 17. Moleteado de un eje. F es la fuerza radial que permite la deformación plástica sobre la superficie.

Torneado de forma

Cuando es necesario realizar un *Chamfer* (bisel), *Fillet* (redondeado) o cuellos y coronas con formas caprichosas, entonces, es necesario darle el perfil correspondiente al filo de la cuchilla para lograr el torneado de forma buscado.

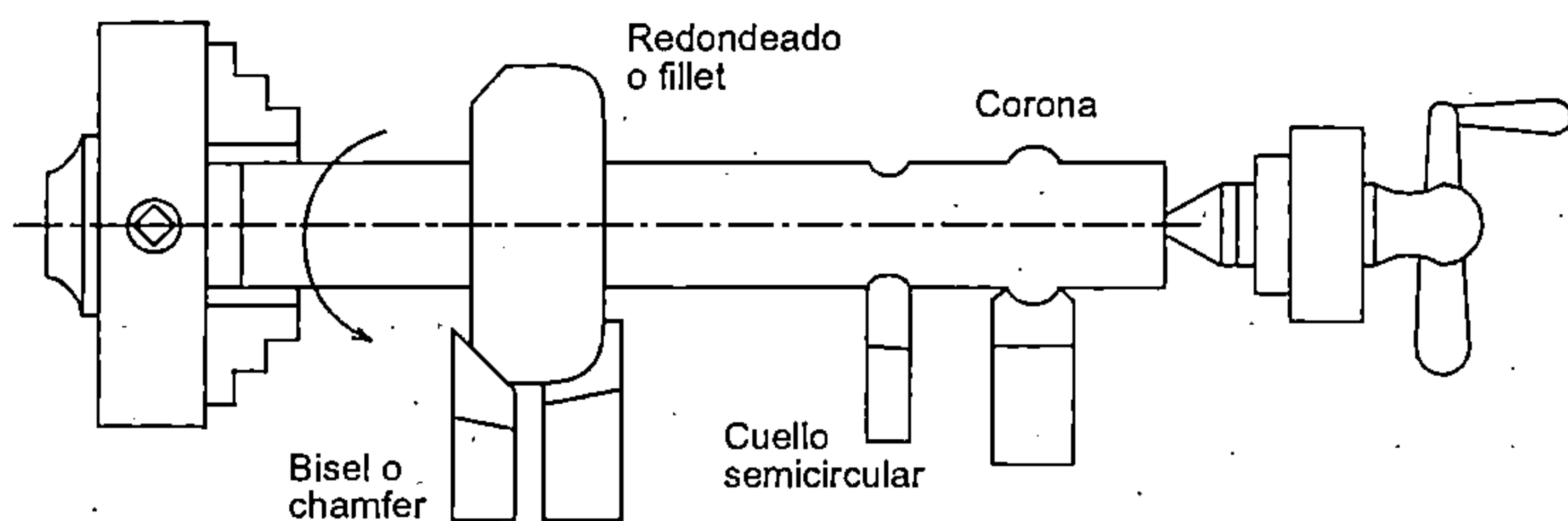


Figura 18. Torneado con herramientas de forma.

1.4 Tipos de torno. Torno paralelo. Torno revólver

Entre los tipos de torno se puede mencionar: el torno de puntas o torno paralelo, el torno vertical o de eje vertical y el torno al aire de eje horizontal, que se diferencia del torno paralelo porque permite maquinar piezas cuyo diámetro puede superar los mil milímetros, es decir, un metro. El torno vertical permite cilindrar o mandrilar diámetros que pueden superar los dos metros que, generalmente, se presentan en volantes, las cuales se montan con el eje en posición vertical sobre la máquina.

Por otro lado, se cuenta con el torno revólver de múltiples cuchillas, para trabajos en serie. Además, hoy en día, con los tornos de control numérico se puede trabajar con una manufactura flexible, es decir, se consigue maquinar superficies de revolución con muy pocas restricciones.

En la clasificación también se pueden incluir el torno de banco, para trabajos de relojería, y el torno mecánico, para pequeños trabajos de taller.

Torno paralelo

El torno paralelo es una máquina-herramienta, que queda seleccionada por la distancia entre puntas L_T (*chuck-contrapunta*) y por el diámetro de volteo d_T .

La distancia L_T representa la máxima longitud de eje o barra que se puede torneear.

El diámetro de volteo d_T representa el máximo diámetro posible de la pieza de revolución a maquinar.

La descripción del torno paralelo se puede revisar en el ítem 1.2, y la indicación de sus partes se encuentra en la figura 9.

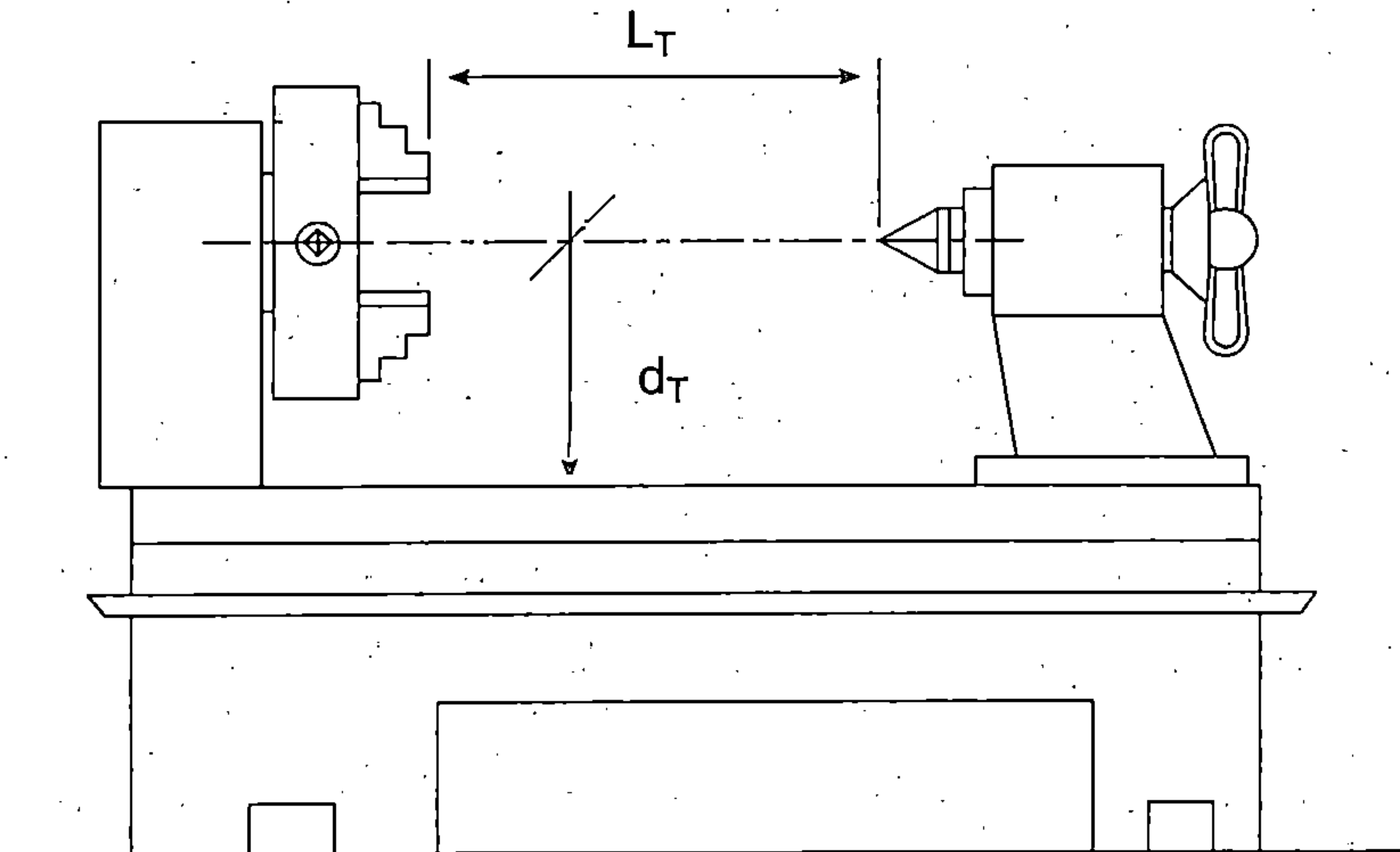


Figura 19. Esquema del torno paralelo indicando las dos medidas principales en su selección:
 L_T distancia entre centros, d_T diámetro de volteo.

A continuación un ejemplo de catálogo de tornos paralelos en el cual se describen las especificaciones técnicas de su máquina.

CAPACIDAD

Distancia entre centros. Mm 750/1000/1500/2000

Altura del centro sobre la bancada....	mm	190	205	220
Diámetro de volteo.....	mm	380	410	440
Diámetro de volteo en el escote*.....	mm	510	540	570
Volteo sobre el carro transversal.....	mm	220	250	280
Longitud de escote.....	mm	190		
Carrera del carro transversal.....	mm	200		
Carrera del carro compuesto.....	mm	130		

CHUCK

Husillo externo.....	type	L00
Husillo interno.....	Morse	MT5
Agujero de husillo.....	mm	41
N° de velocidades del husillo.....		8
Rango de velocidades del husillo.....	r/min	34-1000
Rango de velocidades del husillo*.....	r/min	40-1200

CONTRAPUNTA

Sujeción en la contrapunta.....	Morse	MT3
Diámetro del eje de la contrapunta...	mm	45
Carrera de la contrapunta.....	mm	150

AVANCES

N° de avances longitudinales, 32...	mm/r	0,13-2,87
N° de avances transversales, 32....	mm/r	0,06-1,30

ROSCAS

Rango de paso métrico 44	mm/r	0,25-10,5
Rango de paso whitworth 32	threads/inch	3-44
Rango de paso modular* 17	mm/ π	0,5-5
Rango de paso circular* 28	π /inch	72-5

MOTORES

Motor del husillo.....	kw	2,2
Motor del husillo*.....	kw	3 or 4
Motor de la bomba de refrigerante*	kw	0,06

* Accesorio opcional

DIMENSIONES Y PESOS

Distancia entre centros (L).	mm	750	1000	1500	2000
Área de piso requerida.....	cm	86x185	86x210	86x260	86x310
Peso neto.....	kg	880	920	1000	1250
Bruto incl. embalaje.....	kg	1030	1085	1200	1350
Volumen.....	m ³	2,51	2,84	3,50	4,23
Dimensión de la caja.....	cm	90x190x147	90x215x147	90x265x147	90x320x147

Tabla 1. Datos técnicos de un torno paralelo (algunos detalles en la figura 20).

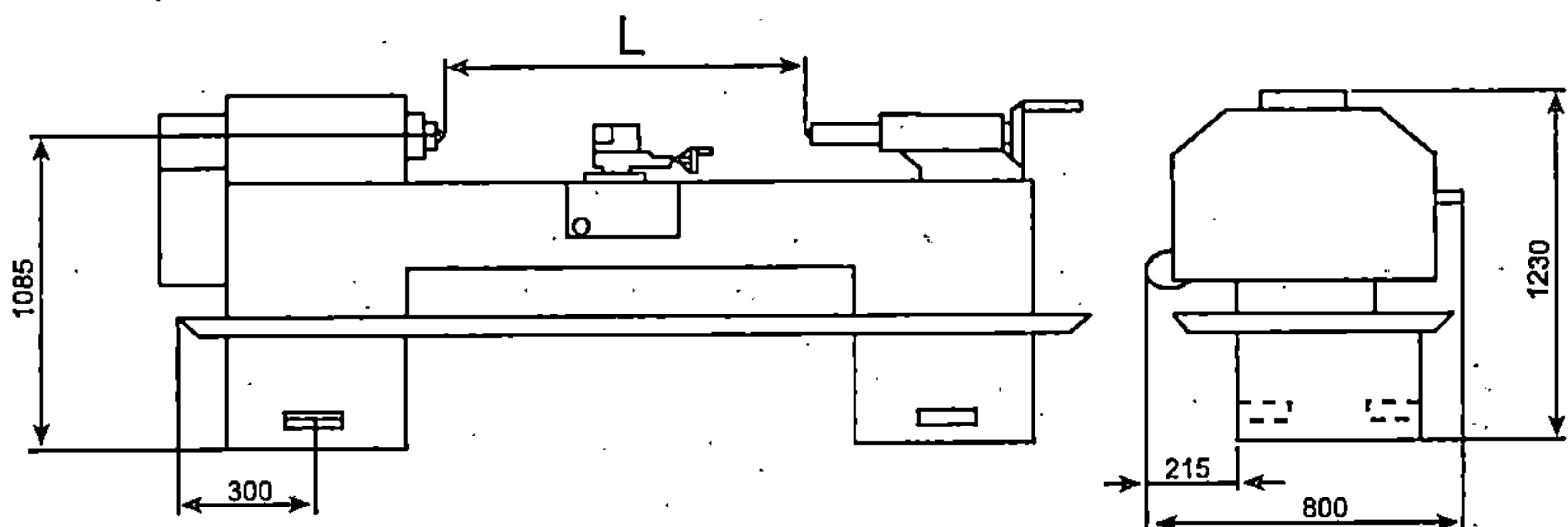


Figura 20. Diagramas del catálogo del torno.

Torno revólver

Independientemente del tipo de torno manual: de avance automático, semiautomático, completamente automático o vertical, la característica relevante del torno revólver es la torre hexagonal. Esta torre avanza en la dirección longitudinal de la bancada de la máquina mientras que la torre cuadrada está montada en el carro transversal del torno y por tanto puede avanzar en una dirección a 90° de la dirección de movimiento de la torre hexagonal.

En la máquina de operación manual la torre debe avanzarse manualmente hacia la pieza. En la variedad más común de tornos revólver, la rotación de la torre se efectúa manualmente. Una vez girada la torre, la herramienta avanza hacia la pieza automáticamente. Los tornos revólver semiautomáticos son automáticos excepto para el emplazamiento y retiro de la pieza. En este tipo de torno el operario emplaza la pieza y acciona un botón para empezar el ciclo de operación. La máquina ejecuta automáticamente todas las operaciones definidas durante el alistamiento o programación; es decir, cambia la velocidad del husillo, los avances, gira la torre, etc. Concluido el ciclo la máquina se detiene y corta el suministro de energía. Enseguida la operación se repite. El torno revólver completamente automático opera con barras largas. Este torno produce piezas continuamente hasta la terminación de la barra. Los tornos automáticos pueden contar con un solo husillo o con varios. El torno revólver vertical cuenta con una torre hexagonal colocada encima de la mesa y ésta gira horizontalmente. Los tornos verticales pueden contar con uno o varios husillos y ser automáticos o semiautomáticos.

En resumen, el torno revolver es una máquina diseñada para el trabajo de piezas en serie. Para esto cuenta con una torre hexagonal (figura 21).

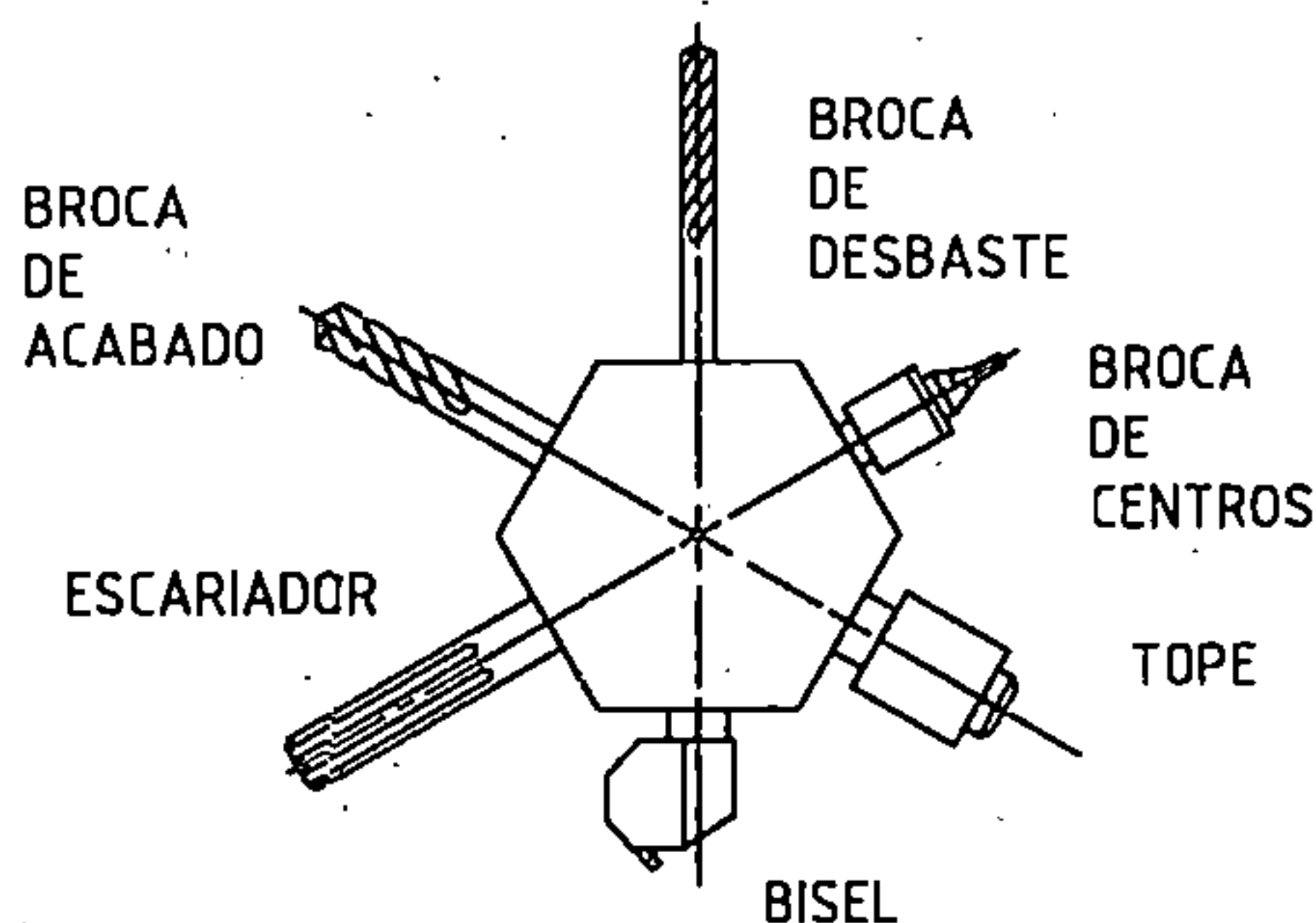


Figura 21. Torre hexagonal del torno revólver.

(1) biselador, (2) escariador, (3) broca de acabado, (4) broca de desbaste, (5) broca de centros, (6) tope.

Las partes principales de un torno revólver se muestran en la figura 22 y son las siguientes:

- 1 Palanca del *chuck*
- 2 Chuck portapieza
- 3 Caja de velocidades
- 4 Guía del carro de la torreta revólver

- 5 Carro de avance de la torreta revólver
- 6 Volante para avance fino de la torreta revólver
- 7 Torreta revólver
- 8 Contrapeso para alimentación de varillas
- 9 Volante de aspas para carro de avance de la torreta revólver
- 10 Torreta o portacuchilla

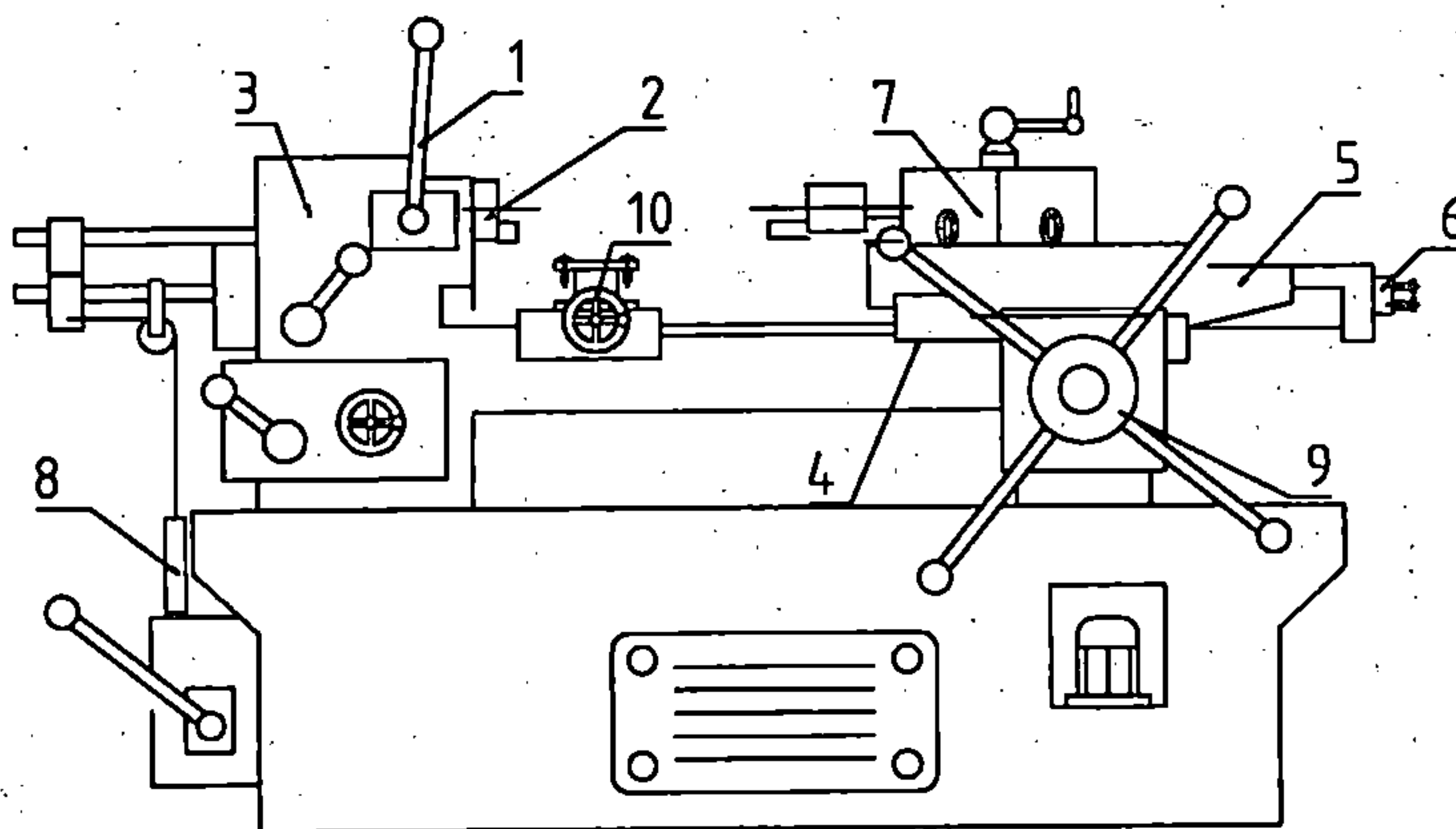


Figura 22. Torno revólver con torre hexagonal de eje vertical.

1.5 Cuchilla de corte. Cualidades

Las cuchillas de corte también son llamadas herramientas de corte o útiles de corte, y su función consiste en tener un filo con determinados ángulos y dimensiones, adecuados en forma distinta para cada tipo de material, generalmente metálico ferroso o no ferroso.

Cualidades

Considerando que existen materiales muy duros como los aceros aleados, la dureza es muy importante en un útil de corte. El efecto de impacto debe ser garantizado con una alta tenacidad de la cuchilla. Asimismo, el filo debe tener una buena resistencia al desgaste, por acción de la fricción y el calentamiento a que se encontrará la herramienta durante su proceso de arranque de viruta.

En resumen, las cualidades más importantes serán la dureza, tenacidad y resistencia al desgaste de la cuchilla.

1.6 Tipo de materiales. Materiales no ferrosos fundidos duros o "estelitas"

Tipo de materiales

Los materiales básicos o más comunes de las herramientas de corte son:

Aceros de temple al agua "aceros al carbono"

Son bloques de acero de herramientas de alto contenido de carbono y con poco contenido de cromo Cr, vanadio V, o wolframio W.

Su utilización se reduce a bajas velocidades de corte. Se consideran velocidades menores los de 10m/min para casi todos los materiales a maquinar.

La cuchilla debe trabajar a bajas temperaturas de corte, que no superen los 150°C. En el momento del afilado en la piedra esmeril, evitar acercarse a esta temperatura.

La resistencia al desgaste del filo de un útil de corte de acero al carbono está por debajo de los límites permisibles de comodidad en el trabajo. Todo esto hace que este tipo de cuchilla sea una herramienta muy poco usada actualmente.

Aceros de alta velocidad o "aceros rápidos"

Son aceros con una aleación de níquel, manganeso, cromo y algo de aluminio (Ni, Mn, Cr, Al). Estos aceros aleados son mejores que los aceros al carbono.

Actualmente, a excepción de las máquinas de control numérico, son las herramientas de corte más usadas en la industria.

El material retiene bastante su dureza ante la presencia de calor en el maquinado a velocidades rápidas de corte, del orden de 10 a 60m/min, dependiendo del material a cortar. Se puede llegar a temperaturas del orden de los 600°C, incluso al color rojo oscuro. Luego de esto, no habrá un cambio en la estructura interna y la dureza por efecto del tratamiento térmico producido.

Estos aceros aleados tienen una mejor resistencia al desgaste que los aceros al carbón. Incluso, tienen mayor resistencia al impacto que las estelitas y las pastillas carburadas.

Las herramientas en bruto se obtienen en barras de las siguientes dimensiones y de sección cuadrada:

Barra $3/16"$ $\square$ x 1"

$1/4"$ $\square$ x 2"

$5/16"$ $\square$ x $2 \frac{1}{2}"$

$3/8"$ $\square$ x 3"

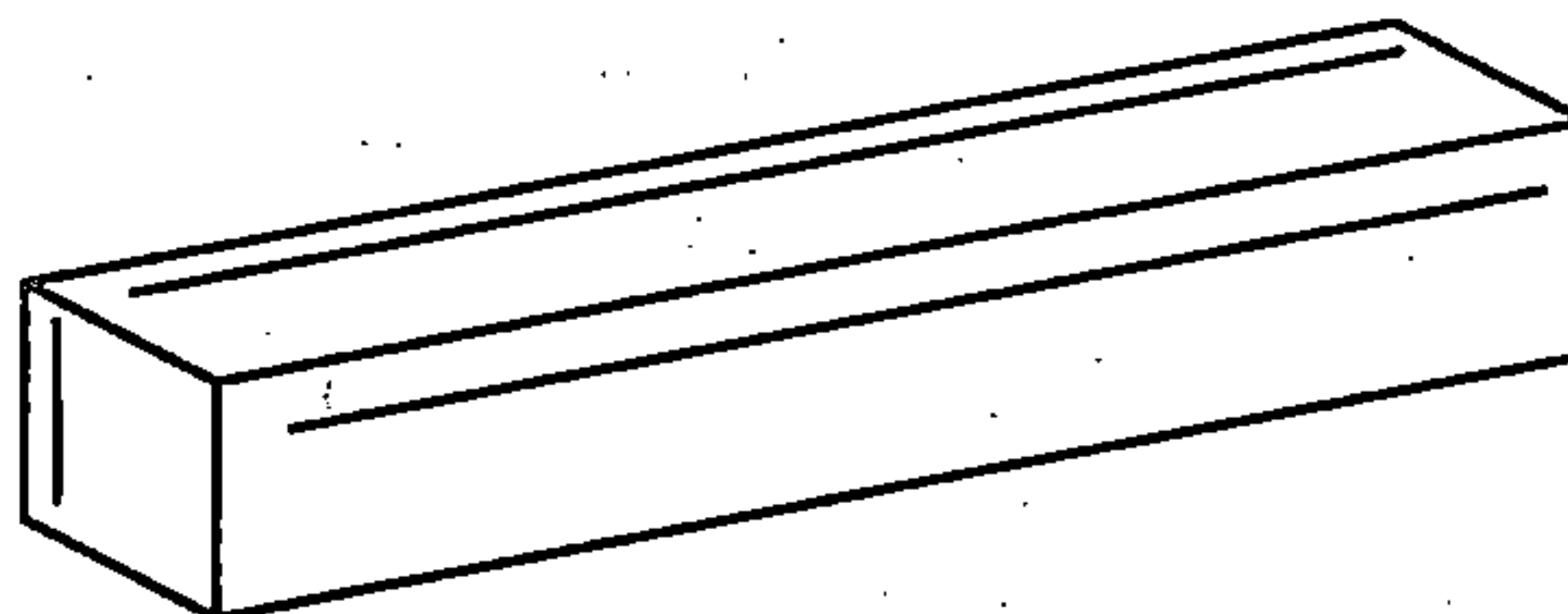


Figura 23. Barra cuadrada para útil de corte. Se afila con los ángulos adecuados según el material a torneear.

Materiales no ferrosos fundidos duros o "estelitas"

Son aleaciones de fundición dura y por no contener hierro Fe suficiente, dichos materiales no pueden ser considerados aceros.

La aleación comprende cobalto Co, cromo Cr y wolframio W como elementos principales. Se pueden alcanzar temperaturas de trabajo hasta los 800°C.

El material logra su dureza en el proceso de fundición, sin necesidad de realizar un tratamiento térmico posterior. Una vez fundido, el material se esmerila al tamaño requerido para el proceso de maquinado. Comparativamente, en términos de resistencia al calor, variabilidad de la dureza, resistencia al desgaste, tenacidad o impacto, y costo inicial del material de corte, las estelitas se pueden ubicar entre los aceros rápidos y los aceros al carbono.

Este material es débil al esfuerzo a la tracción y más frágil que los aceros de alta velocidad. Además, no soportan severas cargas de impacto.

A las estelitas también se las conoce como *Rex Alloy* o *Tantung*. Se las puede obtener en forma de pequeñas pastillas, que se pegan en la punta de la barra portaútil.

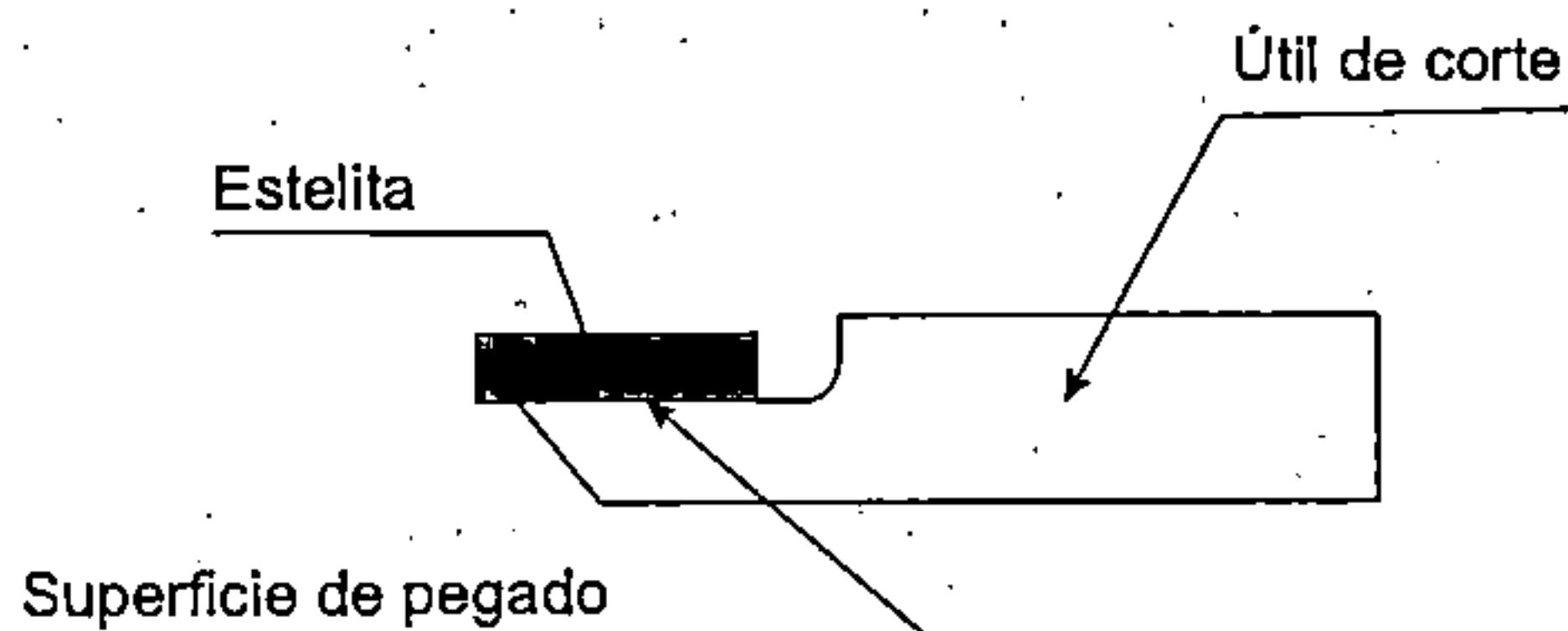


Figura 24. Útil de corte con pastilla pegada de material estelita.

Carburos sinterizados, cementados o "pastillas carburadas"

Las cuchillas cementadas permiten realizar un maquinado bastante eficiente y a gran velocidad.

La herramienta se obtiene en forma sólida y como insertos o pastillas que se pueden soldar en el portaherramienta con soldadura dura, o también pueden ser montadas y sujetadas con un tornillo tipo prisionero de cabeza Allen (hexagonal) o cuadrada interior.

Con las pastillas cementadas se obtienen velocidades de corte superiores en 10 a 30 veces la velocidad de las cuchillas de acero rápido. El rango de velocidades de corte puede llegar hasta los 900 m/min para corte de aluminio, o hasta 100m/min para corte de aceros aleados o extraduros.

Estas herramientas de corte son muy convenientes en las máquinas de control numérico, donde la manufactura flexible tiene la ventaja de trabajar a velocidades de rotación de su eje principal que superan las 1000rpm para casi todos los casos. Por eso, es muy importante usar las pastillas sinterizadas con la máquina-herramienta apropiada para aprovechar su máxima capacidad de trabajo y eficiencia.

La apariencia de las pastillas carburadas es similar a las de aleación de cromo, cobalto, wolframio. El esquema muestra el montaje.

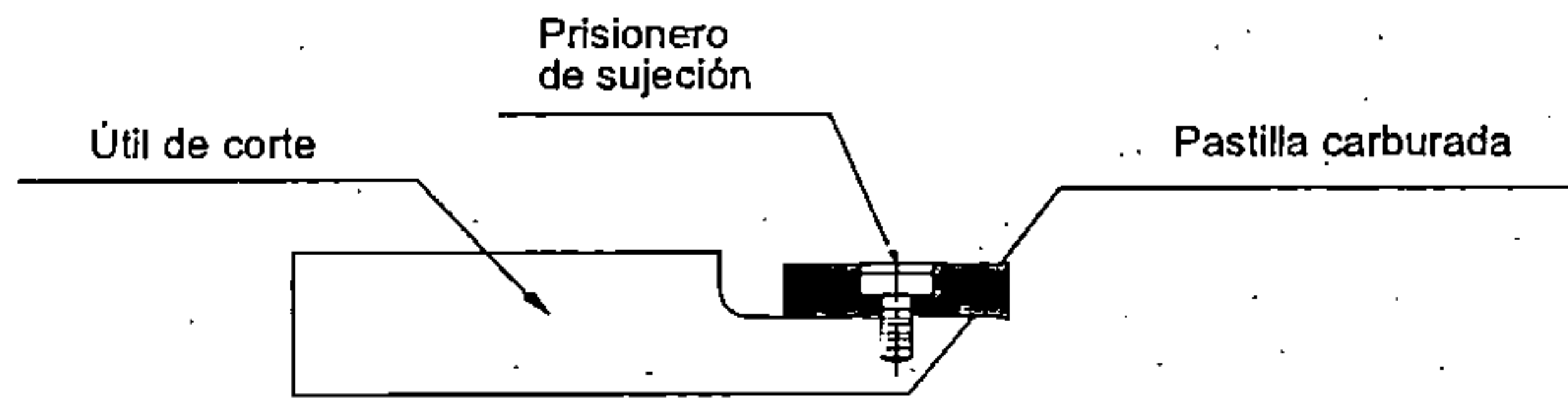


Figura 25. Útil de corte con pastilla carburada.

Cerámicas

Estas herramientas se fabrican por compactación de óxidos metálicos. Son útiles con gran resistencia a la abrasión, picaduras y rotura. Su dureza se mantiene incluso hasta los 1300°C.

Estas herramientas, en general, no necesitan de líquido refrigerante en su operación de arranque de viruta. Después del diamante, las cuchillas de cerámica son las más fuertes y duras para el corte de metales.

Diamante

Es el material más duro disponible. Con el diamante se pueden lograr superficies de revolución o superficies planas con un acabado extremadamente fino. Las temperaturas de trabajo pueden llegar a los 900°C. Si bien pueden ser utilizados con avances bajos, de 0,02 a 0,06mm/rev, las velocidades de corte sí pueden superar los 1000m/min.

1.7 Partes de una cuchilla. Ángulo de incidencia, filo y ataque. Ajuste del útil del torno

Partes de una cuchilla

En la herramienta de corte se tiene por un lado la barra, vástago o mango, y por otro lado la cabeza o filo del útil. Tanto vástago como cabeza pueden formar una sola pieza, o también dos piezas separadas. El vástago sirve para la sujeción de la herramienta. La cabeza del útil lleva los filos necesarios para el arranque de la viruta.

La forma básica de las herramientas para arranque de viruta es la cuña, formada por la cara de incidencia (9) y la cara de ataque (11) según la figura 26. La intersección de las caras de la cuña será el filo principal (6).

Las partes de una cuchilla de corte se describen en la figura 26. La cara de ataque (11) recibe la viruta y es liberada sobre ella. La cara de incidencia (9) estará en contacto con la otra cara del corte, es decir, el material que queda y que por lo tanto no es de la viruta.

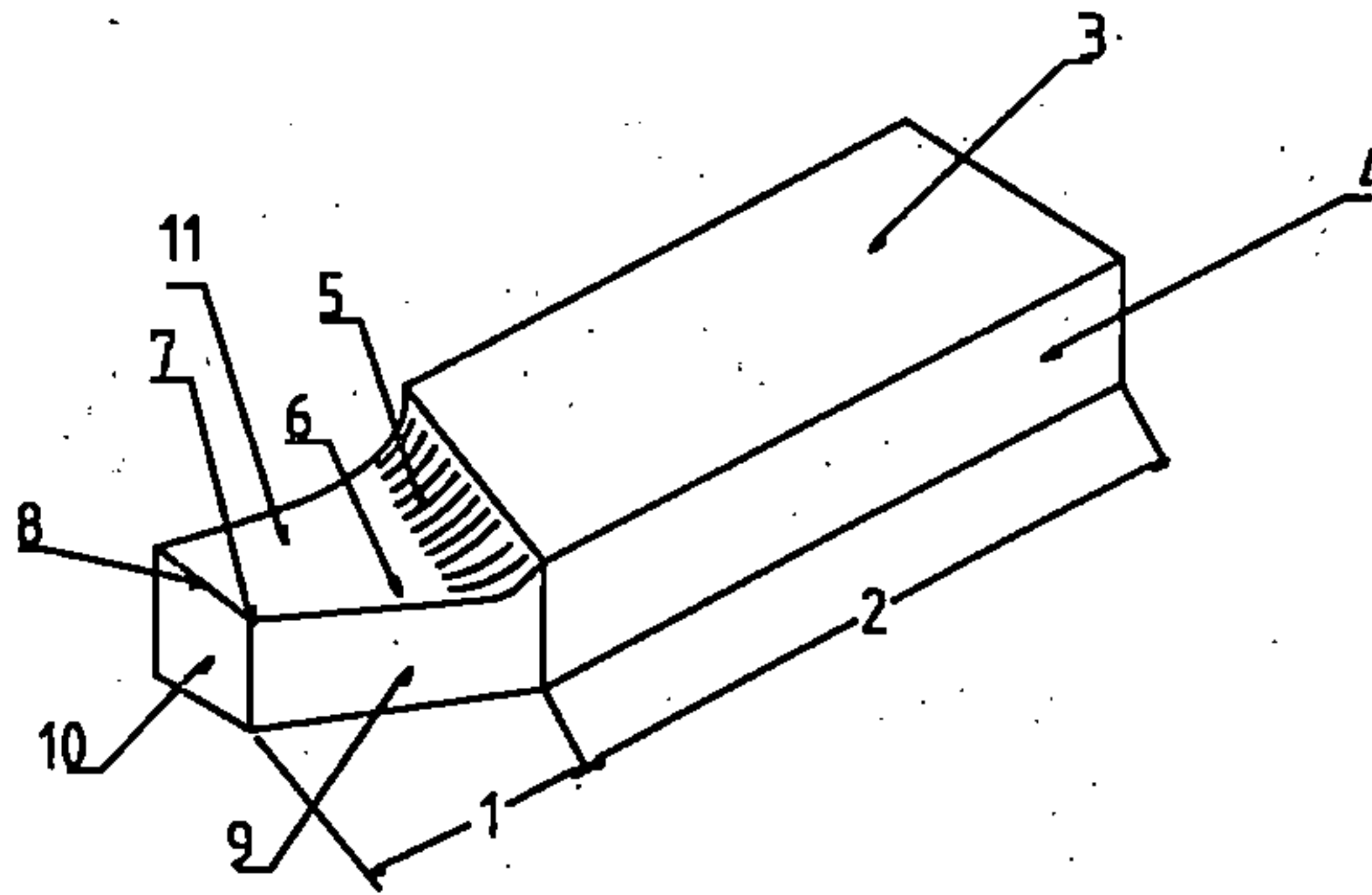


Figura 26. Partes de una cuchilla de corte en el torno.

- 1 Cabeza o filo
- 2 Vástago
- 3 Superficie horizontal del vástago
- 4 Superficie lateral del vástago
- 5 Garganta
- 6 Filo principal
- 7 Cabeza de corte
- 8 Filo secundario
- 9 Cara de incidencia
- 10 Frente
- 11 Cara de ataque

Ángulo de incidencia, filo y ataque

El ángulo de incidencia α es el formado por la superficie de corte de la pieza y la cara de incidencia de la cuchilla. Los valores de α van de 5 a 12°, y evita rozamiento entre la cuchilla y la pieza al tornear.

El ángulo de filo β está formado por las caras de incidencia y ataque de la herramienta. Sus valores oscilan entre los 60 y 80°.

El ángulo de ataque γ queda definido por la normal a la superficie de corte y la cara de incidencia. Toma valores entre 5 y 12°. Eventualmente, γ puede tomar valores negativos hasta de -3° para materiales difícilmente maquinables como algunos aluminios. Este ángulo permite quebrar fácilmente la viruta.

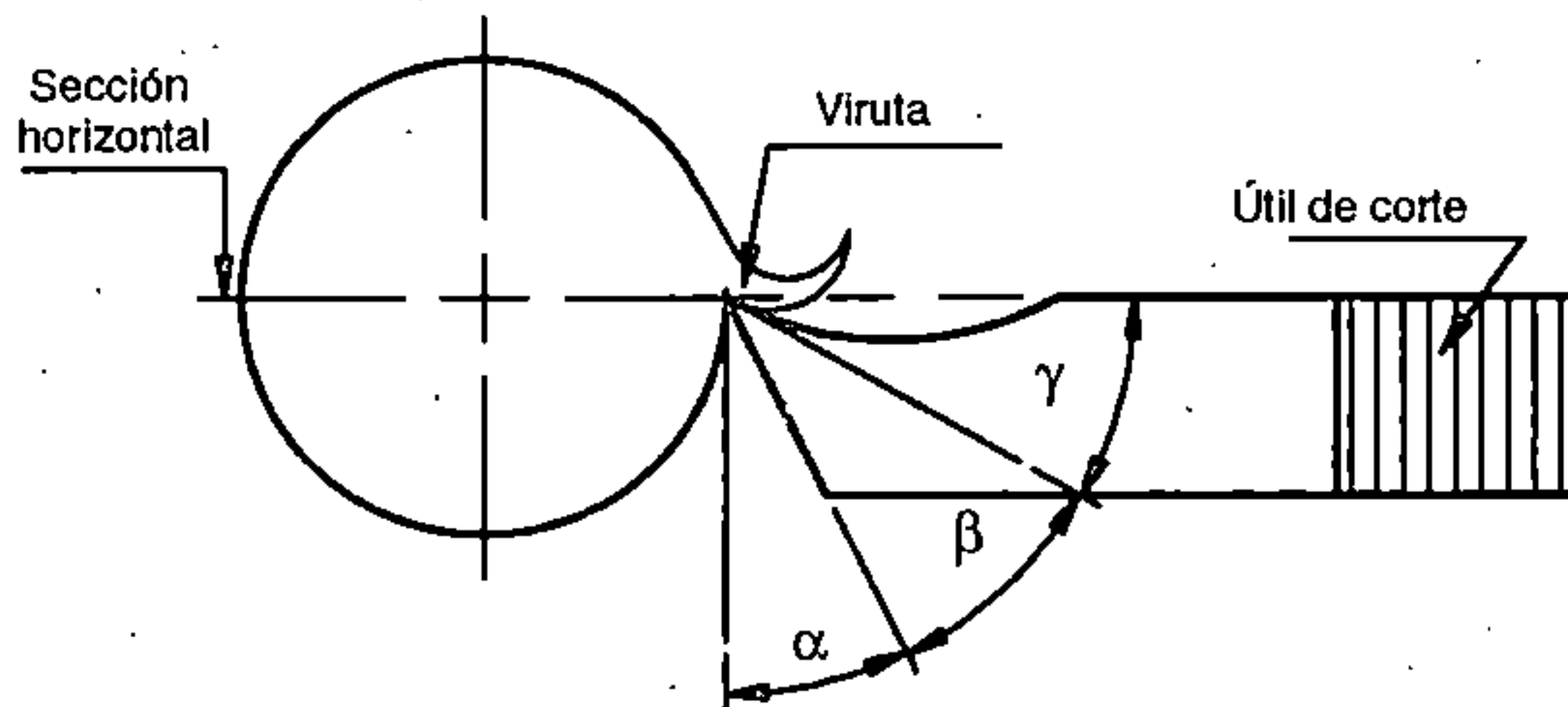


Figura 27. Ángulos de incidencia, filo y ataque en una cuchilla de torno
 α : ángulo de incidencia (5 a 12°); β : ángulo de filo (60 a 80°)
 γ : ángulo de ataque (0 a 30°).

Ajuste del útil del torno

Normalmente, la cabeza de corte número 7, según figura 26, tiene orientación radial a efectos del maquinado. Pero, esta cabeza de corte puede estar dispuesta más arriba o más abajo.

Si la posición de la cabeza de corte está sobre la sección horizontal central de la pieza, entonces, realmente el ángulo de incidencia real α_R será menor, y el ángulo de ataque real γ_R será mayor. Un menor ángulo de incidencia aumenta la fricción entre la cara de incidencia y la superficie de corte. Sin embargo, el mayor ángulo de ataque facilita el desprendimiento de la viruta, y se pueden tomar espesores mayores.

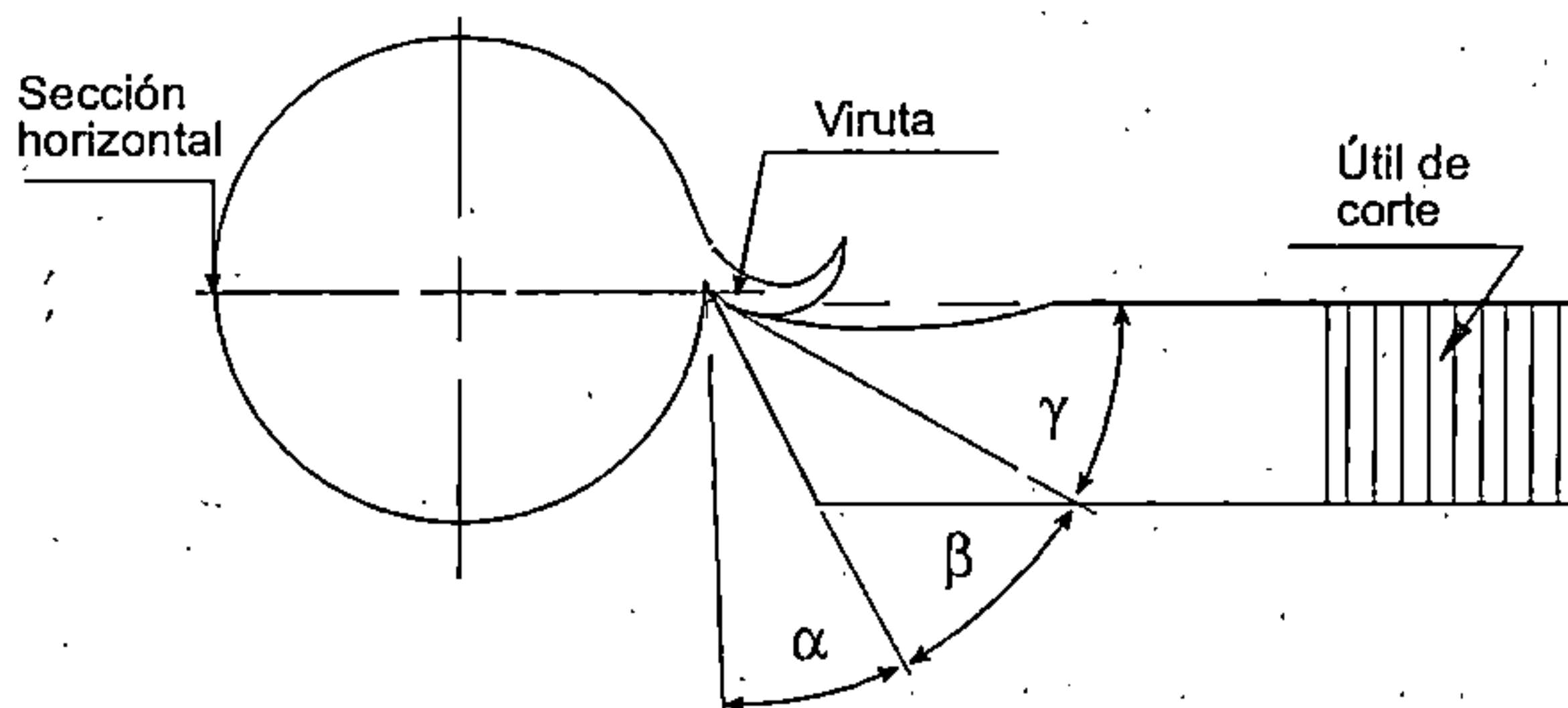


Figura 28. Cuchilla en posición arriba de la sección horizontal central de la pieza $\alpha_R < \alpha$, $\gamma_R > \gamma$.

Si la posición de la cabeza de corte está debajo del centro de la sección horizontal del centro de la pieza, entonces, el ángulo de incidencia α_R es mayor, disminuyendo el rozamiento con el material. Por otro lado, el ángulo de ataque real γ_R será menor, haciendo la viruta más quebradiza.

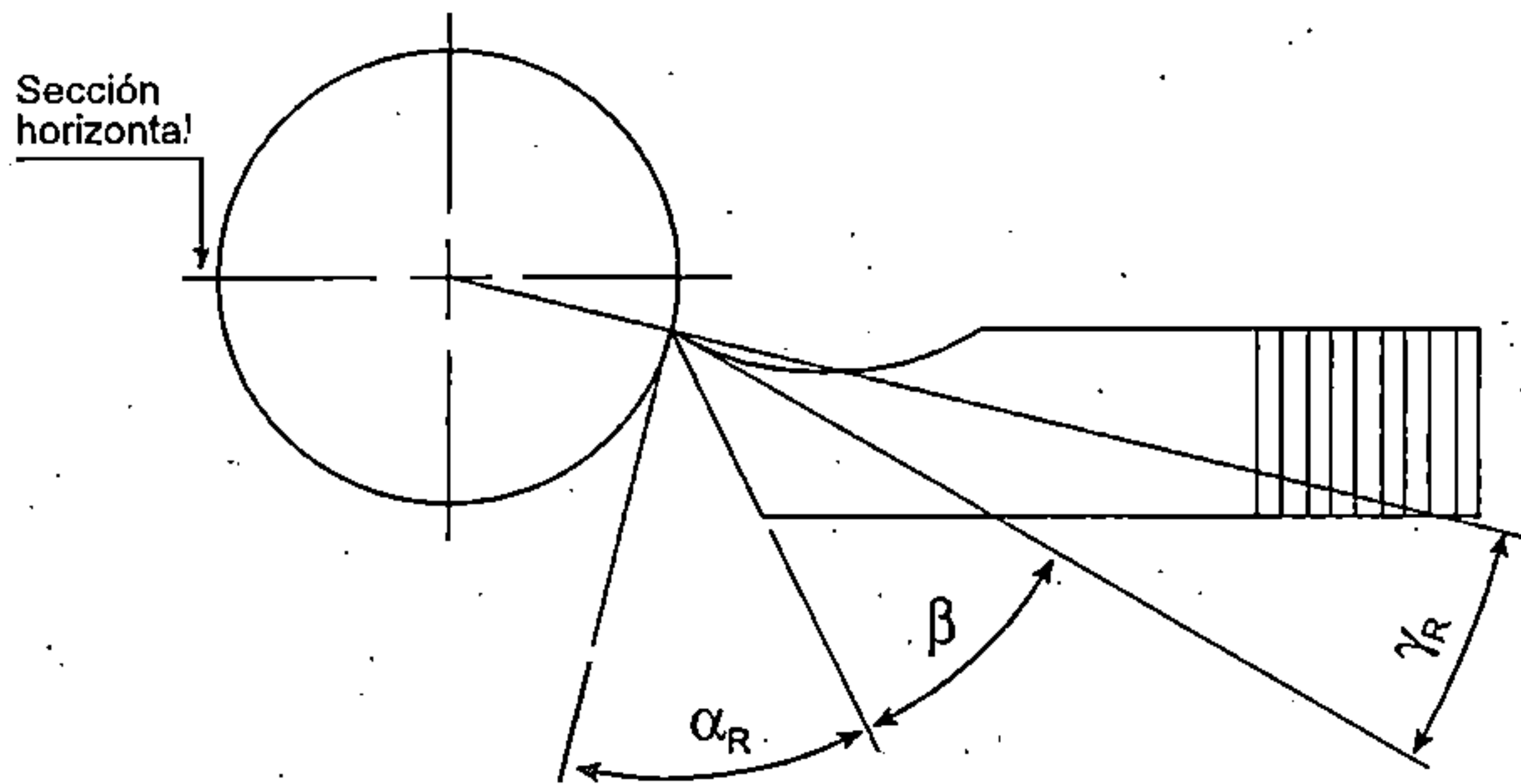


Figura 29. Cuchilla en posición debajo de la sección horizontal central de la pieza $\alpha_R > \alpha$, $\gamma_R < \gamma$.

1.8 Espesor de la viruta. Ángulo de posición. Fuerza de corte y potencia

Espesor de la viruta

El espesor de la viruta coincide numéricamente con el avance a , que es la velocidad lateral de la cuchilla en longitud por revolución o vuelta.

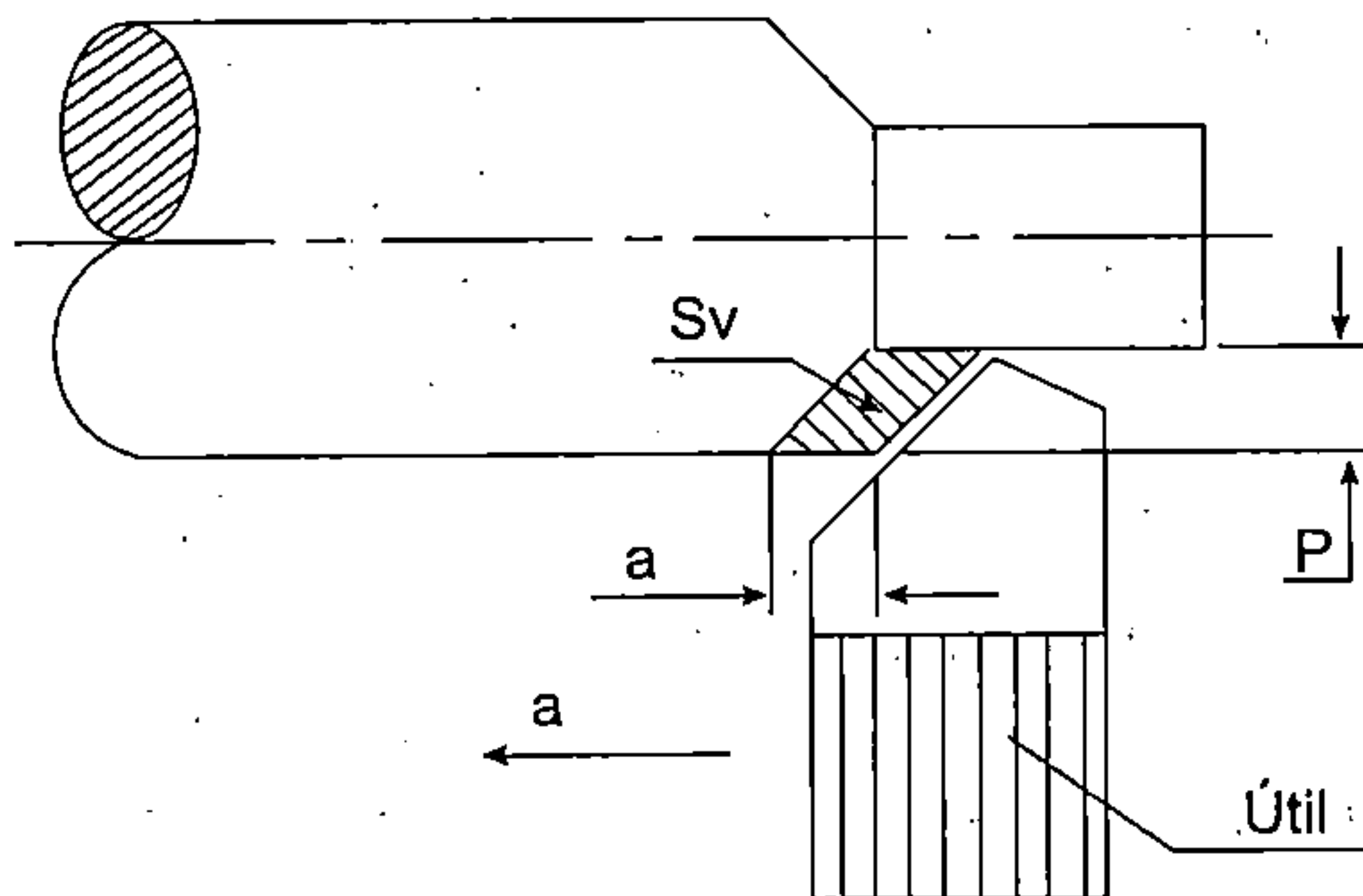


Figura 30. Sección de la viruta S_v . El avance es a en mm por revolución o pulgadas por revolución. La profundidad de pasada es p . $S_v = a \cdot p$.

Se recomienda que el espesor "a" sea menor que la profundidad de pasada o penetración de la cuchilla "p".

Entonces: $a < p$ (recomendable)

La sección de la viruta será S_v , donde:

$$S_v = a \cdot p$$

Ángulo de posición

El ángulo de posición de la cuchilla ω está formado por el filo principal y la superficie de trabajo de la pieza. Tanto más rígido es el material, entonces, se deben adoptar menores valores de ángulo de posición.

Para procedimientos de cilindrado, los valores están en el rango: $30^\circ < \omega < 90^\circ$

Para operaciones de refrentado de las caras, se tienen los valores: $0^\circ < \omega < 5^\circ$

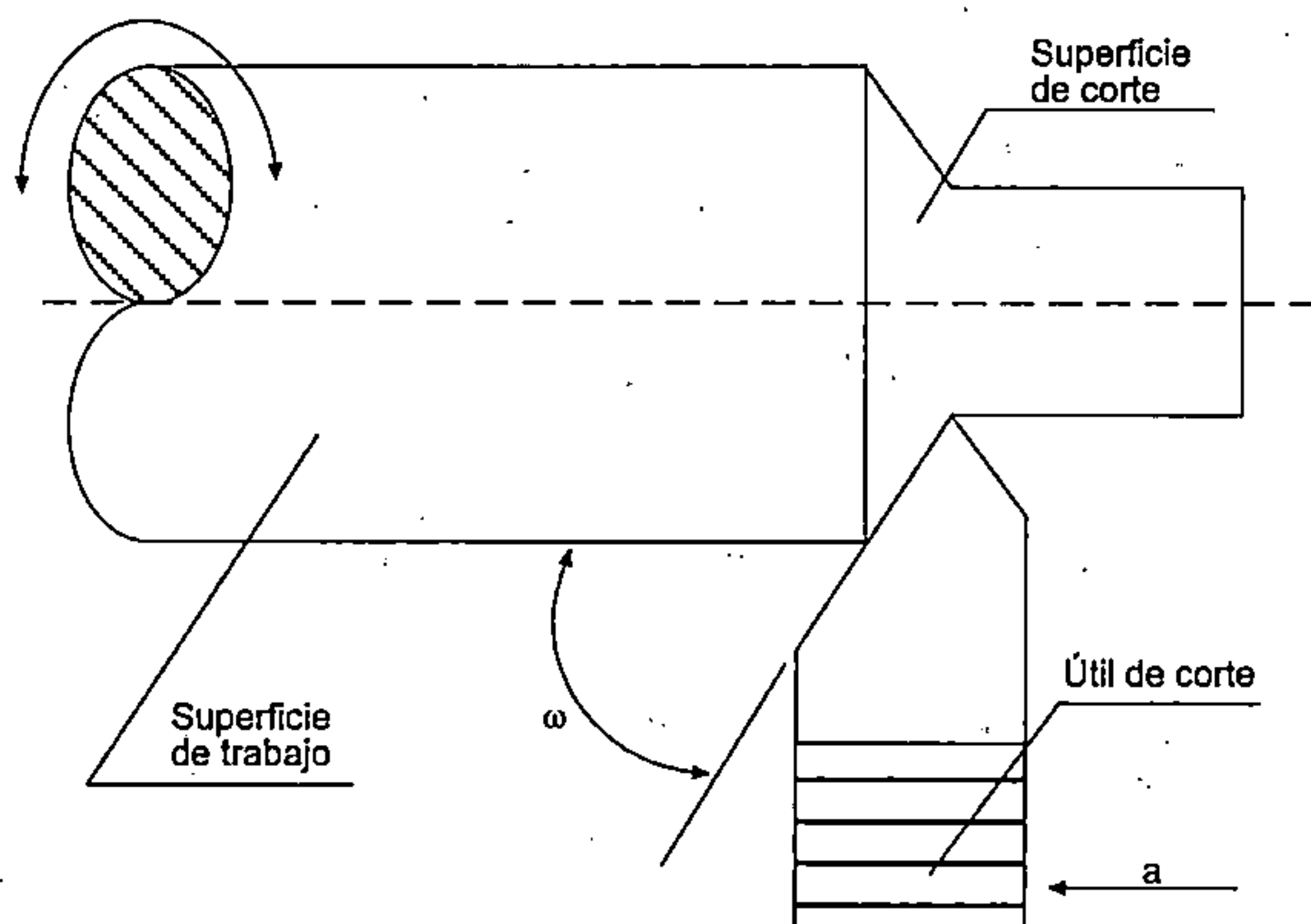


Figura 31. Ángulo de posición del filo (ω) con respecto a la superficie de trabajo.

Normalmente, el valor más utilizado se da para $\omega = 45^\circ$

Fuerza de corte y potencia

Determinar la fuerza de corte F_s con exactitud es bastante difícil, pero se establecen entonces tres fuerzas actuantes sobre la zona de corte y que son perpendiculares entre sí. La fuerza axial F_a se opone al movimiento de avance lineal de la cuchilla, la fuerza de penetración F_p será la que actúa en la dirección de la profundidad de pasada y, finalmente, la fuerza de corte F_s , será la que se produce cuando el material se acerca al filo de la cuchilla en forma vertical, y hacia abajo, para el caso de tornos paralelos y en cilindrado. La figura 32 representa dichas fuerzas.

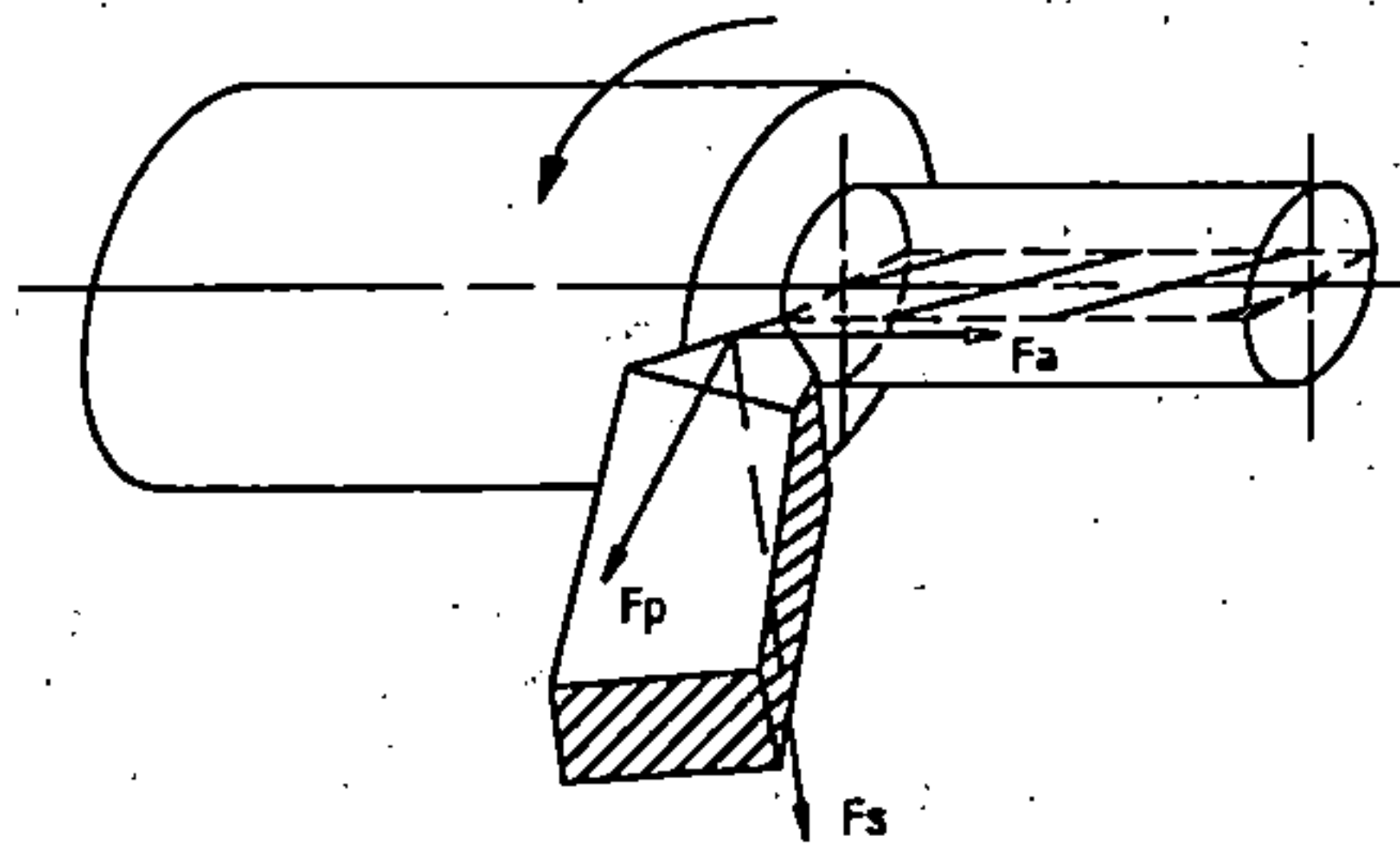


Figura 32. Reacción de las fuerzas actuantes en un proceso de corte en el torno:

F_a	fuerza axial
F_p	fuerza radial o de penetración
F_s	fuerza de corte.

La fuerza de corte F_s se determina usando la fuerza específica de corte k_s indicada por el fabricante del material a maquinar.

Los valores referenciales de k_s pueden ser:

Acero St 50	$k_s = 2000\text{N/mm}^2$
Acero St 70	$k_s = 2300\text{N/mm}^2$
Aleaciones de aluminio	$k_s = 800\text{N/mm}^2$

Se tiene entonces: $F_s = S_v \cdot k_s$

donde: S_v área de la sección de la viruta

$$S_v = a \cdot p, \quad \begin{array}{l} a \text{ avance en mm o pulg.} \\ p \text{ profundidad de pasada.} \end{array}$$

La potencia de corte P_c será:

$$P_c = F_s \cdot v_c$$

donde: F_s fuerza de corte
 v_c velocidad de corte del material (ver ítem 1.5)

1.9 Movimientos de trabajo del torno. Movimiento principal. Velocidad de corte y velocidad de giro del husillo del torno

Movimientos de trabajo del torno

Los movimientos de trabajo en un proceso de torneado son el movimiento principal, el movimiento de avance y el movimiento de profundidad de pasada.

Movimiento principal

Es el movimiento de rotación que realiza la pieza o eje montado al *chuck* del torno. Este movimiento representa directamente la velocidad angular o de giro de la pieza o del *chuck* n , que se da generalmente en revoluciones por minuto (rpm). Por otro lado, en forma indirecta se obtiene una velocidad circunferencial en la zona de corte, la cual se llama velocidad de corte.

Velocidad de corte y velocidad de giro del husillo del torno

La velocidad de corte v_c es una velocidad tangencial que ataca el filo de la cuchilla. Si se tiene la velocidad angular n del torno, y el diámetro de la pieza a tornear, entonces se puede determinar la velocidad de corte actuante:

$$v_c = \omega \cdot \frac{d}{2} = n \cdot \frac{d}{2} \quad \text{donde: } d \text{ diámetro mayor de corte}$$

ω velocidad angular del torno ($\omega = n$)

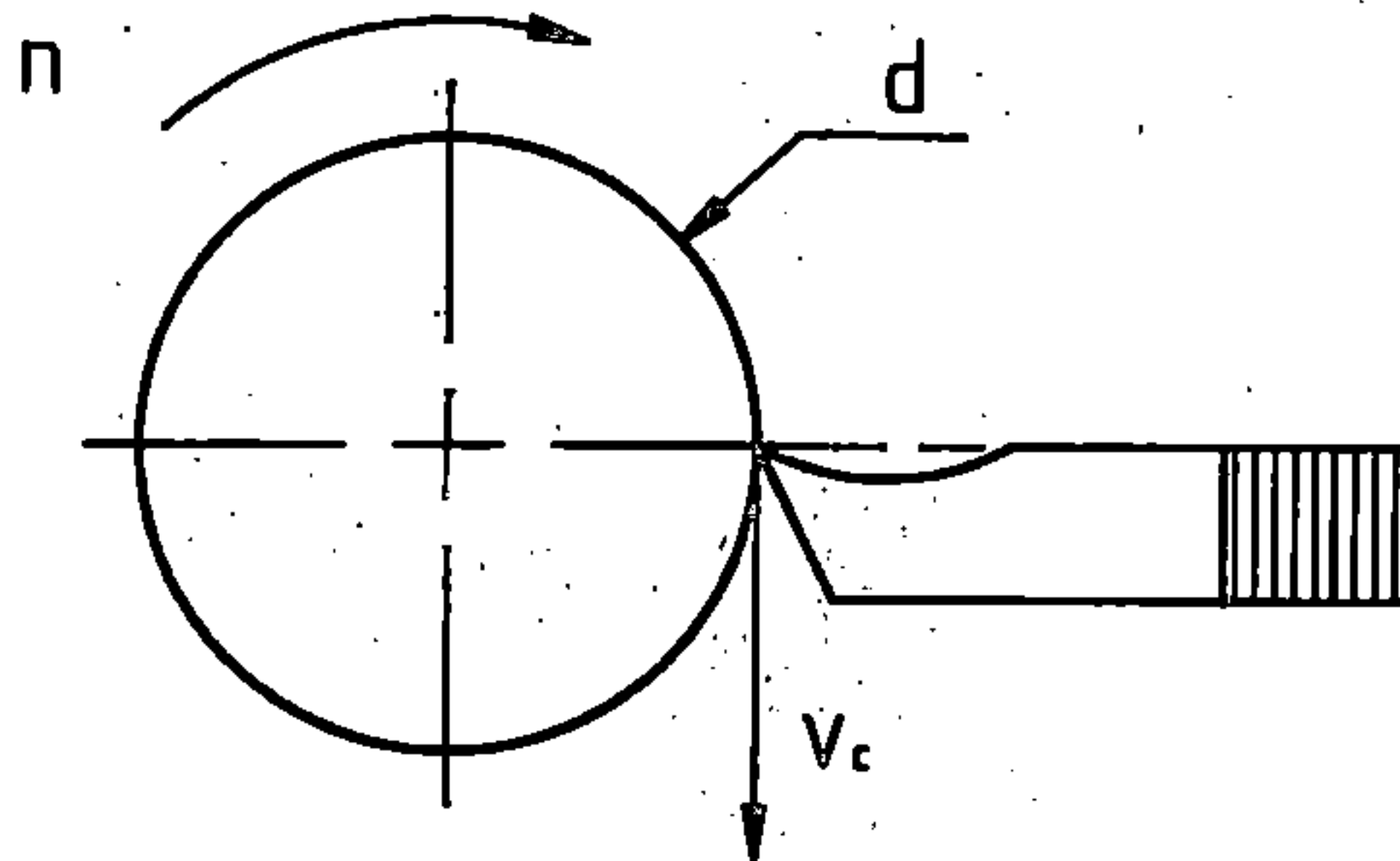


Figura 33. Velocidad de corte del material (v_c).

Nota: Si se desea una conversión de unidades directa para obtener la velocidad de corte en m/min, entonces

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad \text{donde: } v_c \text{ m/min}$$

d mm

n rpm

En la práctica, se cuenta con una tabla de velocidades de corte v_c (m/min), que depende de la cuchilla de corte, del material a tornear y del proceso de torneado que se debe realizar. Asimismo, en el desbaste las velocidades de corte serán menores y en el acabado un tanto mayores. La velocidad v_c también se puede dar en pie/min.

La tabla 2 muestra los valores de velocidades de corte para diversos materiales a ser torneados.

Materiales	Tipo de cuchilla				
	Acero rápido			Carburo metálico	
	Desbastado	Acabado	Roscado y moleteado	Desbastado	Acabado
Acero 0,35%C (hasta SAE 10 30)	25	30	10	200	300
Acero 0,45%C (hasta SAE 10 40)	15	20	8	120	160
Acero extra duro (aceros aleados)	12	16	6	40	60
Hierro fundido maleable	20	25	8	70	85
Hierro fundido gris	15	20	8	65	95
Hierro fundido duro	10	15	6	30	50
Bronce	30	40	10-25	300	380
Latón y cobre	40	50	10-25	350	400
Aluminio	60	90	15-35	500	700
Fibra y ebonita	25	40	10-20	120	150

Tabla 2. Tabla de velocidades de corte para el torno v_c (m/min).

Para realizar un proceso de torneado, se deben determinar las revoluciones por minuto a las que debe girar el husillo principal. Despejando el valor de n , se tiene un cálculo estimado de la velocidad de giro:

$$n = \frac{2 v_c}{d} \quad \text{donde: } n \text{ velocidad de giro de la pieza, calculada.}$$

v_c velocidad de corte de tablas (tabla 2)

d diámetro a ser torneado (tomar siempre el diámetro mayor)

Nota: Si se desea una conversión de unidades directa para obtener la velocidad de rotación en rpm, entonces:

$$n = \frac{1000 v_c}{\pi d} \quad \text{donde: } \begin{array}{ll} n & \text{rpm} \\ d & \text{mm} \\ v_c & \text{m/min} \end{array}$$

Para establecer las rpm de la máquina, n_{TORNO} , se toma el valor inmediatamente inferior posible de la máquina, con respecto al valor n calculado. Es decir:

$$n_{\text{TORNO}} \leq n$$

Una vez establecida la velocidad angular de la máquina, n_{TORNO} , se puede determinar la velocidad real de corte, que será menor o igual al valor obtenido de tablas.

$$V_{c_{\text{real}}} = n_{\text{TORNO}} \cdot \frac{d}{2}$$

Observaciones de la velocidad de corte v_c y la velocidad de giro n

En el refrentado, el valor mínimo de la velocidad de corte es cero, y se da en el centro de la superficie de trabajo, pues, el diámetro es, $d = 0$.

Si $v_c = n \cdot \frac{d}{2}$, entonces $v_c = 0$, pues $d = 0$.

El cálculo de la velocidad angular n será tomando siempre el diámetro máximo, $d_{\text{máximo}}$.

Cilindrado exterior

$$\text{Desbaste } n = \frac{2v_c}{d_i} \quad \text{Acabado } n = \frac{2v_c}{d_f}$$

Mandrilado

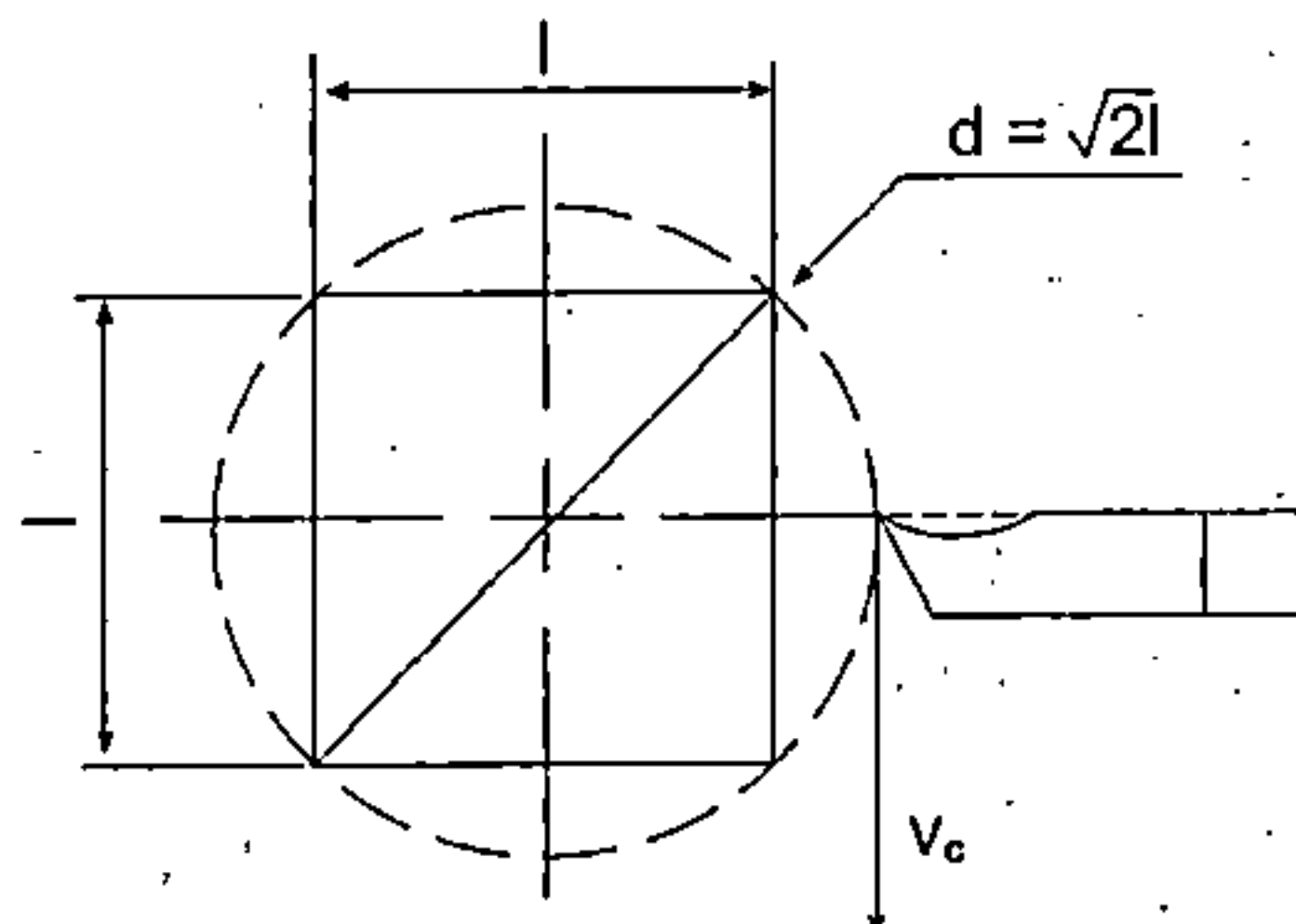
$$\text{Desbaste } n = \frac{2v_c}{d_f} \quad \text{Acabado } n = \frac{2v_c}{d_i}$$

Refrentado, tronzado

$$\text{Desbaste } n = \frac{2v_c}{d_i} \quad \text{Acabado } n = \frac{2v_c}{d_i}$$

Torneado exterior de barra cuadrada

Se toma la diagonal como diámetro $n = \frac{2v_c}{\sqrt{2} \ell}$



1.10 Movimiento de avance. Valores referenciales del avance. Recomendaciones

Movimiento de avance

El movimiento secundario o de avance es el que corresponde a la velocidad lineal de avance de la cuchilla v_L , que generalmente está dada en mm/min o pulg/min. (Nótese que las velocidades de corte se dan en m/min o pie/min, según ítem 1.9)

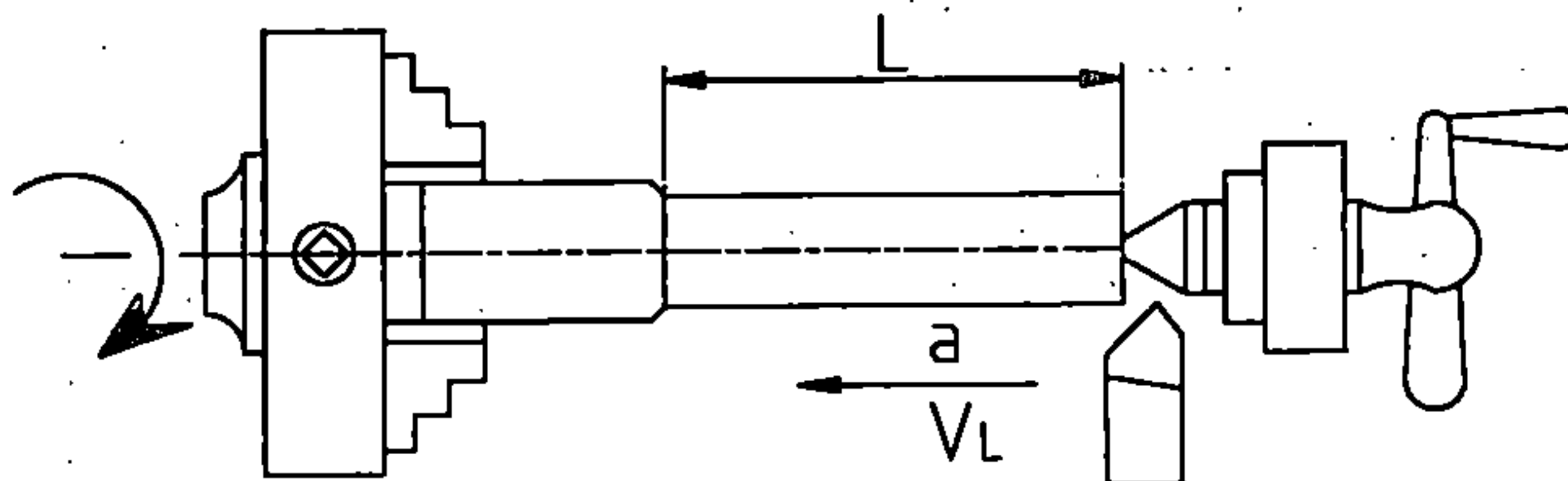


Figura 34. Avance de la cuchilla en el torno.

En el torneado la velocidad v_L se obtiene indirectamente en función a la velocidad angular en rpm del husillo del torno. La información principal es el avance "a" dado en unidades de longitud por vuelta o revolución de la pieza.

Generalmente: avance a mm/rev, o pulg/rev

Luego: velocidad lineal $V_L = a \cdot n$

Nota: Si se desea v_L en mm/min, entonces:

$$v_L = a(\text{mm/rev}) \cdot n(\text{rpm})$$

El valor numérico del avance a (mm/rev) o a (pulg/rev) representa el espesor "e" de la viruta en milímetros, o en pulgadas.

$$e = a \left[\frac{\text{pulg}}{\text{rev}} \right], \text{ o } e = a \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$$

Valores referenciales del avance

Avance longitudinal

Es el movimiento paralelo de la cuchilla al eje del torno.

El rango de valores del avance longitudinal es:

$$a = 0,002 - 0,03 \text{ pulg/rev}$$

$$a = 0,05 - 0,75 \text{ mm/rev}$$

En desbaste se toman los valores mayores: en acabado, los menores.

Para materiales blandos como aluminio y bronce, se toman mayores avances; para materiales más duros como los aceros, se toman valores menores.

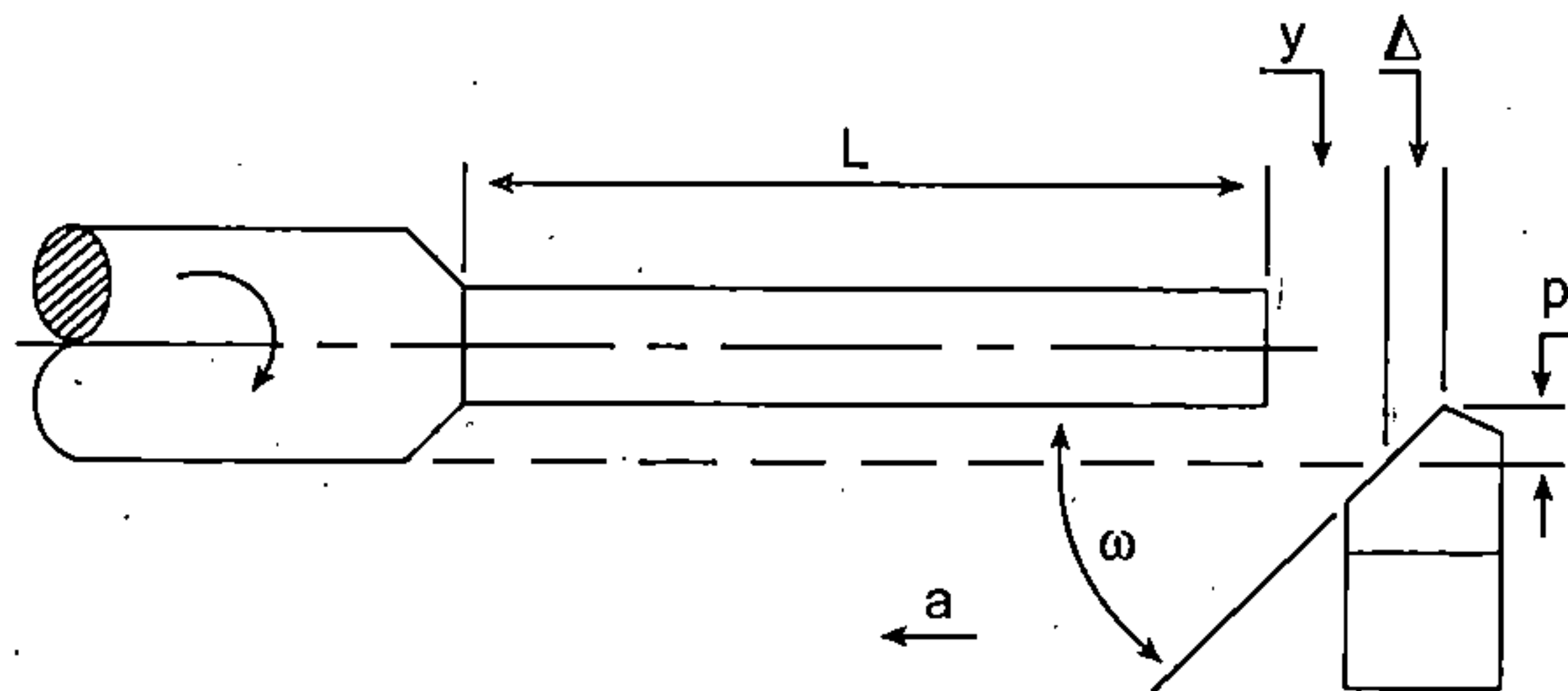


Figura 35. Avance longitudinal del útil de corte en el torneado cilíndrico, con un ángulo de posición ω de 45° .

La distancia Δ por efecto de la cuchilla será:

$$\Delta = p, \text{ si } \omega = 45^\circ$$

$$\Delta = 0, \text{ si } \omega = 90^\circ$$

El retiro puede ser:

$$y = 1 \text{ a } 3 \text{ mm.}$$

El tiempo de pasada t_p será aproximadamente el correspondiente a la longitud L , la distancia Δ del filo de la cuchilla y el retiro "y".

$$\text{Sea: } L + y + \Delta = V_L \cdot t_p, \text{ entonces, } t_p = \frac{L + y + \Delta}{V_L}$$

donde: $v_L = a \cdot n$
 L longitud de la superficie de trabajo
 y retiro de la cuchilla
 Δ distancia por efecto de ángulo de posición ω

Avance transversal

Es el movimiento perpendicular de la cuchilla al eje del torno; el avance transversal siempre tiende a ser bastante menor que el avance longitudinal. El rango de valores es:

$$a = 0,0001 - 0,015 \text{ pulg/rev}$$

$$a = 0,025 - 0,375 \text{ mm/rev}$$

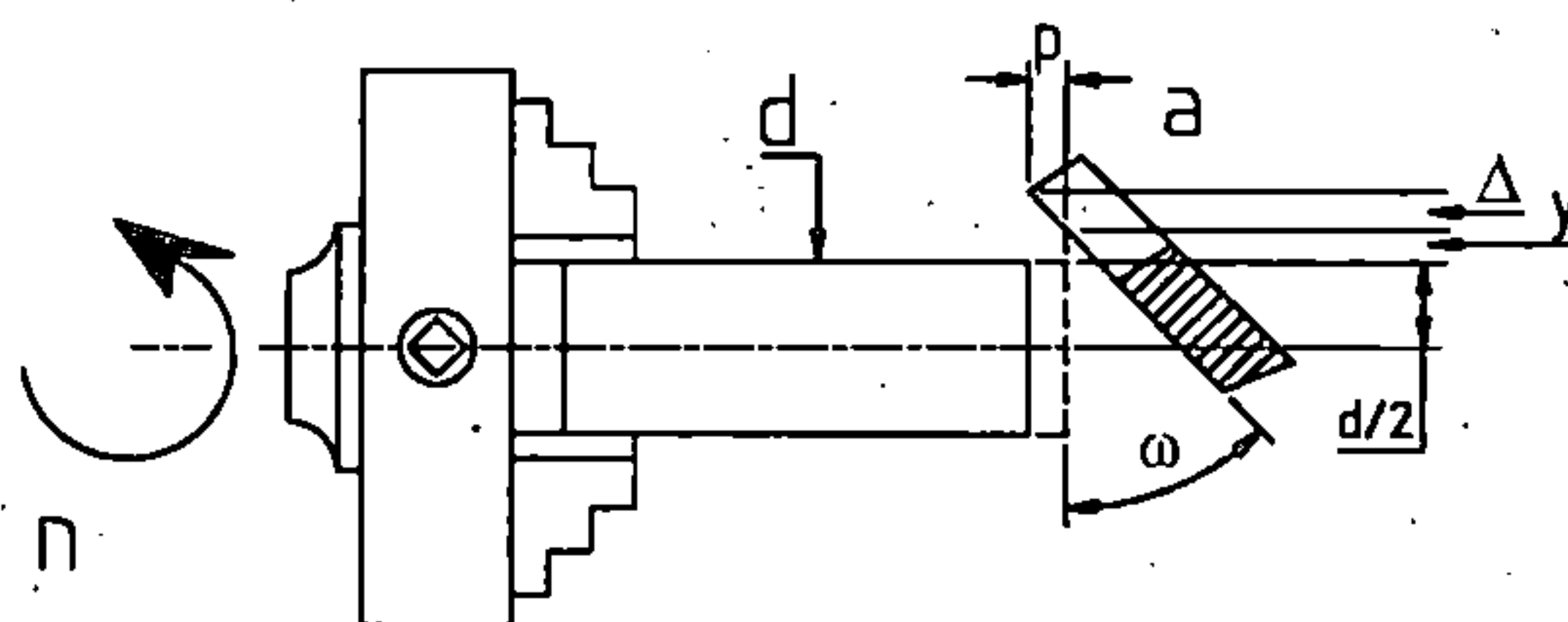


Figura 36. Avance transversal del útil de corte en el refrentado, con un ángulo de posición ω .

El tiempo de pasada t_p será aproximadamente el correspondiente al radio de la pieza r y un retiro previo al inicio del corte "y". Además, se debe considerar la distancia Δ por efecto del ángulo de posición del filo.

Sea, $r+y+\Delta = v_L t_p$, entonces $t_p = \frac{L+y+\Delta}{v_L}$

donde: $r = d/2$
 y retiro de la cuchilla
 Δ distancia por efecto de ángulo de posición ω
 $v_L = a \cdot n$

Recomendaciones

El valor de a será menor en avance transversal, y puede ser mayor en avance longitudinal.

$$a_t < a_L$$

En desbaste, a puede ser más rápido, y en acabado debe reducirse la velocidad. Con la velocidad de corte ocurre el caso inverso.

$$a_A < a_D, \quad V_{cA} > V_{cD}$$

Si el material es un acero aleado o es un material de alta dureza, entonces se debe reducir la velocidad de avance a . Para bronce o aluminios se puede trabajar con mayores velocidades de avance.

1.11 Movimiento de profundidad de pasada. Recomendaciones

El movimiento de penetración, o de profundidad de pasada, es un movimiento radial del útil que determina el ancho de la viruta a maquinar. La profundidad p es una distancia de penetración en el material cuyo movimiento, generalmente, es manual en los tornos mecánicos. En los tornos de control numérico, este movimiento p es programado y finalmente ejecutado por un tercer motor de accionamiento.

Dependiendo del tipo de trabajo y del material, los valores referenciales son:

Pasada de acabado $p = 0,1$ a $0,4\text{mm}$

Pasada de desbaste $p = 0,3$ a 3mm

Recomendaciones

Para materiales duros, el valor de p es menor que para el maquinado de materiales blandos.

El acabado requiere de menores valores de p que el desbaste.

Es preferible trabajar con pequeño avance a , con gran profundidad de corte p , y con ángulo de posición ω de 45° . La relación a/p debe estar en el rango:

$$\frac{1}{10} < \frac{a}{p} < \frac{1}{5}$$

El número de pasadas estimado en el cilindrado exterior será: (figura 37)

$$NP = \frac{(d_i - d_f)/2}{p}$$

donde: p profundidad de pasada
 d_i, d_f diámetro inicial y final

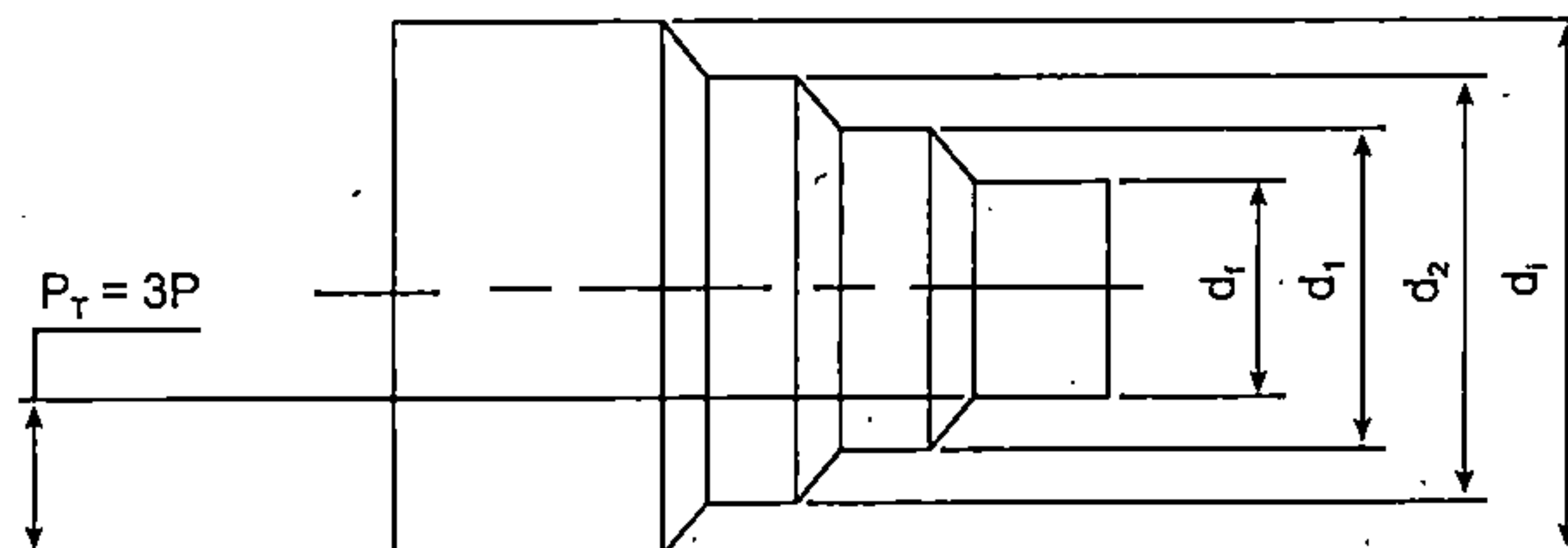


Figura 37. Torneado con tres pasadas p de igual profundidad. La pasada total es: $p_T = 3p = (d_i - d_f)/2$, siendo d_i, d_f los diámetros inicial y final respectivamente.

Si se hacen tres pasadas de desbaste (p_D) y una de acabado (p_A), en el cilindrado exterior se tendrá: (figura 38)

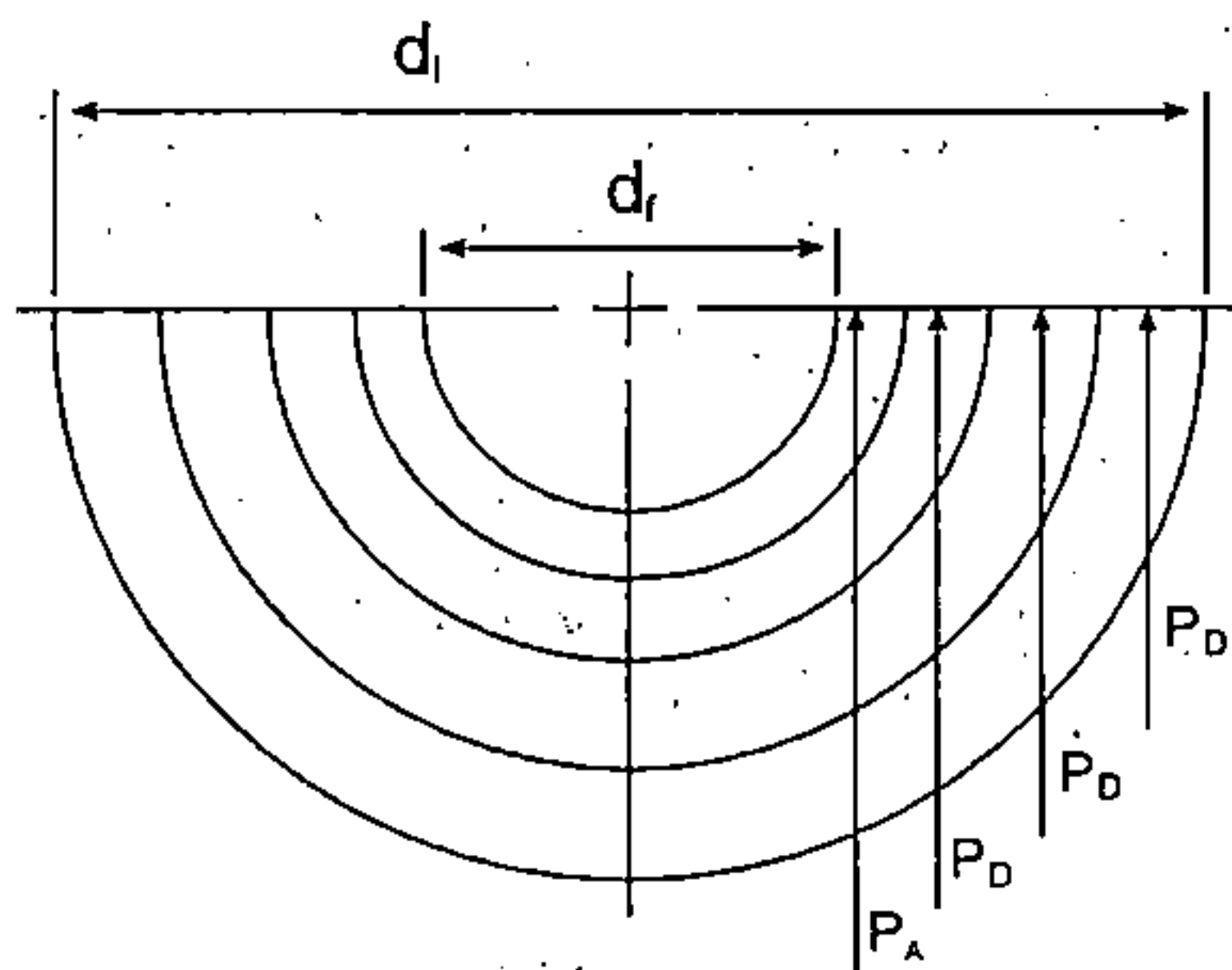


Figura 38. Esquema de tres pasadas de desbaste p_D y una de pasada de acabado p_A . Los diámetros son inicial d_i y final d_f , respectivamente.

Finalmente, se toma la decisión para el número de pasadas de desbaste NP_D y de acabado NP_A .

Se debe cumplir:
$$\left(\frac{d_i - d_f}{2} \right) = NP_D \cdot p_D + NP_A \cdot p_A$$

1.12 Tiempo total de maquinado

El tiempo total de maquinado T_t requiere del tiempo de instalación de máquina, el tiempo total de pasada tp_T y el tiempo de retorno o tiempo muerto tr_T .

Entonces, se tiene:

$$T_t = t_{inst} + tp_T + tr_T$$

donde:

– Tiempo de pasada total de torneado (tp_T)

$tp_T = NP_D \cdot tp_D + NP_A \cdot tp_A$, donde los tiempos de pasada de desbaste y acabado, tp_D , tp_A , se obtienen según ítem 1.8.

– Tiempo muerto o de retorno total (tr_T)

$$tr_T \approx (0.5 - 2) tp_T$$

– Tiempo de instalación o preparación de máquina (t_{inst})

Este tiempo de instalación depende del operador y del tipo de trabajo a realizar. En general, se puede estimar:

$$t_{inst} = 20\text{min}, 30\text{min o } 1\text{h.}$$

2. PROBLEMAS DE TRABAJO EN EL TORNO

Problema 1

Determinar la velocidad de corte al maquinar piezas de acero SAE 1020 de diámetro 120mmφ en un torno cuyo husillo gira a 500rpm. El diámetro inicial es 120,2mm.

Solución:

El diámetro máximo es D=120,2mm.

$$v = \omega \frac{D}{2} = \frac{500 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \frac{2\pi}{1 \text{ rev}} \frac{120,2 \text{ mm}}{2} \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 189 \text{ m/min}$$

Problema 2

Determinar la velocidad de giro en rpm del mandrilado de un husillo de material 50kg/mm² de esfuerzo de tracción, de diámetro exterior 90mmφ, diámetro interior final 80mmφ, que es maquinado en un torno a una velocidad de corte v=215m/min según tablas. El diámetro interior inicial es de 79,8mm.

Solución:

El máximo diámetro interior es 80mm para el mandrilado.

$$\omega = \frac{2v_c}{D} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 215}{2 \cdot 3,14 \cdot 80} = 855 \text{ rpm}$$

Problema 3

Determinar la velocidad de avance al cilindrar un eje en un torno que gira a 1000rpm, y tiene un avance de la cuchilla de 0,26mm/rev.

Solución:

$$a = 0,26 \text{ mm/rev} \quad v_f = 0,26 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 1000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 260 \text{ mm/min}$$

Problema 4

Determinar la profundidad de corte al mandrilar un orificio de aluminio desde d=55 mmφ hasta D=60 mmφ en una sola pasada.

Solución:

$$p = \frac{D - d}{2} = \frac{60 - 55}{2} = 2,5 \text{ mm}$$

Problema 5

Determinar la profundidad de corte al cilindrar una pieza de bronce de diámetro $D=150\text{mm}\phi$ en un torno en dos pasadas. Durante la pasada de desbaste la pieza se tornea hasta $D_o=142\text{mm}\phi$, y en la pasada de acabado hasta $d=140\text{mm}\phi$.

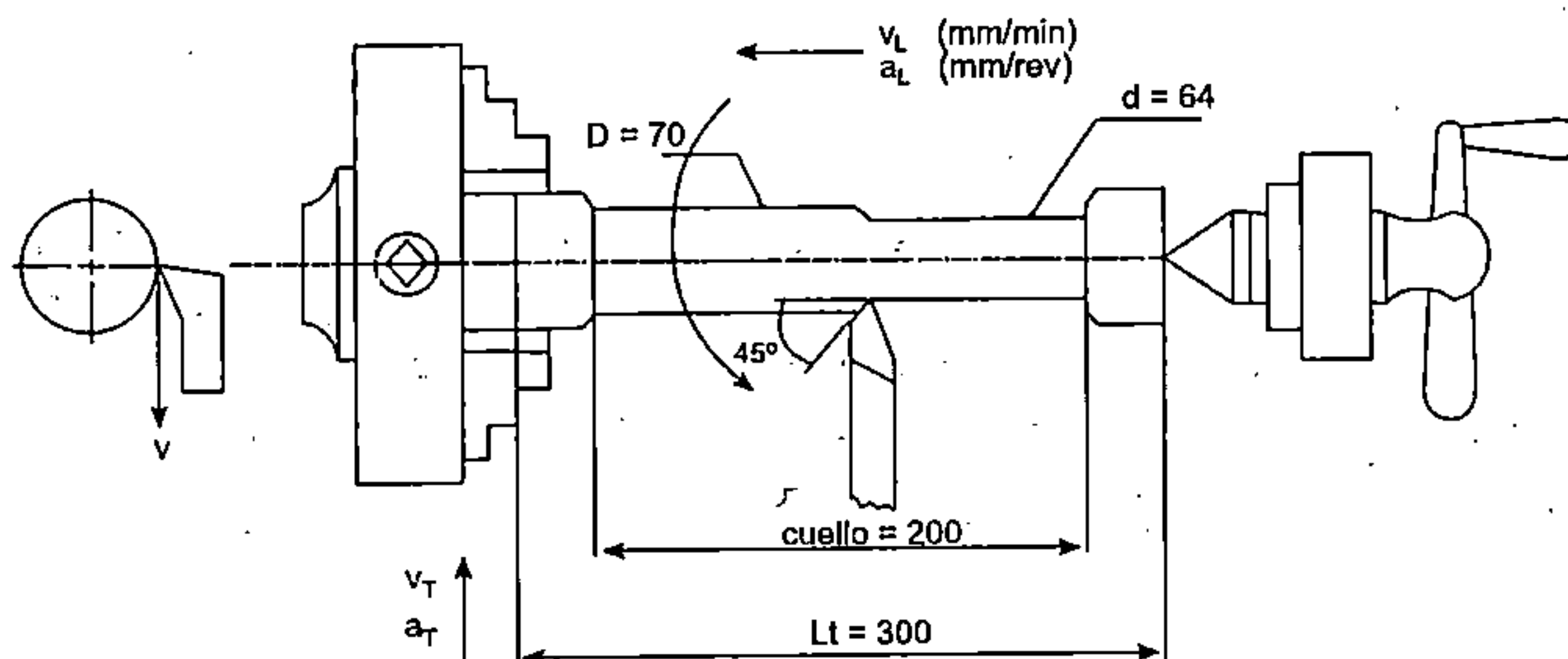
Solución:

Pasada de desbaste $p_o = \frac{D - D_o}{2} = \frac{150 - 142}{2} = 4\text{mm}$

Pasada de acabado $p_a = \frac{D_o - d}{2} = \frac{142 - 140}{2} = 1\text{mm}$

Problema 6

Determinar el tiempo de maquinado durante el torneado longitudinal del cuello de longitud 200mm, de un árbol de 300mm de longitud total, desde un diámetro inicial de $70\text{mm}\phi$ hasta uno final de $64\text{mm}\phi$. El torno gira a 600rpm y el avance es de 0,4mm/rev. El torneado se hace en una pasada. La cuchilla es para cilindrado con ángulo de posición 45° .



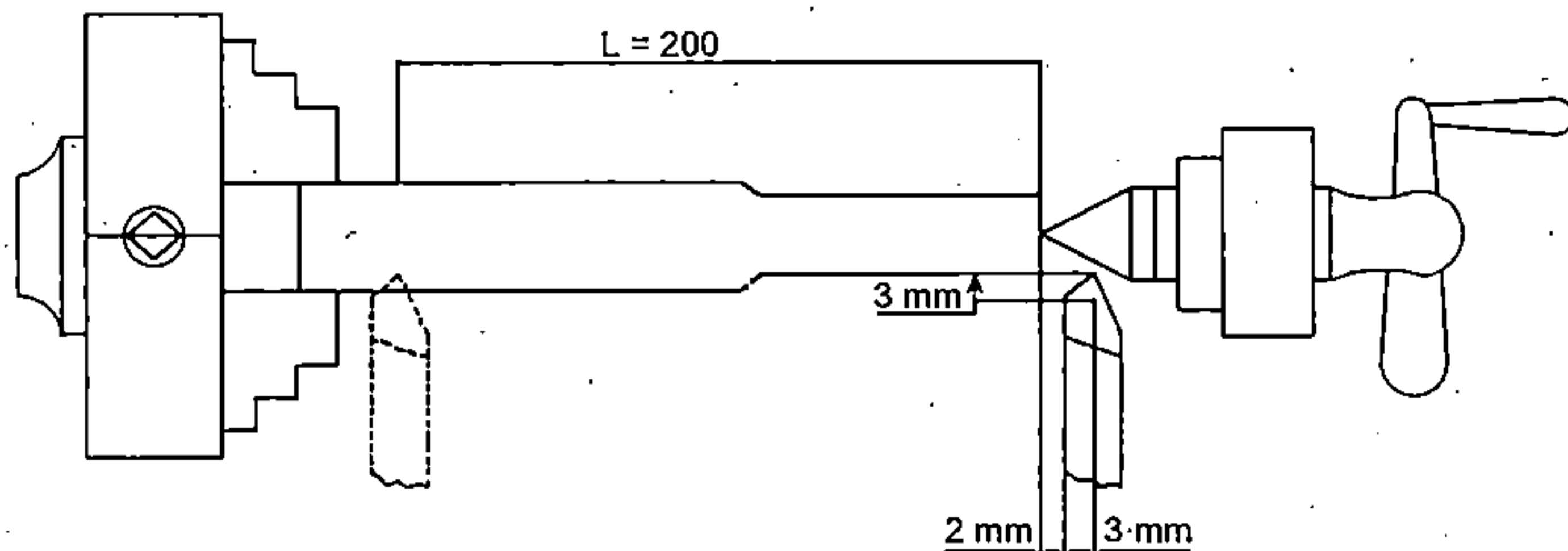
Solución:

El tiempo es $t = \frac{L}{n \cdot a}$,

luego $t = \frac{200\text{mm}}{600 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \cdot 0,4 \frac{\text{mm}}{\text{Rev}}} = 0,83\text{min} = 50\text{seg.}$

Problema 7

Hallar el tiempo de pasada para cilindrar un eje de 200mm de longitud a un diámetro de $64\text{mm}\phi$, a partir de una barra de 250mm de longitud y $70\text{mm}\phi$. El torneado se realiza en una pasada. La entrada de la cuchilla puede considerarse a 2mm del material. El ángulo de posición de la cuchilla es 45° . El chuck gira a 600rpm, y el avance es 0,4mm/rev.



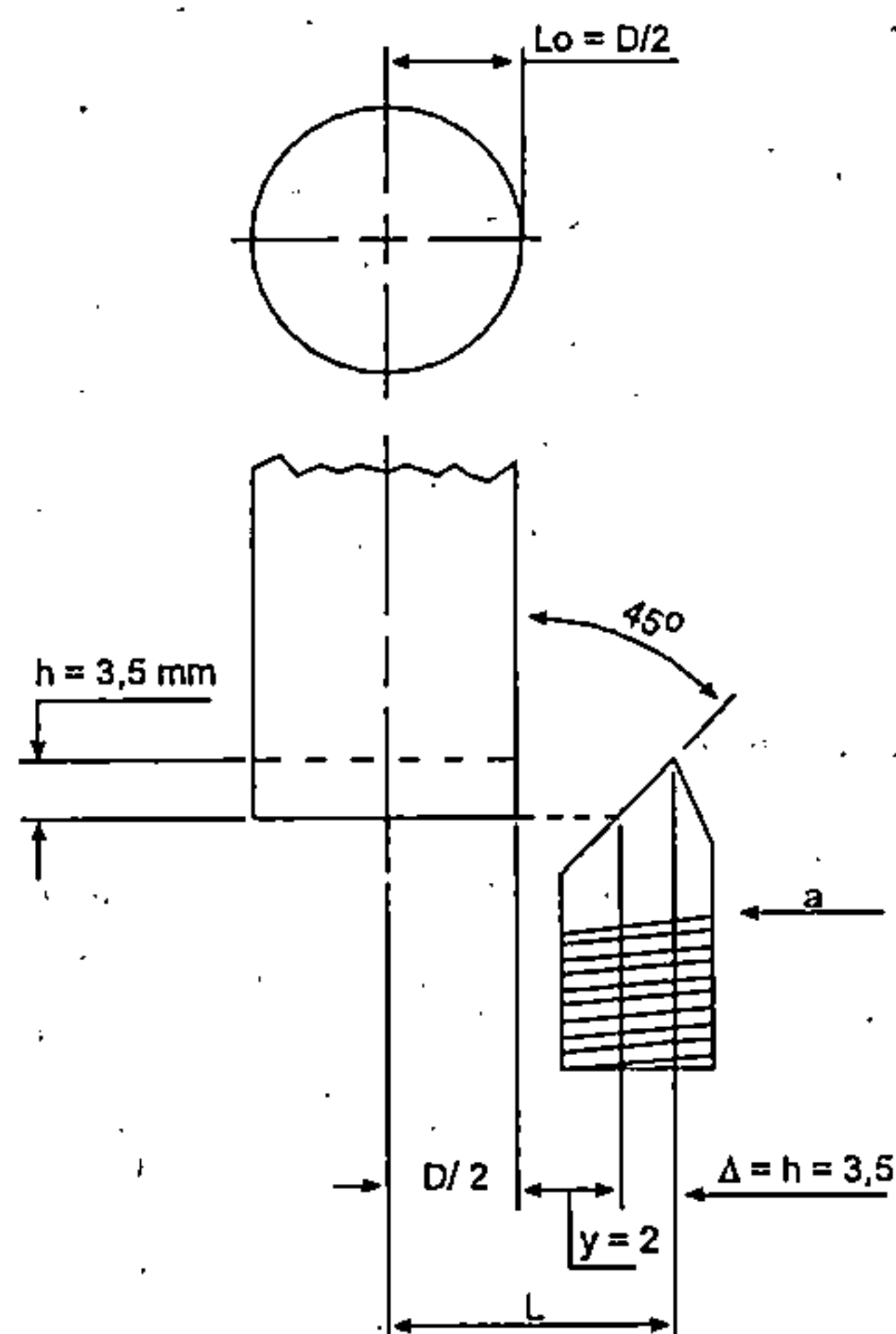
Solución:

El tiempo total de cilindrado es $t = \frac{L_T}{n \cdot a}$,

$$L_T = 200 + 2 + 3 = 205 \text{ mm} \quad t = \frac{205 \text{ mm}}{600 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \cdot 0,4 \frac{\text{mm}}{\text{Rev}}} = 0,854 \text{ min} = 52 \text{ seg}$$

Problema 8

Determinar el tiempo de maquinado durante el refrentado de una barra de diámetro $D = 165 \text{ mm}\phi$ en el torno, en una pasada. El torno gira a 480rpm y el avance es de 0,3mm/rev. El sobreespesor (profundidad de pasada), por cada lado de la barra es, para el maquinado $h = 3,5 \text{ mm}$. La cuchilla es para refrentar con ángulo de posición 45° . Considerar 2mm de retiro de la cuchilla de entrada.



Solución:

El tiempo de maquinado es $t = \frac{L}{n \cdot a}$

La longitud de la carrera de la cuchilla durante el refrentado continuo es:

$L = \frac{D}{2} + y + \Delta$, y: entrada o retiro de la cuchilla
 $\Delta = h$, si el ángulo de posición de la cuchilla es $\omega = 45^\circ$

ω	Δ
90°	0
45°	$\Delta = h$

$$L = \frac{165}{2} + 3,5 + 2 = 88 \text{ mm}$$

$$t = \frac{88}{480 \cdot 0,3} = 0,61 \text{ min} = 37 \text{ seg.}$$

Problema 9

Determinar el tiempo de maquinado para cortar (tronzado total) un aro a partir de un eje de forma tubular, en un torno con una cuchilla de aleación dura. El diámetro exterior del útil es de $D = 100 \text{ mm} \phi$, el interior $d = 84 \text{ mm} \phi$. El husillo del torno gira a 250 RPM y el avance es de 0,14 mm/rev.

Solución:

El tiempo es: $t = \frac{L}{n \cdot a}$

La longitud de la carrera de la cuchilla para cortar el aro es:

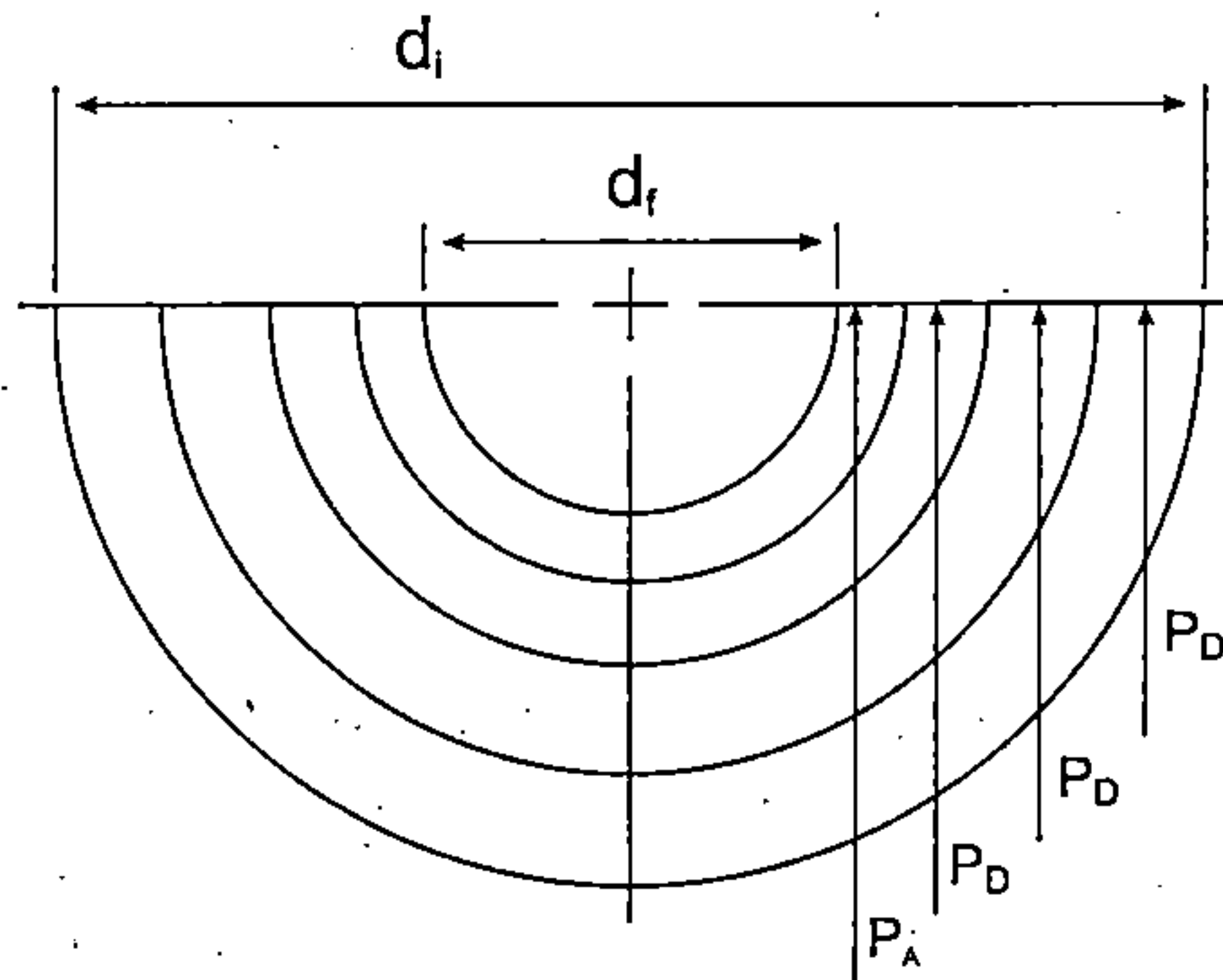
$$L = \frac{D-d}{2} + y \quad (y = 2\text{mm de retiro de la cuchilla, puede ser de 1 a 3mm})$$

$$L = \frac{100-84}{2} + 2 = 10\text{mm}$$

$$t = \frac{10}{250 \cdot 0,14} = 0,29\text{min}$$

Problema 10

En la figura se indica una pasada aproximada de acabado $p_A = 0,1\text{mm}$ y se desea dar pasadas p_D de desbaste ($p_D = 0,3 - 3\text{mm}$). Se buscará el número más conveniente de pasadas de desbaste NP_D , si los diámetros inicial y final de torneado son $d_i = 20\text{mm}\phi$ y $d_f = 14\text{mm}\phi$ respectivamente.



Solución:

$$\text{Sea: } d_i = d_f + 2p_A + 2NP_D \cdot p_D$$

entonces:

$$NP_D = \frac{d_i - d_f - 2p_A}{2p_D}$$

reemplazando:

$$NP_D = \frac{20 - 14 - 0,2}{2p_D} = \frac{2,9}{p_D}$$

Si $p_D = 0,3\text{mm}$, $NP_D = 9,7$, es decir $NP_D = 10$ pasadas
 Si $p_D = 3\text{mm}$, $NP_D = 0,97$, es decir $NP_D = 1$ pasada

Se tiene $1 \leq NP_D \leq 10$ según recomendaciones. Una buena elección es $NP_D = 3$ pasadas de desbaste (usar esta elección, si no hay más información).

Luego:

$$p_D = \frac{2,9}{NP_D}, \quad p_D = 0,97\text{mm}$$

Como este valor ha sido aproximado se prueba el nuevo valor de p_A

$$p_A = \frac{d_i - d_f - 2NP_D \cdot p_D}{2}, \quad p_A = 0,09\text{mm}$$

Se concluye en lo siguiente:

1 pasada de acabado $p_A = 0,09\text{mm}$
 3 pasadas de desbaste $p_D = 0,97\text{mm}$

y se comprueba:

$$20 = 14 + 2(0,09) + 2(3)0,97$$

$$20 = 20$$

El número total de pasadas será $NP = 4$ pasadas. En la práctica, estos valores se controlan y aplican muy fácilmente en el mismo torneado.

Problema 11

Se tiene un eje de diámetro inicial $80\text{mm}\phi$ y 330mm de largo y material acero de $0,45\%$ de carbono. Deberá obtenerse un eje final de 70mm de diámetro y 300mm de largo. El útil de corte es de acero rápido, de 3mm de ancho de filo y 45° de ángulo de posición. Para el desbaste y el acabado se recomienda un avance de $0,015$ y $0,008\text{pulg/rev}$ respectivamente. El tronzado de corte tendrá un avance de $0,003\text{pulg/rev}$.

Hallar:

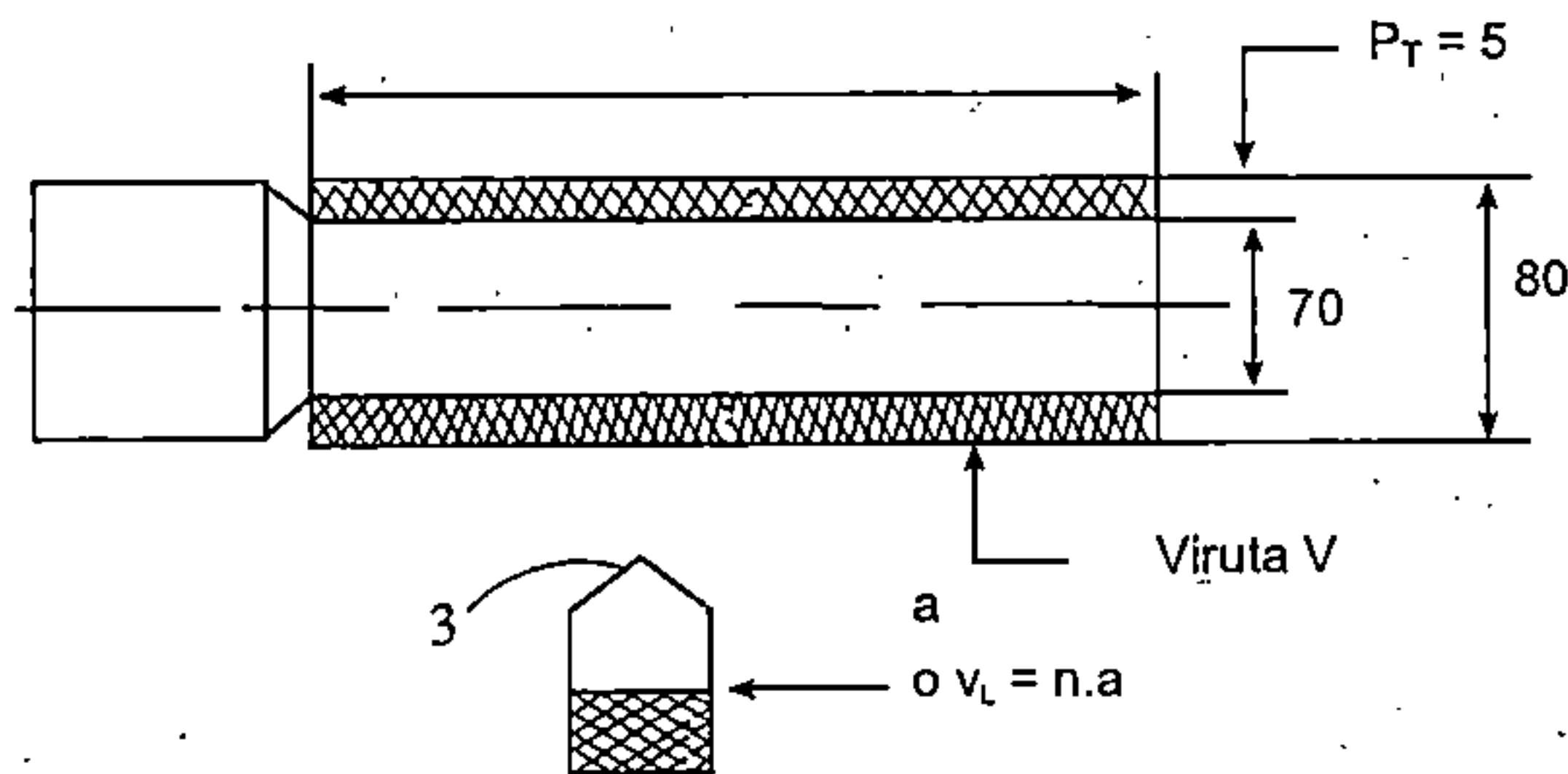
- El volumen de viruta aproximado del cilindro.
- La máxima profundidad de pasada posible, debido a la posición de la cuchilla.
- El número mínimo de pasadas de desbaste de igual profundidad, si la pasada de acabado será de $0,2\text{mm}$ de profundidad.
- El espesor aproximado de viruta en el desbaste.
- Las RPM del *chuck* en el desbaste y en el acabado.
- El caudal de viruta en el desbaste.
- El tiempo del tronzado de corte.

- h. El tiempo total aproximado del maquinado, si el tiempo de instalación es de 20 minutos, y el tiempo de retorno representa la mitad del tiempo efectivo de cada pasada del cilindrado.
- i. El efecto que ocurre con el tiempo total, si se usa una cuchilla de pastilla carburada.

Solución:

a.

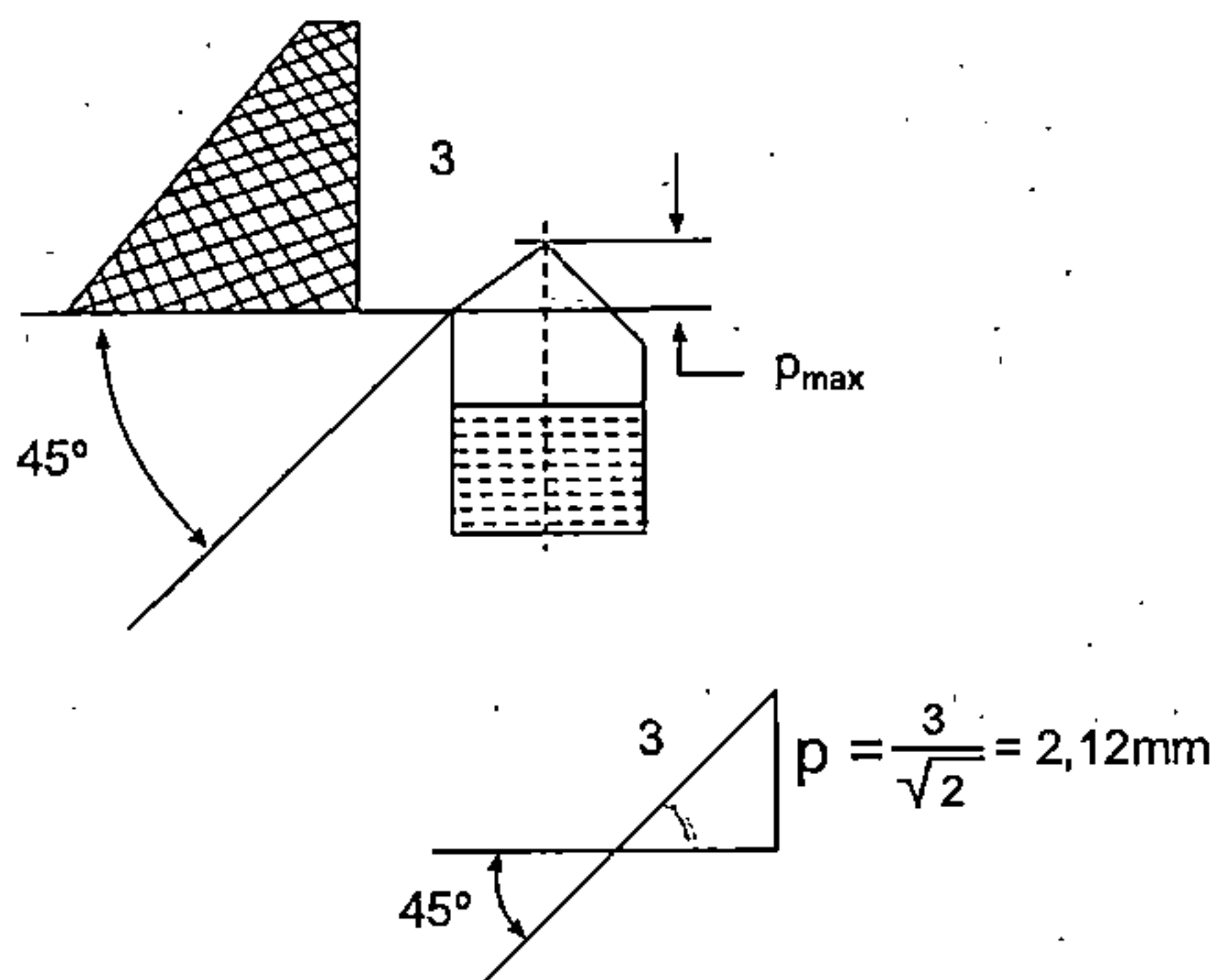
$$L = 300$$



El volumen de viruta es aproximadamente:

$$V = \frac{\pi}{4} (80^2 - 70^2) \text{ mm}^2 \cdot 300 \text{ mm} \approx 354 \text{ cm}^3$$

- b. La pasada total debe ser $p_T = 5 \text{ mm}$.



Según el esquema, la cuchilla tiene una penetración máxima posible $p_{\max} = 2,12 \text{ mm}$.

- c. La pasada total es $p_T = \frac{80 - 70}{2} = 5 \text{ mm}$

Luego: $5\text{mm} = 0,2\text{mm} + \text{NP} \cdot p_D$, donde: p_D = profundidad de pasadas de desbaste, NP número de pasadas de desbaste.

$$p_D = \frac{4,8}{\text{NP}} : \quad \text{NP} = 2 ; \quad p_D = 2,4$$

$$\text{NP} = 3 ; \quad p_D = 1,6 < p_{\max} = 2,12\text{mm}$$

Entonces, son 3 pasadas de desbaste.

- d. El avance por vuelta coincide con el espesor "e" de viruta.
Entonces en el desbaste $e = 0,015\text{pulg/rev.}$ o $e \approx 0,4\text{mm}$

- e. Las RPM serán $n = \frac{2v_c}{d_{\max}}$

Según la figura 23, útil de acero rápido, material acero 0,45% C, se tiene velocidad de corte en el desbaste 15m/min y en el acabado 20m/min

$$\text{Desbaste: } n_D = \frac{2(15\text{ m/min})}{80\text{ mm}} \times \frac{1000\text{ mm}}{1\text{ m}} \times \frac{1\text{Rev}}{2\pi\text{ rad}} \approx 60\text{ RPM}$$

$$\text{Acabado: } n_A = \frac{2(20)}{70,4} \frac{1000}{2\pi} \approx 90\text{ RPM}$$

- f. El caudal en el desbaste será: $Q = v_L \cdot A = n_D \cdot a_D \cdot \pi 80 \cdot 1,6$, donde A, es el área transversal y v_L la velocidad lineal de la cuchilla, o también: $Q = V_{D1}/t_1$, donde V_{D1} es el volumen de una pasada, y t_1 el tiempo de corte.

$$Q = 60 \frac{\text{Rev.}}{\text{min}} \times 0,015 \frac{\text{pulg.}}{\text{Rev.}} \cdot \frac{25,4\text{min}}{1\text{pulg.}} \pi 80\text{mm} \cdot 1,6\text{mm} = 9 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

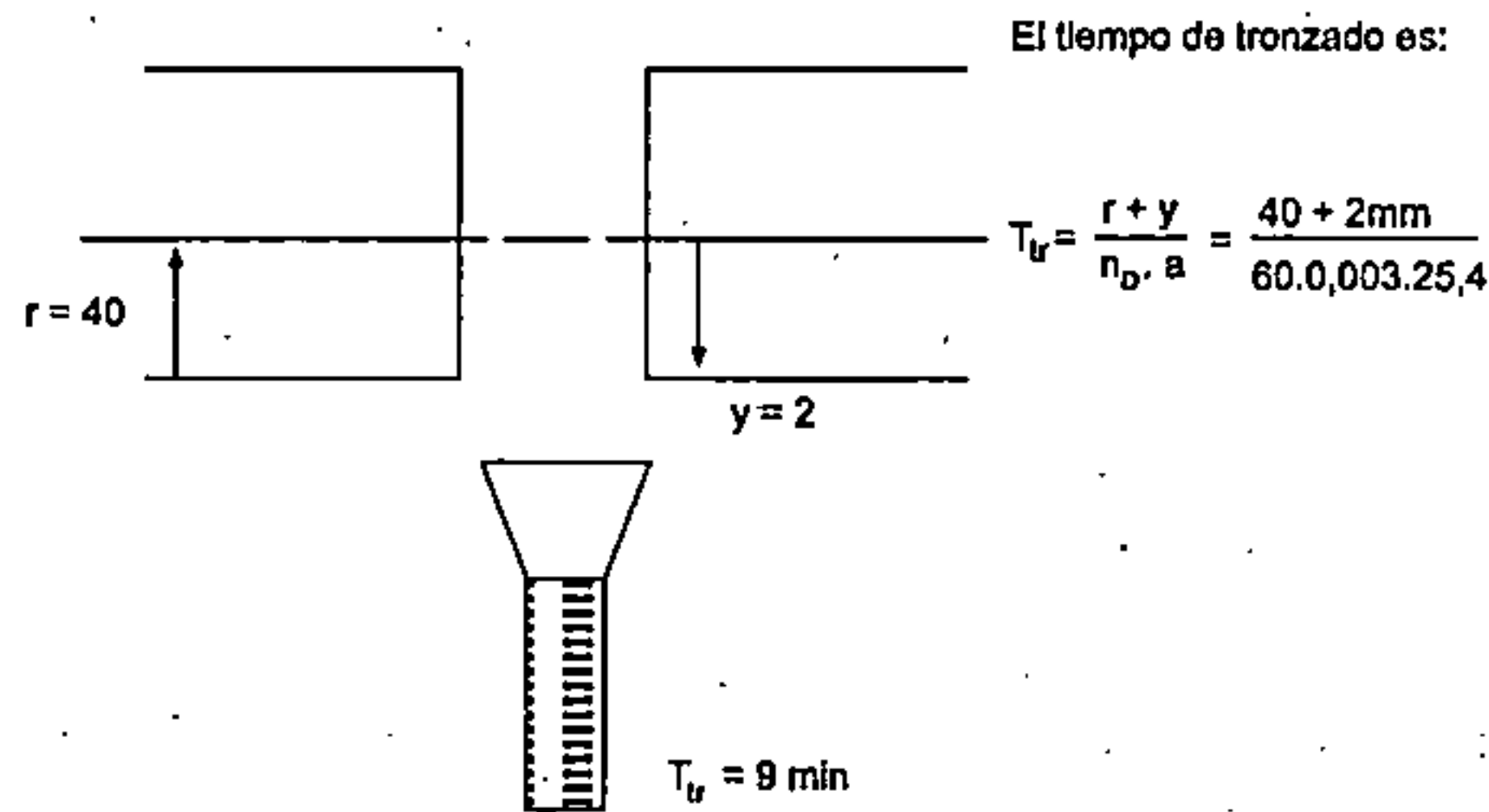
$$\text{O, también, } V_{D1} = \frac{\pi}{4} (80^2 - (80 - 2(1,6))^2) 300 = 118\text{ cm}^3$$

$$t_1 = \frac{L}{n_D \cdot a_D} = \frac{300\text{mm}}{60 \frac{\text{Rev.}}{\text{min}} \cdot 0,015 \frac{\text{pulg.}}{\text{Rev.}} \cdot \frac{25,4}{1\text{pulg.}}} = 13\text{min}$$

entonces:

$$Q = \frac{118\text{ cm}^3}{13\text{min}} = 9 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

- g. Asumiendo retiro $y = 2\text{mm}$, y cortando del lado no maquinado de 80 diám., entonces, el radio es 40mm.



h. El tiempo total de maquinado aproximado será: (ver también ítem 1.12)

$T_t = t_{\text{inst}} + t_{PT} + t_{rT} + t_{tr}$, donde t_{tr} es el tiempo de tronchado.

Sea el tiempo de pasada de desbaste: ($y = 2$, $\Delta = 1,6$, ver ítem 1.10)

$$tp_D = \frac{300 + 2 + 1,6}{60 \cdot 0,015 \cdot 25,4} = 13,3 \text{ min}$$

El tiempo de retorno será: $tr_D = 13,3 \text{ min}(0,5) = 6,65 \text{ min}$

El tiempo de acabado es: $tp_A = \frac{300 + 2 + 1,6}{90 \cdot 0,008 \cdot 25,4} = 16,6 \text{ min.}$

El tiempo de retorno será: $tr_A = 16,6 \text{ min}(0,5) = 8,3 \text{ min.}$

Finalmente:

$$T_t = 20 + 3(13,3) + 16,6 + 3(6,65) + 8,3 + 9 + 4,5$$

$$\text{o también } T_t = 20 + 1,5 [3(13,3) + 16,6 + 9]$$

$$T_t \approx 119 \text{ min}$$

i. Con pastilla carburada, el tiempo total de maquinado se reducirá sustancialmente, pudiendo ser menor que 60 minutos.

Problema 12

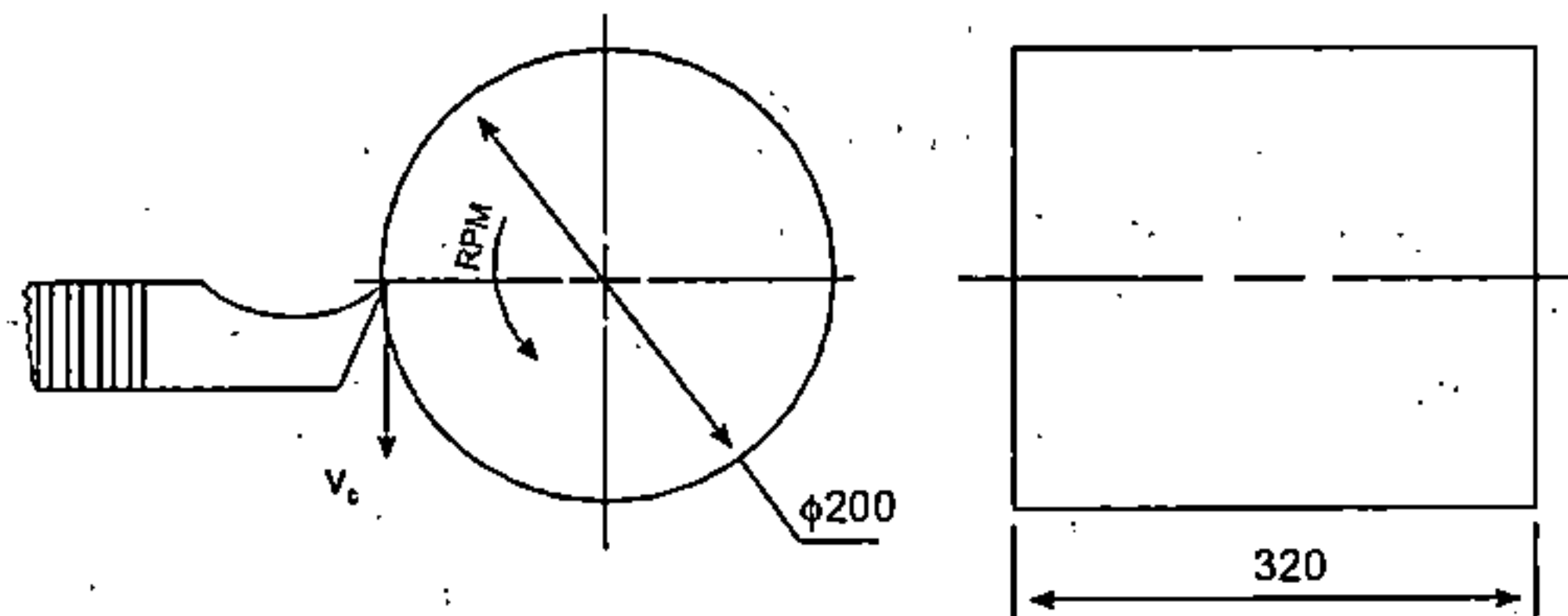
Dado un eje de 200mm de diámetro y 320mm de longitud se le quiere dar un acabado de cilindrado y se dispone de una cuchilla de acero rápido. El eje es de aluminio. Calcular la velocidad de giro que se debe usar en los siguientes casos 1 y 2.

Caso 1: Considerar velocidad de giro del *chuck* regulable en forma continua.

El rango de velocidades es $n = 0$ a 2000rpm.

Caso 2: Considerar el siguiente tablero de revoluciones del husillo del torno

Tablero						
(rpm)	10	20	50	<u>100</u>	150	300
	350	400	500	800	1000	—



Solución:

De la tabla 2 se tiene para el aluminio (Al), con cuchilla de acero rápido, acabado, una velocidad de corte: $v_c = 90 \text{ m/min}$.

Sea la velocidad tangencial de corte: $v_c = \frac{n \cdot d}{2}$, entonces despejando se obtiene:

$$n = \frac{2 (90 \text{ m/min})}{0.2 \text{ m}} \left(\frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \right)$$

donde: $n = 143.2 \text{ rpm}$.

Caso 1

Para un torno con velocidad continua, por ejemplo con sistema de regulación por poleas de caras separables, se escoge la velocidad de rotación calculado.

Para este caso será: $n = n_{\text{torno}} = 143 \text{ rpm}$

(se pueden obviar los decimales, pues, en la práctica las máquinas dan aproximaciones con ± 1 rpm de precisión)

Caso 2

Para un torno con caja de cambios de velocidad fija (el tablero) se tendrá posibilidades limitadas. Se selecciona la cercana inferior de los cálculos, para no exceder la velocidad de corte recomendada

$$\left(v_{\text{Real}} = n_{\text{torno}} \cdot \frac{d}{2} \right) \leq \left(v_c = n \cdot \frac{d}{2} \right)$$

entonces: $n_{\text{torno}} \leq n$
 $n_{\text{torno}} \leq 143\text{rpm}$

luego $n_{\text{torno}} = 100\text{rpm}$

Problema 13

Se desea torneear un eje de una pulgada de diámetro (1"φ) para un motor eléctrico de 2HP de potencia nominal. La longitud del eje debe ser de 32cm, y se cuenta para esto con una barra cuadrada de 30 x 30mm de material acero Böhler E920 (SAE 1020) de 40cm de largo. La tabla de rpm del *chuck* del torno a utilizar es la siguiente:

rpm torno		20	40	60	80
100	120	140	160	180	200
250	300	350	400	450	500
600	800	1000	1500	2000	2500

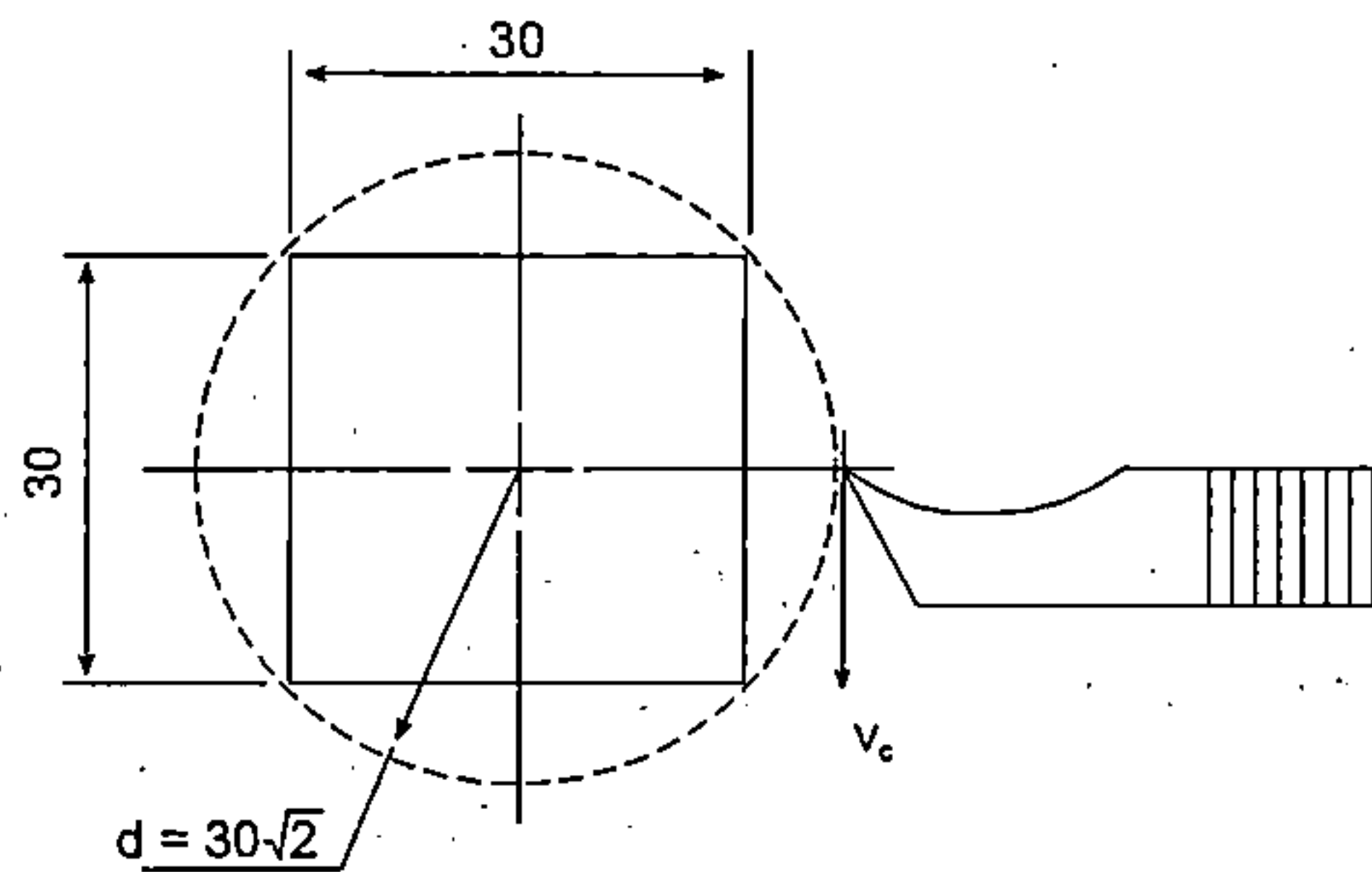
- ¿Qué rpm recomienda para el *chuck* del torno paralelo en el desbaste con cuchilla de acero rápido?
- Una vez que se ha cilindrado la barra a 1"φ ¿Cuántos segundos demora el tiempo de pasada para lograr el tronzado de corte a la longitud deseada de 32cm? La cuchilla de tronzado tiene un ancho de 3mm, y se puede considerar un avance de 0,15mm/rev, y una velocidad de corte de 35mm/min.
- ¿Cuántas pasadas de desbaste de igual profundidad se recomiendan, si la pasada de acabado puede ser entre 0,2 y 0,4mm y la de desbaste entre 0,5 y 3mm?
- ¿Cuál es el tiempo de pasada para dar el cilindrado de acabado de 1"? Se puede considerar un avance de 0,25mm/rev. y un ángulo de posición del filo de la cuchilla de 45°.

Solución:

- Según la tabla 2, la velocidad de corte v_c , en el desbaste es de 25m/min, y en el acabado 30m/min (material acero hasta SAE 1030 o acero al 0,35% carbono).

Del esquema:

$$n = \frac{2 v_c}{d} = \frac{2 \left(25 \frac{\text{m}}{\text{min}} \right)}{30 \sqrt{2} \text{ mm}} \cdot \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \cdot \frac{1 \text{ Rev}}{2 \pi \text{ rad}} = 188 \text{ RPM}$$



Según la tabla de rpm del torno, se selecciona la inmediata inferior

$$n_D = 180 \text{ rpm}$$

b. Según el esquema, el tiempo es: $t_r = \frac{r+y}{a \cdot n}$

$$n = \frac{2 v_c}{d_f} = \frac{25(35)}{25,4} \cdot \frac{1000}{2\pi} = 439 \text{ RPM}$$

De tablas, se obtiene: $n = 400 \text{ rpm}$

La velocidad lineal de la cuchilla de tronzado es:

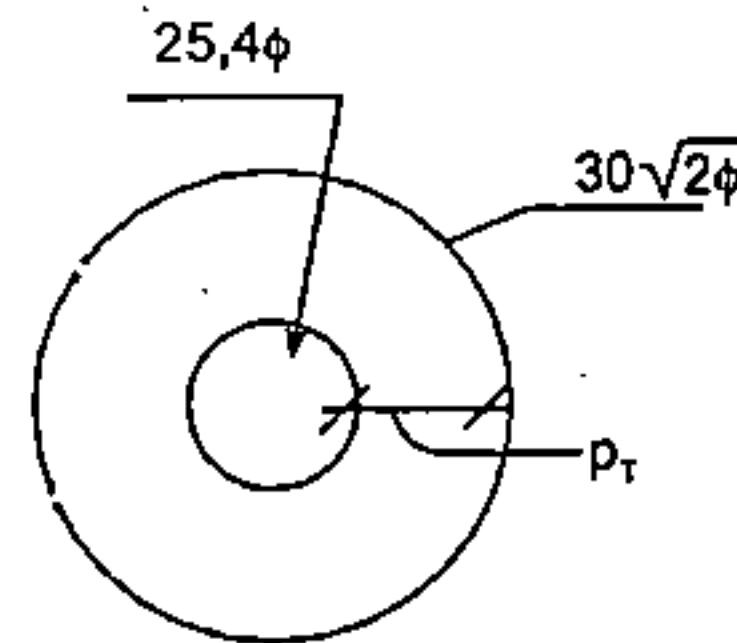
$$v_L = a \cdot n = 0,15 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 400 \frac{\text{rev}}{\text{min}} = 60 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

El tiempo es:

$$t_r = \frac{\frac{25,4}{2} + 2 \text{ mm}}{60 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = 0,245 \text{ min}$$

$$t_{tr} = 15 \text{ segundos}$$

c.



La pasada total es:

$$p_T = \frac{30\sqrt{2} - 25,4}{2} = 8,5\text{mm}$$

$$8,5\text{mm} = p_A + NP \cdot p_D$$

Observemos, según dato: $0,2 \leq p_A \leq 0,4$; $0,5 < p_D < 3$. Además, a mayor p_D , entonces habrá menor número de pasadas.

$$\begin{array}{llll} \text{Si } p_D = 3\text{mm}, & NP = 1 & \Rightarrow & p_A = 5,5\text{mm} \\ & = 2 & \Rightarrow & p_A = 2,5\text{mm} \\ & = 3 & \Rightarrow & p_A = -0,5\text{mm} \end{array}$$

$$\text{Si } p_D = 2,5\text{mm}, \quad NP = 3 \quad \Rightarrow \quad p_A = 1,0\text{mm}$$

$$p_D = 2,75\text{mm}, \quad NP = 3 \Rightarrow p_A = 0,25\text{mm}$$

Una de tantas buenas soluciones será:

$NP = 3$ pasadas de desbaste y 2,75mm de profundidad de pasada.
Además una pasada de acabado de 0,25mm.

d. Para dar el acabado el diámetro inicial es $d = 25,4 + 2 p_A = 25,4 + 2(0,25) = 25,9\text{mm}\phi$.

Se puede considerar una carrera de la cuchilla L_T , tal que: $L_T = 320 + y + \Delta$, donde 320mm es la longitud efectiva de corte, $y = 2\text{mm}$ de retiro de la cuchilla, $\Delta = 0,25\text{mm}$ de distancia por efecto del ángulo de posición del filo del útil de corte. Las rpm serán:

$$n = \frac{2(30)}{25,9} \cdot \frac{100}{2\pi} = 369\text{RPM}$$

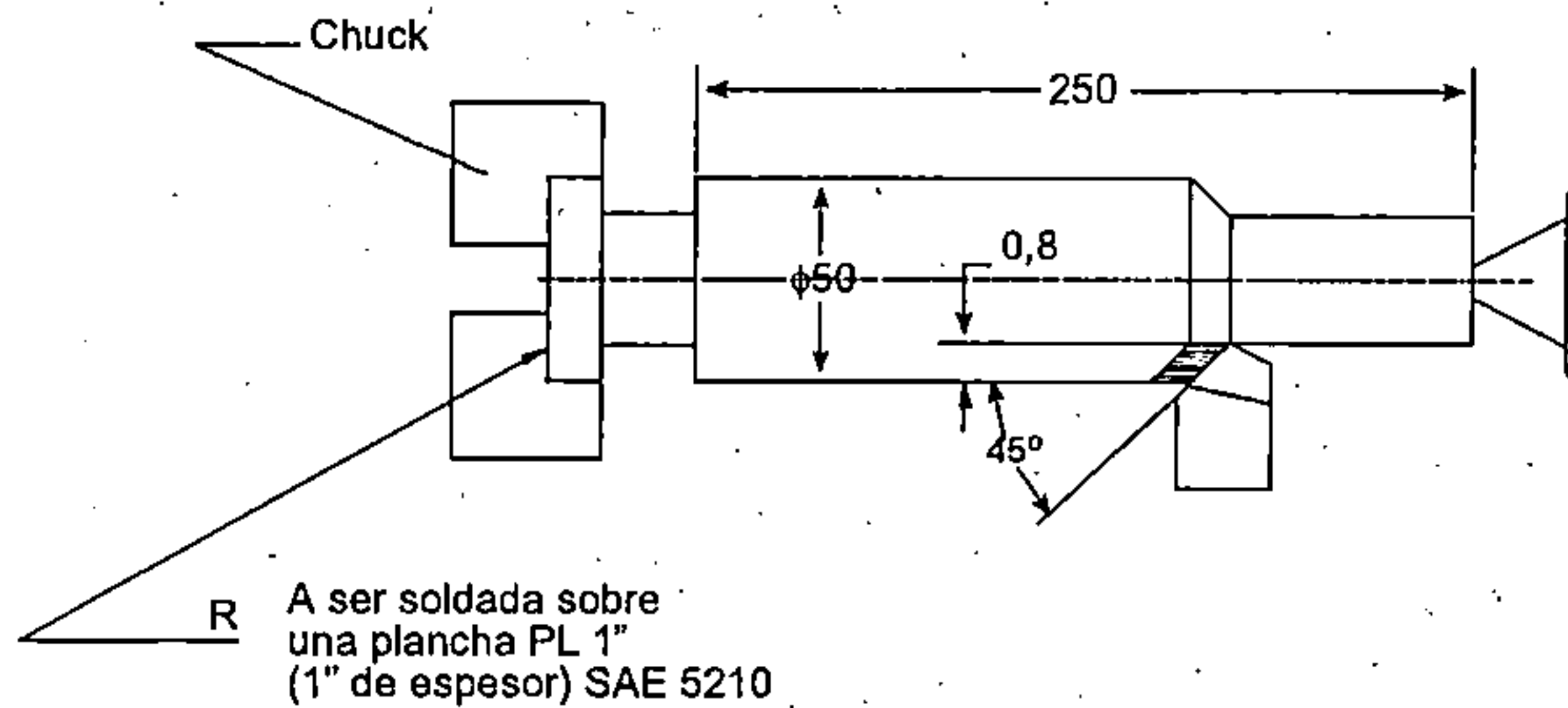
De tablas se tiene $n_A = 350\text{rpm}$.

$$\text{El tiempo de la pasada de acabado es: } t_A = \frac{(320 + 2 + 0,25)\text{mm}}{0,25 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 350 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} = 3,68\text{min}$$

$$t_A = 221\text{seg}$$

Problema 14

Se requiere torneear una pieza según la figura



Se realizará una pasada de acabado de 0,8mm de profundidad con un avance de 0,25mm por revolución del *chuck*. La velocidad de corte de la cuchilla es según el fabricante de 30m/min. La fuerza específica de corte es 15 KN/mm².

- Hallar la fuerza de corte de la cuchilla en KN.
- Hallar el tiempo real invertido en la pasada de corte, si es 20% mayor que el tiempo neto de corte.
- Hallar el caudal neto de viruta en cm³/min.
- Hallar la potencia requerida en KW para el torneado.

Solución:

- La fuerza de corte de la cuchilla es: $F_c = k_s \cdot A_c$
donde: F_c es una fuerza tangencial sobre el filo de la cuchilla, A_c es el área de la sección de la viruta, k_s es la fuerza específica de corte.

Nota: El espesor de viruta e coincide numéricamente con el avance a de la cuchilla. Entonces $e=0,25\text{mm}$, y $A_c = 0,8 \cdot 0,25$.

$$\text{Luego: } F_c = 15 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2} (0,8 \text{ mm} \cdot 0,25 \text{ mm}) = 3 \text{ KN}$$

- El tiempo real de pasada es:

$$t = \frac{250 + 2y + \Delta}{a \cdot n}$$

donde: $y = 2\text{mm}$ de retiro de la cuchilla a la derecha y a la izquierda de la pieza.
 $\Delta = 0,8\text{mm}$ por ángulo de posición

$$a \approx 0,25\text{mm/rev}$$

$$n = \frac{2(30)}{50} \frac{1000}{2\pi} = 191\text{RPM}$$

Luego: $t = 534\text{min} = 320\text{seg}$

c. El caudal neto de viruta es:

$$Q = v_L \cdot A_p, \quad \text{o} \quad Q = \frac{V_1}{t_1}$$

$$v_L = a \cdot n = 47,75 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \text{ es la velocidad lineal de la cuchilla.}$$

$A_p = \pi d_p \cdot p = \pi(50-0,8)0,8 = 123,7\text{mm}^2$ es el área de la periferie o redondo de la viruta. Luego

$$Q = 5,9 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$\text{O también } V_1 = 250 \frac{\pi}{4} (50^2 - (50 - 2(0,8))^2) \text{mm}^3 = 30,9\text{cm}^3, \quad t_1 = \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 5,24\text{min}, \text{ luego } Q = 5,9 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}.$$

d. La potencia requerida es:

$P_C = F_C \cdot v_C$, donde, F_C es la fuerza de corte ($F_C = 3\text{kN}$, según punto a), y

$$v_C = 30 \frac{\text{m}}{\text{min}}. \text{ Luego: } P_C = 3\text{kN} \cdot 30 \frac{\text{m}}{\text{min}} \frac{1\text{min}}{60\text{s}}, \quad P_C = 1,5\text{kw}$$

Problema 15

En un torno horizontal serán mecanizadas barras cilíndricas de 207mm de largo y 60mm de diámetro. En cada una de ellas se desea cilindrar hasta 48,4mm de diámetro.

Para el avance se utiliza 0,2 y 0,8mm/rev, y la velocidad de rotación a usar en el del husillo es 128 y 207rpm respectivamente. Se ha programado el siguiente procedimiento:

- Tres pasadas de desbaste de igual profundidad a lo largo de los 207mm. Se ha considerado un exceso de 30mm de largo para la sujeción de las barras al *chuck* del torno.
- Una pasada de acabado con 0,4mm de profundidad de pasada.

Determinar:

- la velocidad de corte que recomienda para el desbaste según los valores indicados.
- la velocidad de corte que recomienda para el acabado.
- el caudal de viruta arrancado en la primera pasada de desbaste en centímetros cúbicos por minuto.
- el tiempo neto o teórico para realizar toda la operación de desbaste.
- el tiempo neto o teórico para realizar toda la operación de acabado.

Solución:

- El criterio de selección para el desbaste es velocidades angulares, menores que para el acabado, y avance del *chuck* (n_D) de la cuchilla a_D mayores que para el acabado.

$$n_D = 128 \text{ RPM}, \quad a_D = 0,8 \frac{\text{mm}}{\text{Rev}}$$

$$\text{La velocidad de corte es: } v_c = n_D \frac{d}{2} = 128 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{2} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ Rev}}$$

$$V_c = 24,13 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- El criterio inverso al caso a: $n_A = 207 \text{ rpm}$, $a_A = 0,2 \text{ mm/Rev}$.

La velocidad corte es: $V_C = n_A \frac{d_A}{2}$, donde d_A es el diámetro mayor previo al acabado, es decir:
 $d_A = 48,4 + (0,4)2 = 49,2$.

$$\text{Entonces: } v_c = 207 \left(\frac{49,2}{2} \right) \frac{2\pi}{1000} = 32,00 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- El caudal es $Q = \frac{V}{t} = v_L \cdot A_p$. La velocidad lineal es $v = a_D \cdot n_D =$

$$0,8 \frac{\text{mm}}{\text{Rev}} \cdot 128 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} = 102,4 \frac{\text{mm}}{\text{min}}, \text{ y el área transversal o periférica}$$

es:

$$A_p = \pi(d-p)p = \pi(60-1,8)1,8 = 329 \text{ mm}^2. \text{ Luego: } Q = 102,4(329) = 33,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

El tiempo teórico es el tiempo durante el arranque de viruta a lo largo de los 207mm. Luego por cada pasada de desbaste se tiene:

$$t = \frac{207\text{mm}}{n_D \cdot a_D} = \frac{207\text{mm}}{102,4 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = 2,02\text{min}$$

El tiempo total por 3 pasadas es $t_{TD} = 6,06\text{min}$

Para el acabado se tiene: $t = \frac{207\text{ mm}}{207 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \left(0,2 \frac{\text{mm}}{\text{Rev}} \right)}$, $t_{TD} = 5,0\text{min}$

CAPÍTULO V

LA FRESADORA

1. INTRODUCCIÓN

La fresadora es una máquina herramienta con arranque de viruta, donde el movimiento principal o de corte lo realiza la cuchilla llamada fresa y el avance o movimiento lineal lo realiza la pieza a ser maquinada. Se debe notar que en los trabajos con el torno, es la pieza a ser maquinada la que produce el movimiento principal y el útil de corte realiza el movimiento secundario o de avance.

La figura 1 muestra una herramienta o fresa de 11 labios. Para su montaje al husillo o eje principal de la fresadora, ésta tiene en su agujero central un canal chavetero, el cual, a través de la chaveta cuadrada, recibe la potencia y el movimiento de corte necesario.

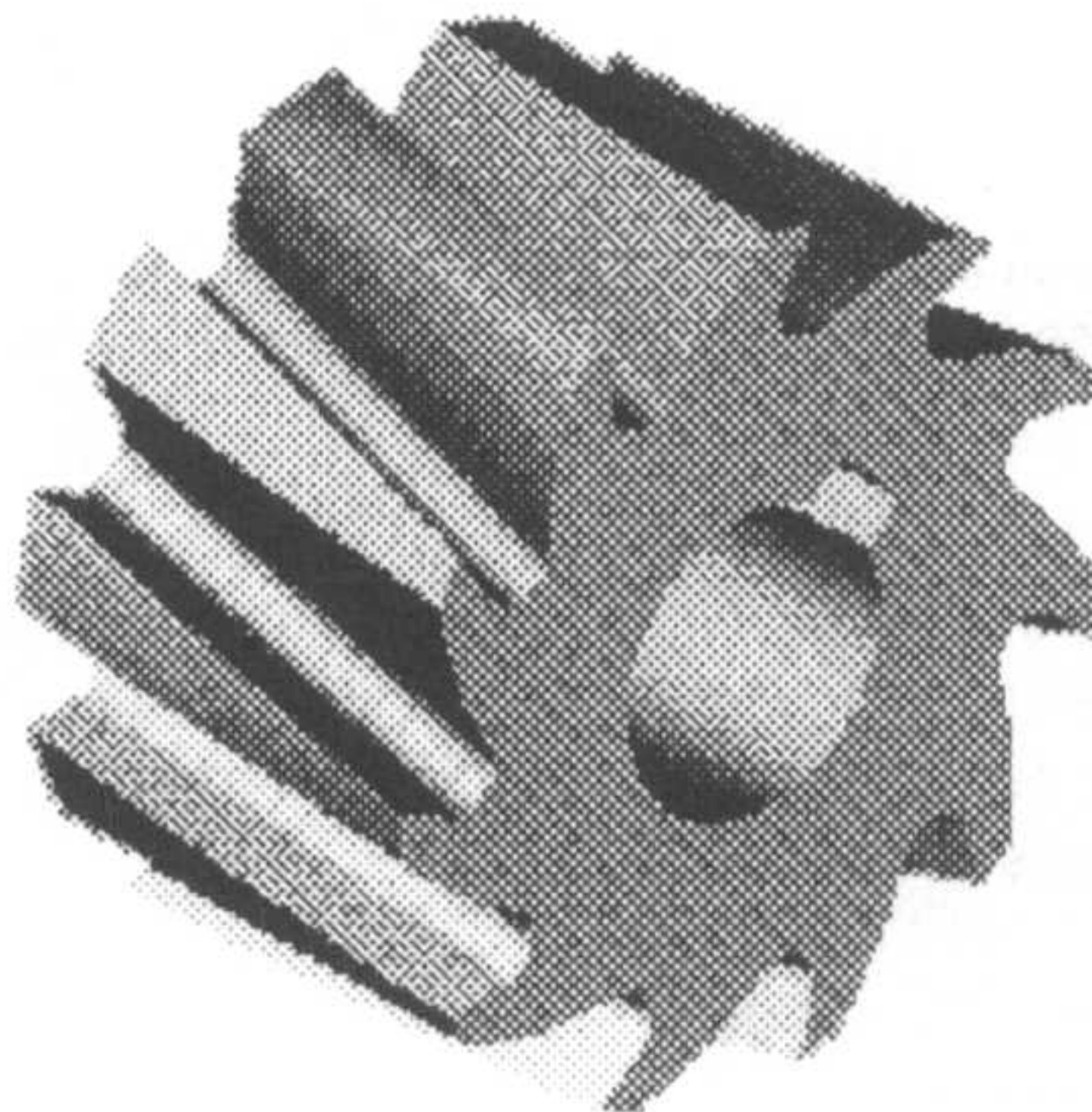


Figura 1. Fresa cilíndrica de once labios. Su agujero tiene un canal chavetero rectangular. Este útil de corte permite arrancar viruta a superficies metálicas planas.

1.1 Fresado. Partes de la fresadora

El fresado consiste en realizar todas las operaciones de arranque de viruta con la fresadora. Es importante observar que una fresadora realiza fundamentalmente trabajos sobre superficies planas o curvas, en donde el esfuerzo principal de trabajo del eje de la máquina es por flexión. Podemos observar en la figura 2, que en trabajos de taladrado lo que prima es el esfuerzo axial.

Los trabajos de fresado o maquinado de metales son aplicables principalmente en superficies planas, o también en la elaboración de perfiles de filetes, o generación de engranajes. Asimismo, se pueden tallar guías para cabeza de pernos o de tipo cola de milano, entre otras.

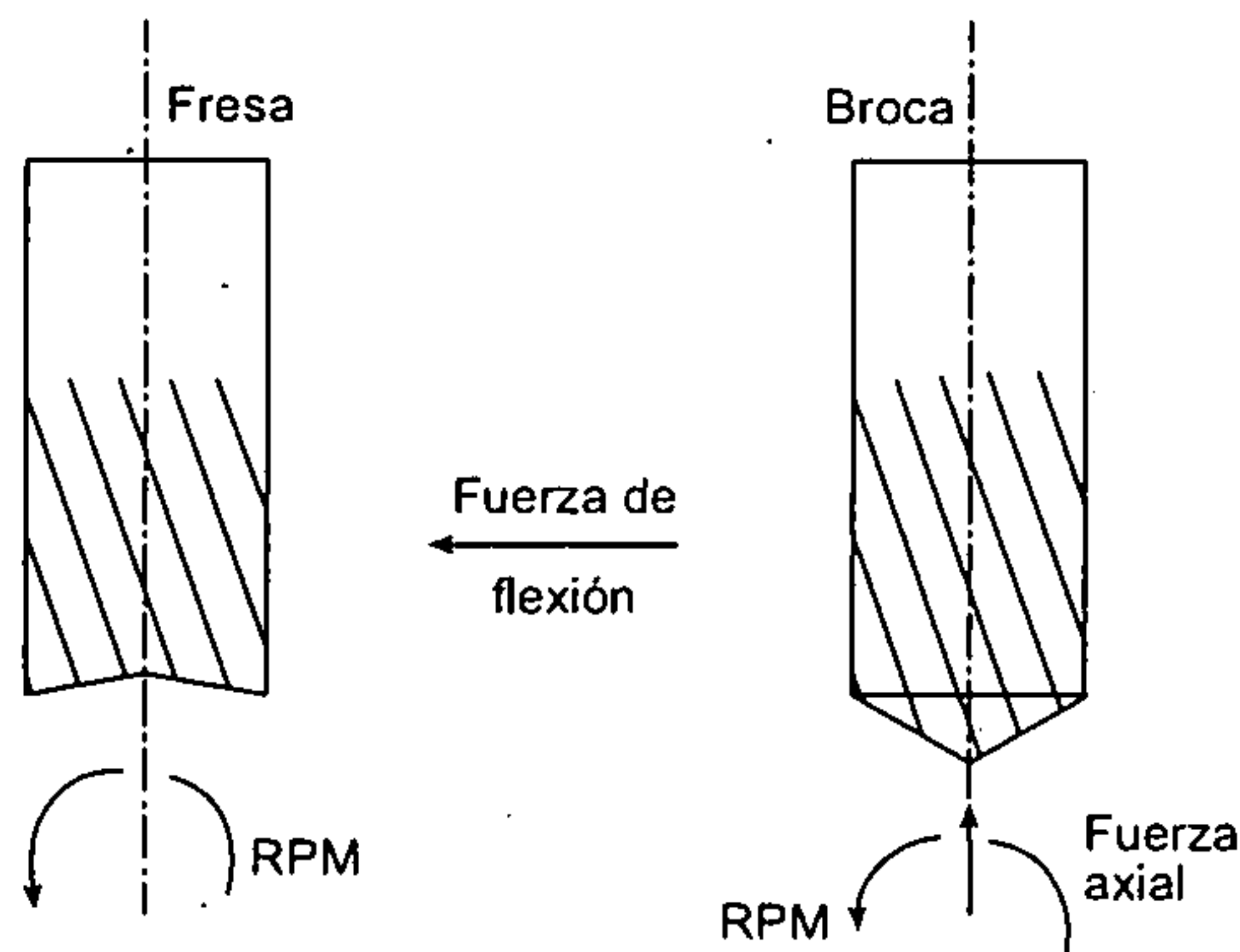


Figura 2. Comparación entre fuerzas de flexión y axial respecto de una fresa vertical y una broca.
La fresa corresponde a la fresadora y la broca al taladro de columna.

Partes de la fresadora

Las fresadoras tienen generalmente la posibilidad de instalar su husillo principal en posición vertical u horizontal. Para efectos de conocer las partes esenciales de una fresadora se describe aquí una máquina con el eje horizontal y, por lo tanto, la herramienta o fresa puede realizar un fresado cilíndrico o periférico. Los detalles se observan en la figura 3.

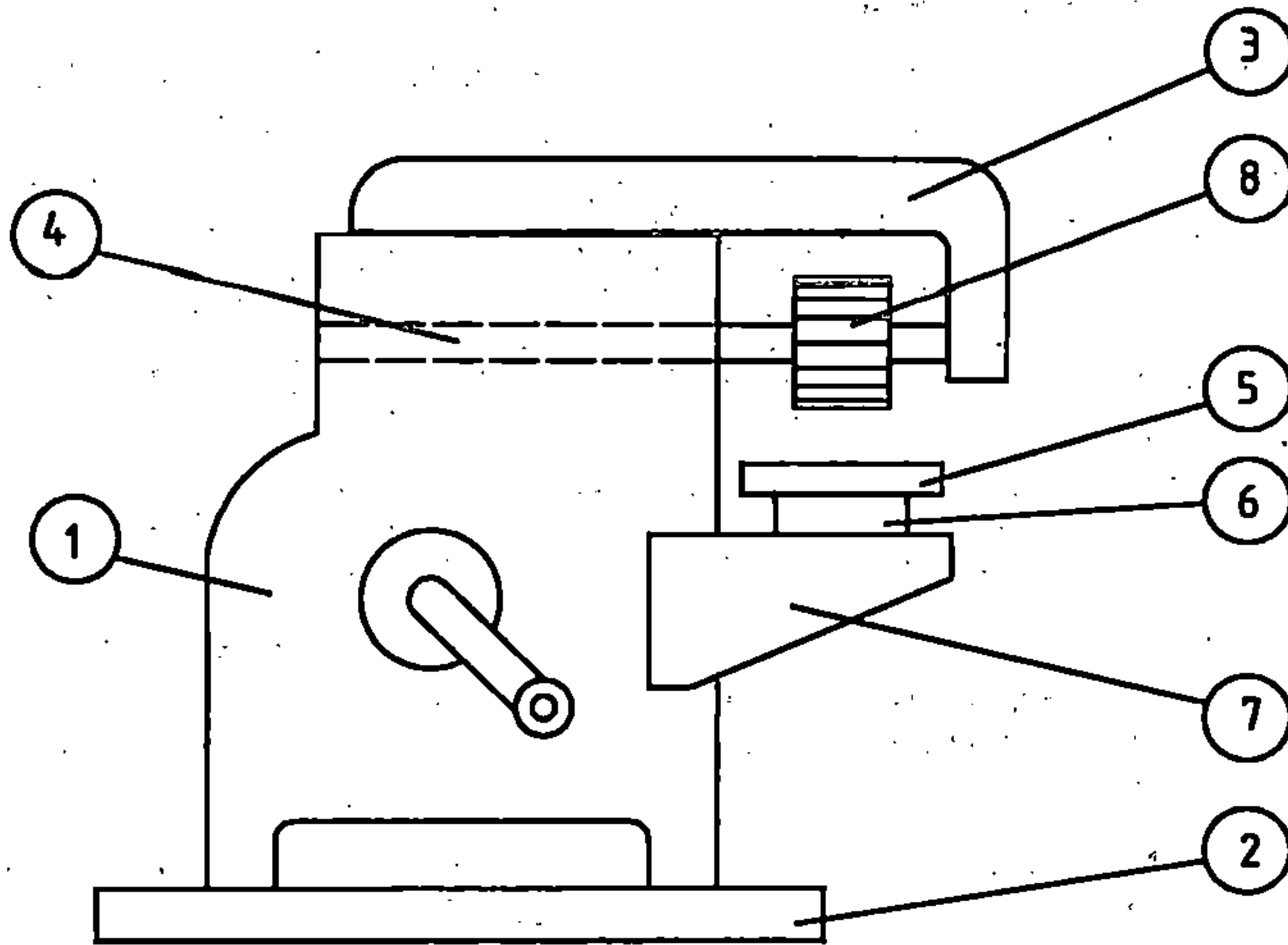


Figura 3. Partes principales de una fresadora de eje horizontal: (1) columna, (2) base, (3) brazo deslizante o carnero, (4) husillo o árbol portafresas, (5) mesa portadora de pieza a maquinar, (6) carro transversal, (7) ménsula de movimiento vertical, (8) fresa o herramienta de corte.

La pieza o material a maquinar se monta sobre la mesa portadora (5) y el acercamiento vertical hacia la fresa (8), lo realiza la ménsula o rodilla (7). Con ayuda de un mecanismo de transmisión de engranajes cónicos, se logra instalar el husillo (4) en posición vertical en la zona de la herramienta de corte (8).

1.2 Formas de fresado y tipos de fresadora

Las formas o procedimientos de fresado y los tipos de máquinas fresadoras van generalmente unidas por el tipo de trabajo que se realiza. Un fresado cilíndrico, periférico o tangencial requiere, generalmente, de una máquina de fresar de árbol horizontal, mientras que un procedimiento de fresado vertical necesita una fresadora de eje vertical.

Formas de fresado

- **Fresado cilíndrico.**- El fresado cilíndrico también es conocido como fresado periférico o tangencial. Además, por la posición del eje de la fresa, se le puede considerar, en muchos casos, como fresado de eje horizontal (figura 4). En el fresado cilíndrico el eje de la fresa está en disposición paralela a la superficie de trabajo. La fresa tiene forma cilíndrica y arranca la viruta con los filos de su periferia. Las virutas toman una forma de cuñas o comas.

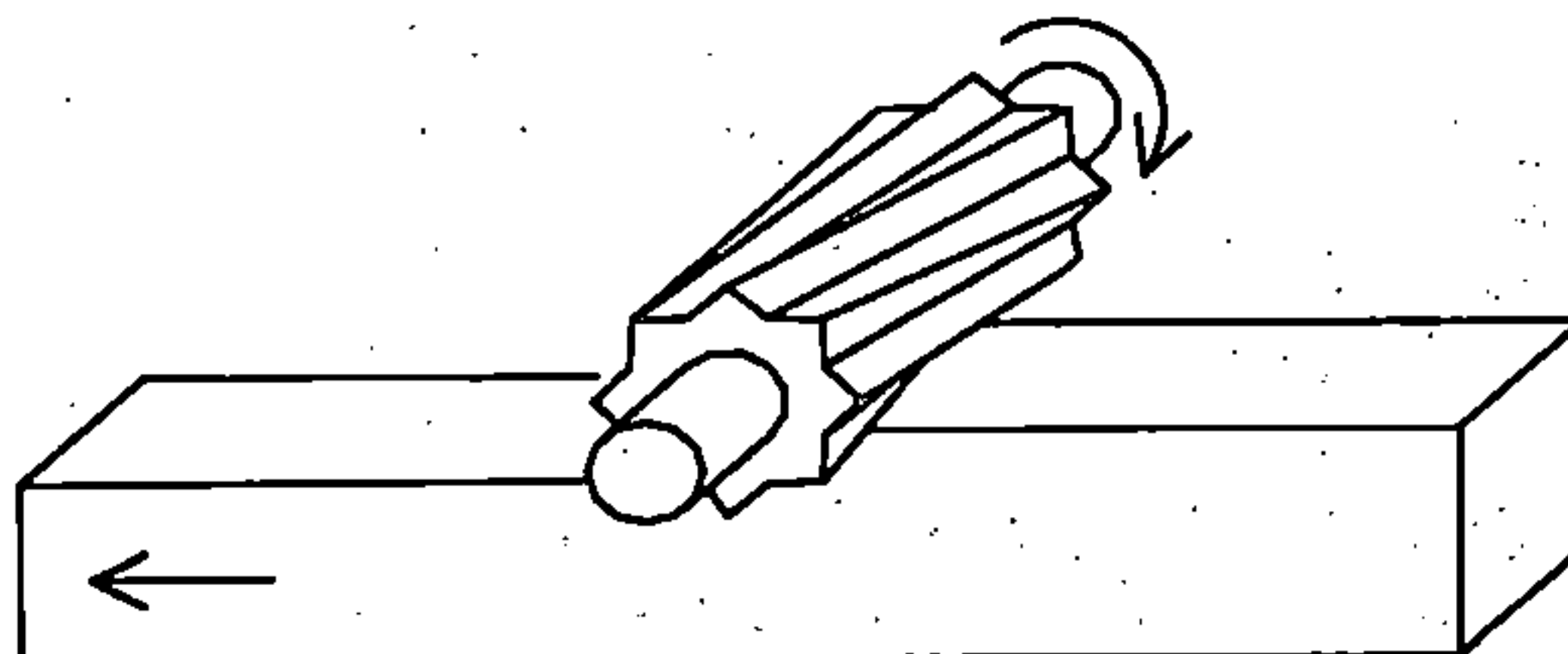


Figura 4. Fresado cilíndrico, periférico o tangencial.
La fresa tiene 8 labios y el fresado es en sentido paralelo.

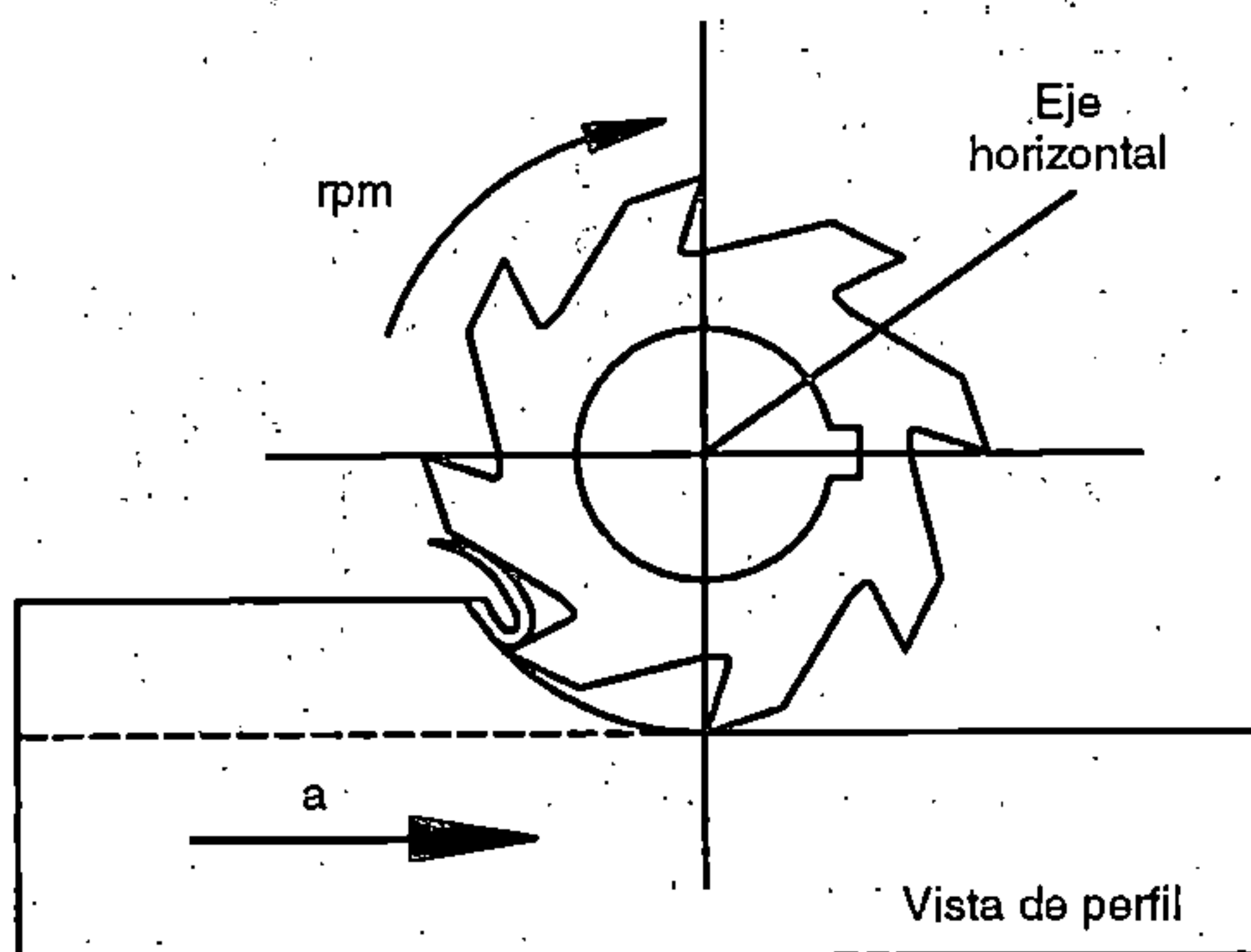


Figura 5. Fresado cilíndrico de una superficie plana con una fresa cilíndrica de 8 labios.
El fresado es en contradiirección y la fresa tiende a levantar el material de trabajo.
La forma de la viruta se asemeja a una coma.

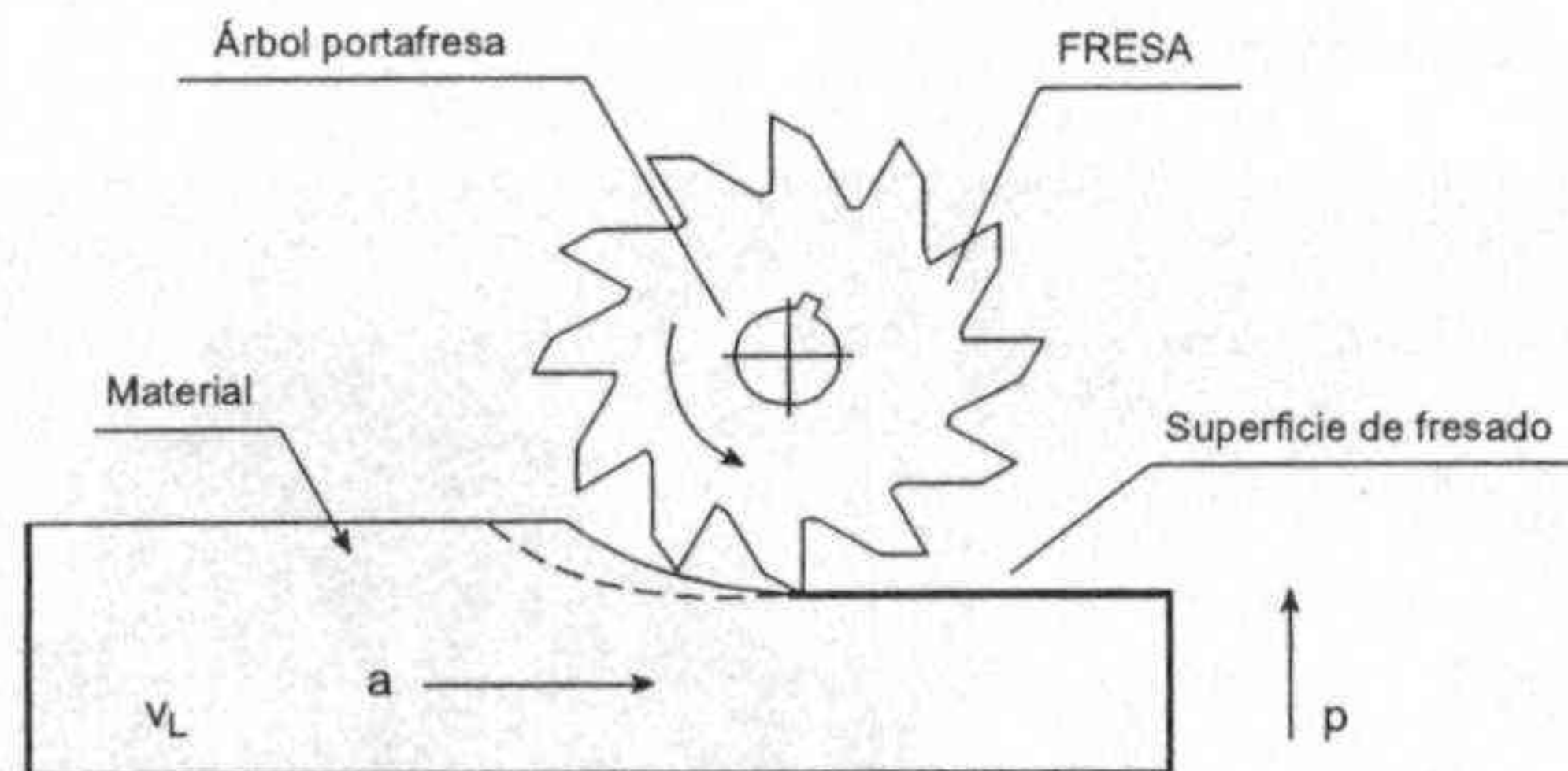


Figura 6. Fresado cilíndrico en sentido paralelo al avance de la pieza. La fresa empuja la pieza hacia abajo, haciendo este proceso adecuado para el maquinado de planchas delgadas.

- *Fresado frontal.*- El fresado frontal también es conocido como fresado plano. Además, por la posición del eje de la fresadora puede ser considerado en la mayoría de los casos como fresado vertical.

En el fresado frontal el eje de la fresa está en posición normal o perpendicular a la superficie de trabajo. En este caso, la fresa corta el material con los filos de su periferia y con los filos de su cara frontal. La viruta obtenida en este procedimiento es de espesor uniforme.

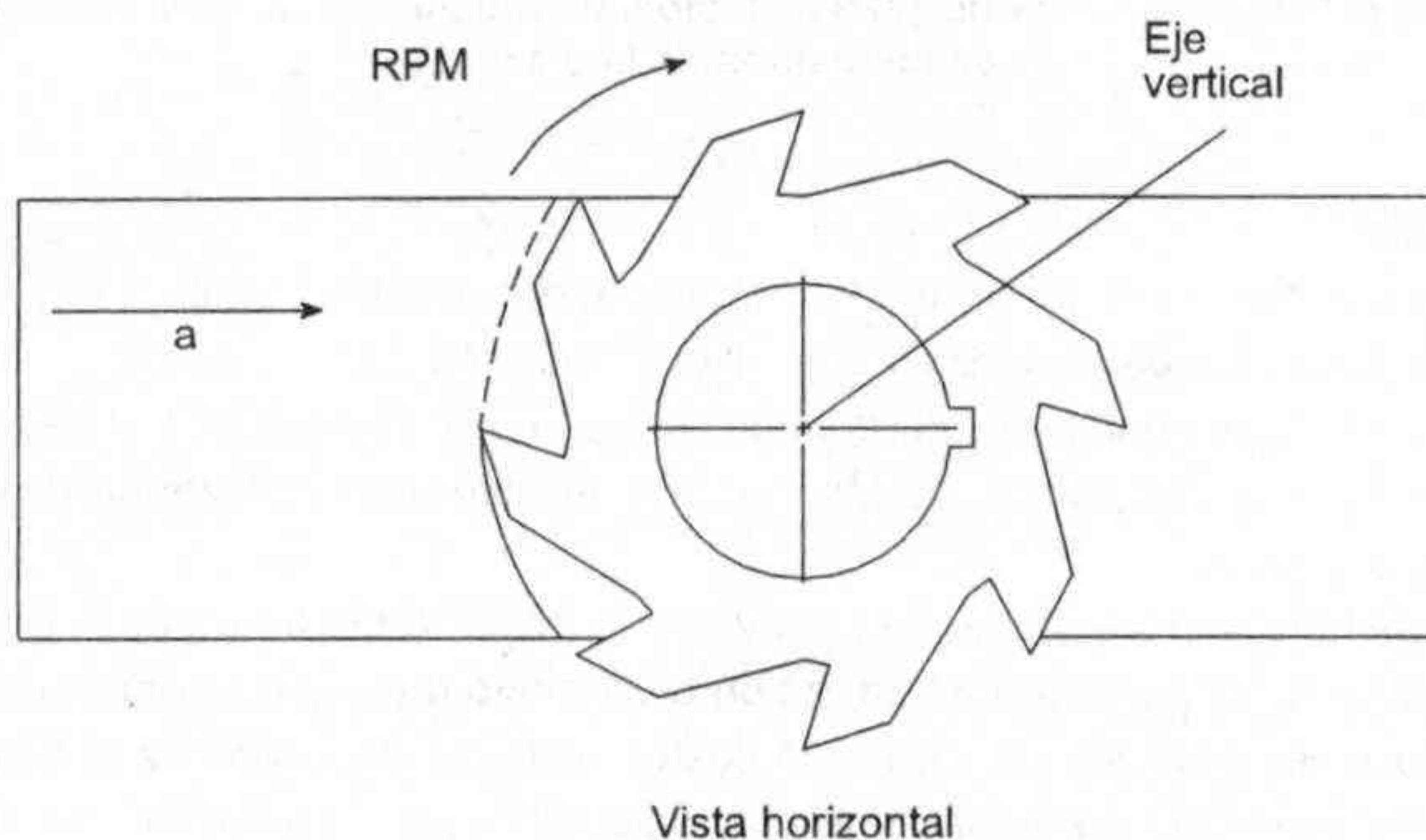


Figura 7. Fresado frontal con herramienta de 8 labios. La fresa corta con su periferia y con su cara frontal.

Se puede observar en la figura 8 que si el eje de la herramienta es paralelo a los cantos superficiales de la pieza que se muestra, entonces el fresado es cilíndrico, a pesar de que el eje de la fresa está en posición vertical.

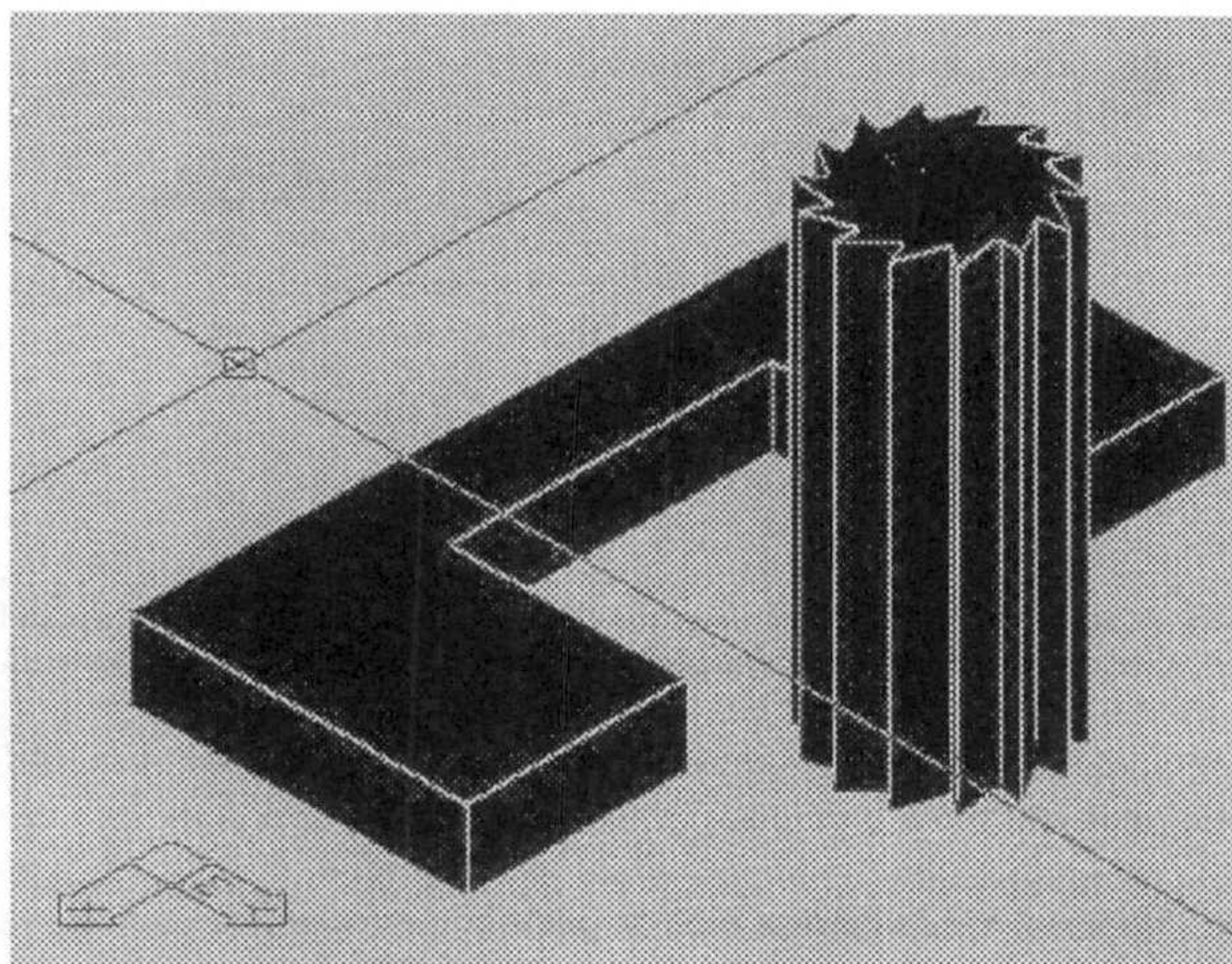


Figura 8. Fresa cilíndrica de catorce labios. Se muestra el fresado cilíndrico de los cantos de la pieza.

Tipos de fresadora

- *Fresadora horizontal.*- Esta máquina se caracteriza por tener el husillo de fresar en posición horizontal. Esta fresadora permite realizar múltiples trabajos de fresado. El husillo horizontal es sostenido por el cuerpo superior o carnero de la fresadora. Este carnero tiene un sistema de guía tipo cola de Milano, que permite un desplazamiento suave y seguro de los soportes colgantes. Los detalles de la fresadora universal se pueden apreciar en la figura 3. El brazo deslizante, llamado carnero en el lenguaje industrial, es un dispositivo guía que permite ubicar el extremo del husillo en diferentes posiciones, y da más flexibilidad a la ubicación de la fresa.
- *Fresadora vertical.*- Esta máquina tiene el husillo de fresar en posición vertical. Por lo tanto, el eje del cabezal portafresas o chuck portafresas también está en posición vertical. Con este tipo de fresadora se realizan generalmente trabajos de fresado frontal, y usualmente la fresa será de vástago, para poder montarla en el cabezal portafresas. En algunos casos, se pueden realizar trabajos con el husillo de fresar inclinado. La figura 9 muestra una fresadora de eje vertical, en donde la diferencia principal con la fresadora de eje horizontal se da en la posición del husillo.

Además, con la fresadora vertical se pueden usar fresas de corte de diámetros menores que con la fresa de husillo horizontal. Con la fresadora vertical se puede llegar incluso a diámetros de 2mm o 1mm, muy apropiados para algunos canales chaveteros.

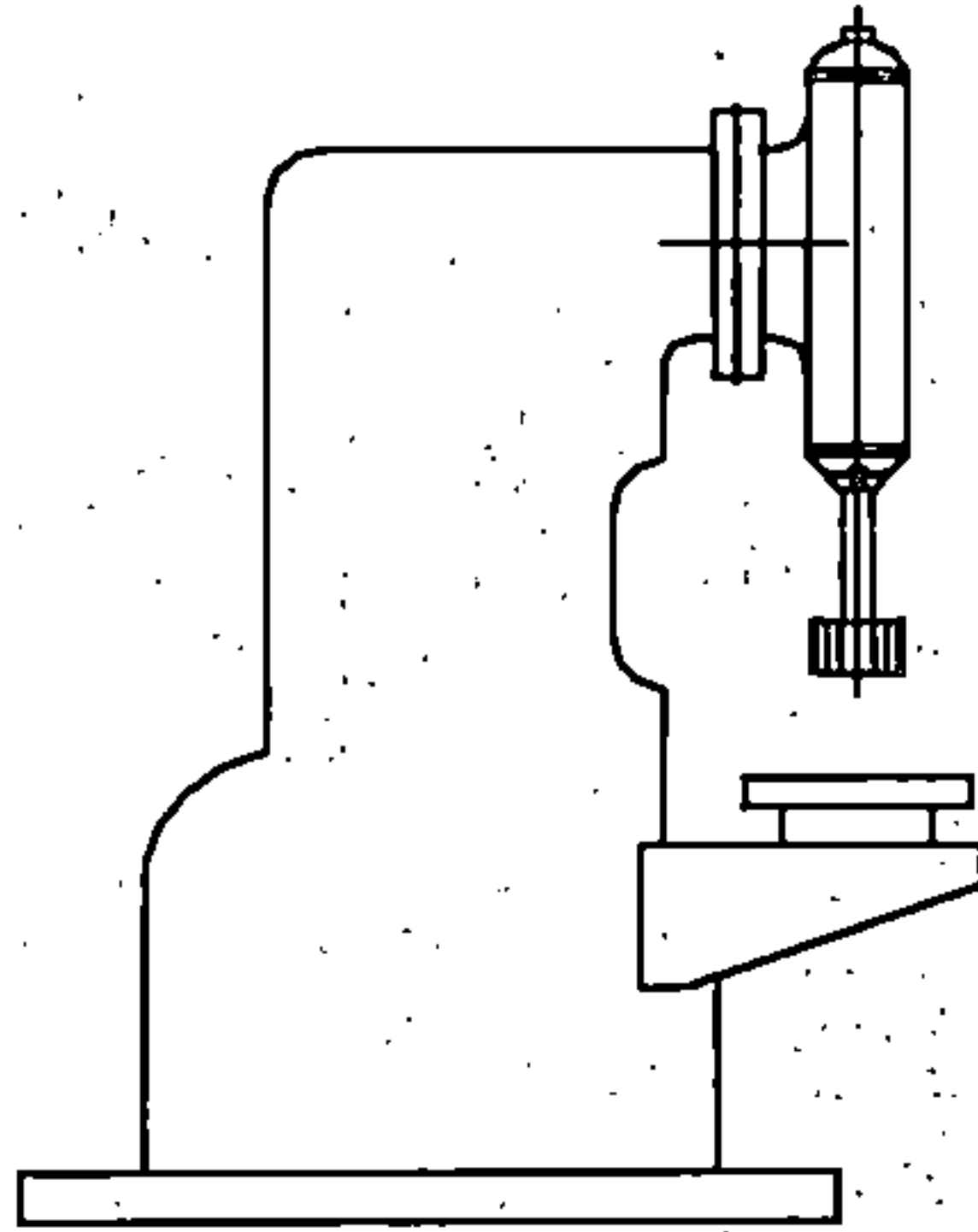


Figura 9. La fresadora vertical. En su cabezal portaherramientas la máquina muestra una fresa de vástago.

- **Fresadora universal.**- La fresadora universal permite colocar el husillo portafresas en forma horizontal o, a través de un sistema de acople por engranajes cónicos, colocar el cabezal portafresas en la posición vertical. De esta manera, este tipo de fresadora permite cubrir los diferentes procedimientos de trabajo con una fresa.

La figura 10 muestra el esquema de una fresadora universal. En ella se muestran sus partes principales con las volantes para accionamiento longitudinal, transversal y vertical de la mesa de trabajo. El eje motriz se encuentra en posición horizontal y, colocando el cabezal vertical, se puede extender dicho eje motriz a la posición vertical.

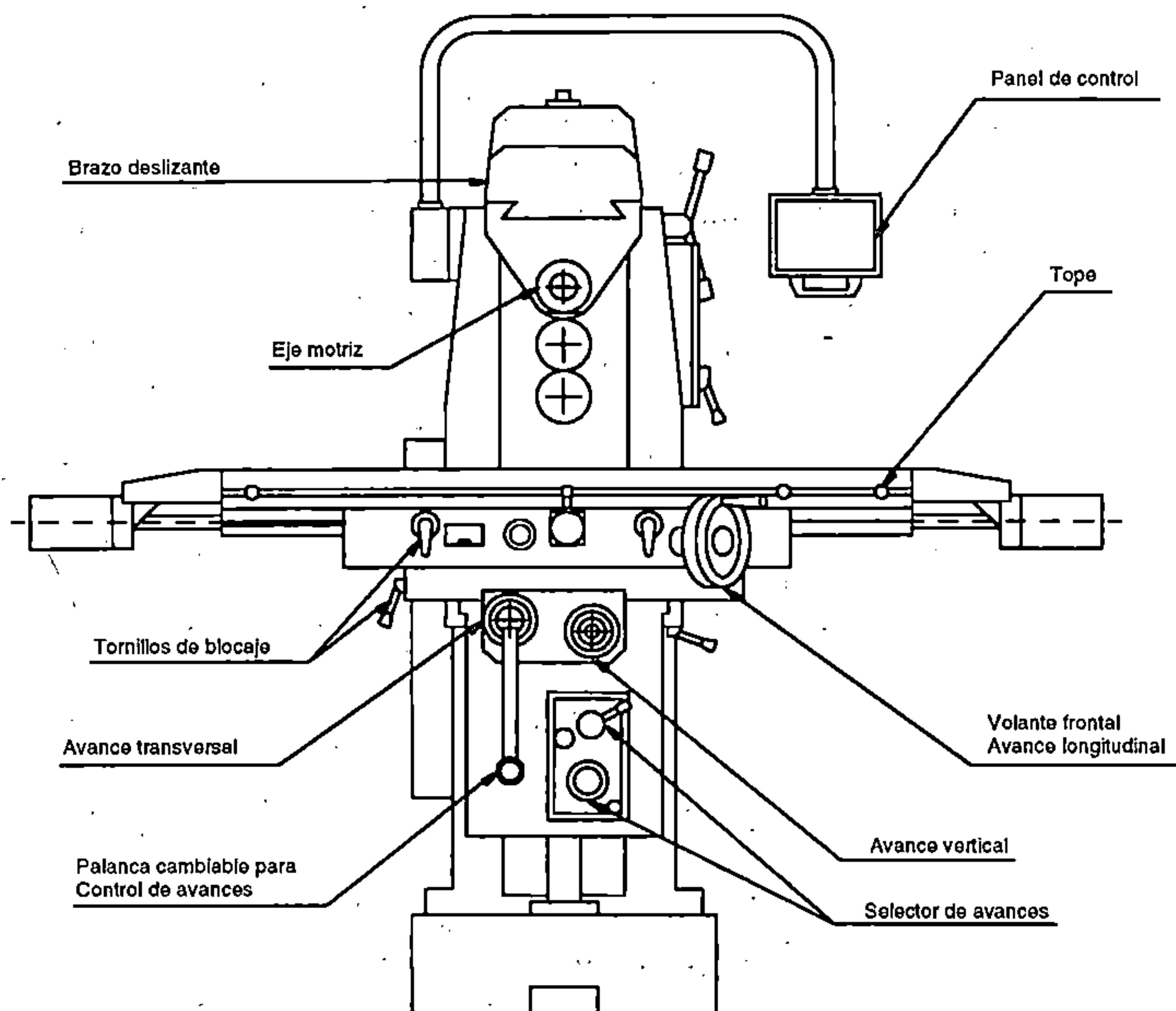


Figura 10. La fresadora universal y sus partes principales. El panel de control puede contener un visor que permite localizar las coordenadas X, Y, Z de los tres grados de movimiento de trabajo de una pieza.

1.3 Tipos de herramienta o fresa. Fresas tipo roseta. Fresas de vástago

Tipos de herramienta o fresa

Las herramientas de corte de las fresadoras se llaman fresas, pues el procedimiento de maquinado es el fresado de piezas.

- *Fresas tipo roseta.*- Las fresas que tienen un agujero con canal chavetero pueden ser llamadas rosetas o simplemente fresas. Estas fresas son utilizadas generalmente en la fresadora de husillo horizontal y en trabajos de fresado cilíndrico o periférico. La figura 1 muestra una roseta de once labios, que sirve para maquinar superficies planas.
- *Fresas de vástago.*- Cuando se trabaja con la fresadora de eje vertical, el cabezal portafresa tiene su eje en posición vertical y la fresa tiene un vástago para la sujeción de la herramienta a dicho cabezal. Si la fresa no lleva un vástago, se debe acondicionar un eje para el accionamiento y trabajo de la herramienta, pero la fresa ya no sería de vástago.

Las fresas de vástago realizan generalmente trabajos de fresado frontal o plano. Las figuras 15, 16 y 17 muestran algunos casos.

1.4 Fresas más comunes y su utilidad

- *Fresa cilíndrica recta.*- La fresa cilíndrica sirve para realizar trabajos de fresado de planitud de superficies. Las superficies pueden ser planas totalmente o en forma angular planas. Los esquemas de las figuras 11 y 12 muestran estos casos.

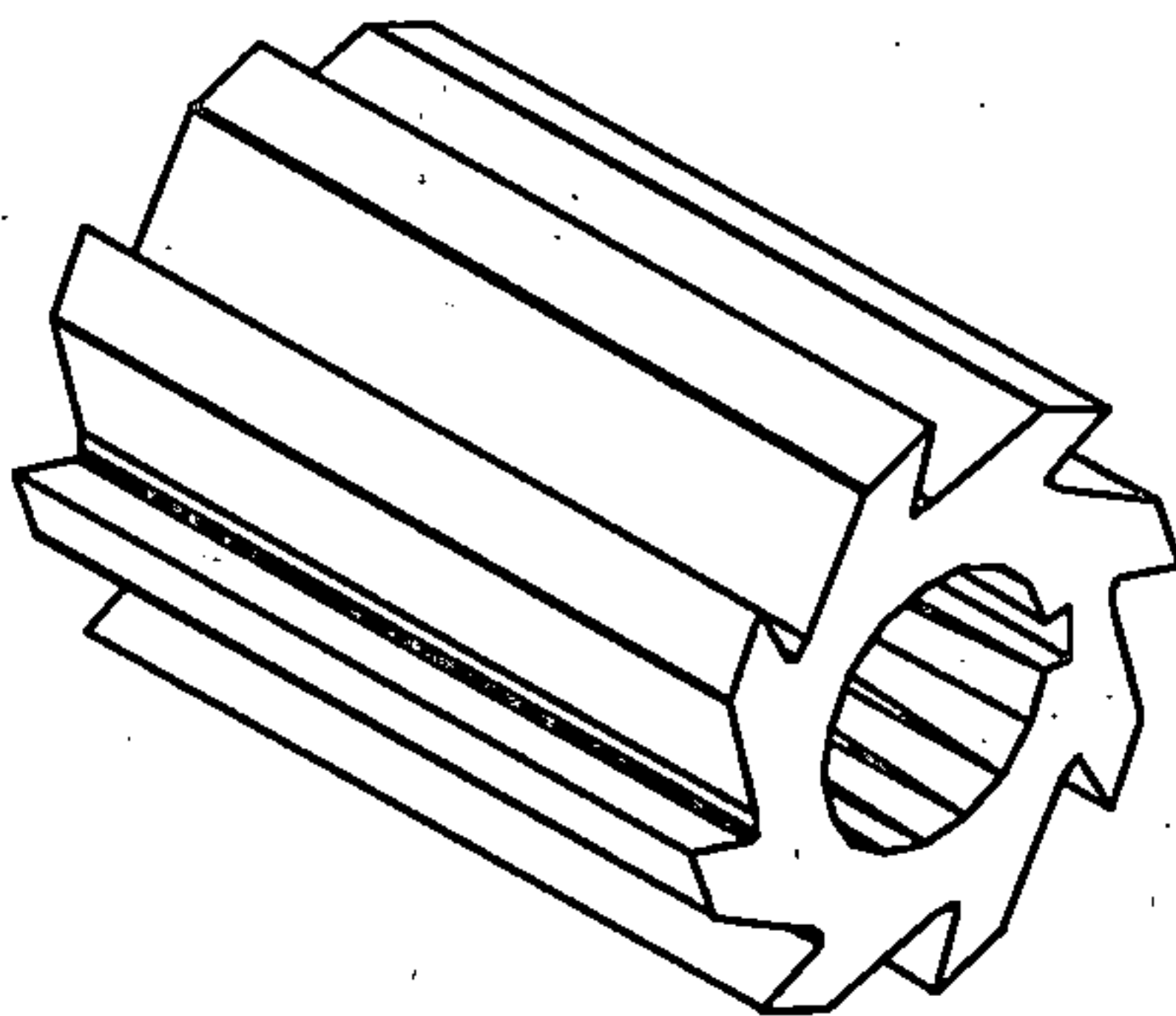


Figura 11. Fresa cilíndrica de 8 labios. Sirve para realizar trabajos de maquinado plano.

- **Fresa cilíndrica helicoidal.**- Este tipo de herramienta realiza los mismos trabajos de maquinado que la fresa cilíndrica recta, pero el acabado de la superficie fresada es de mejor calidad, gracias a la forma helicoidal de sus labios que permite una entrada de corte del material más regular y continua, evitando en parte los saltos propios de la viruta en forma de coma.

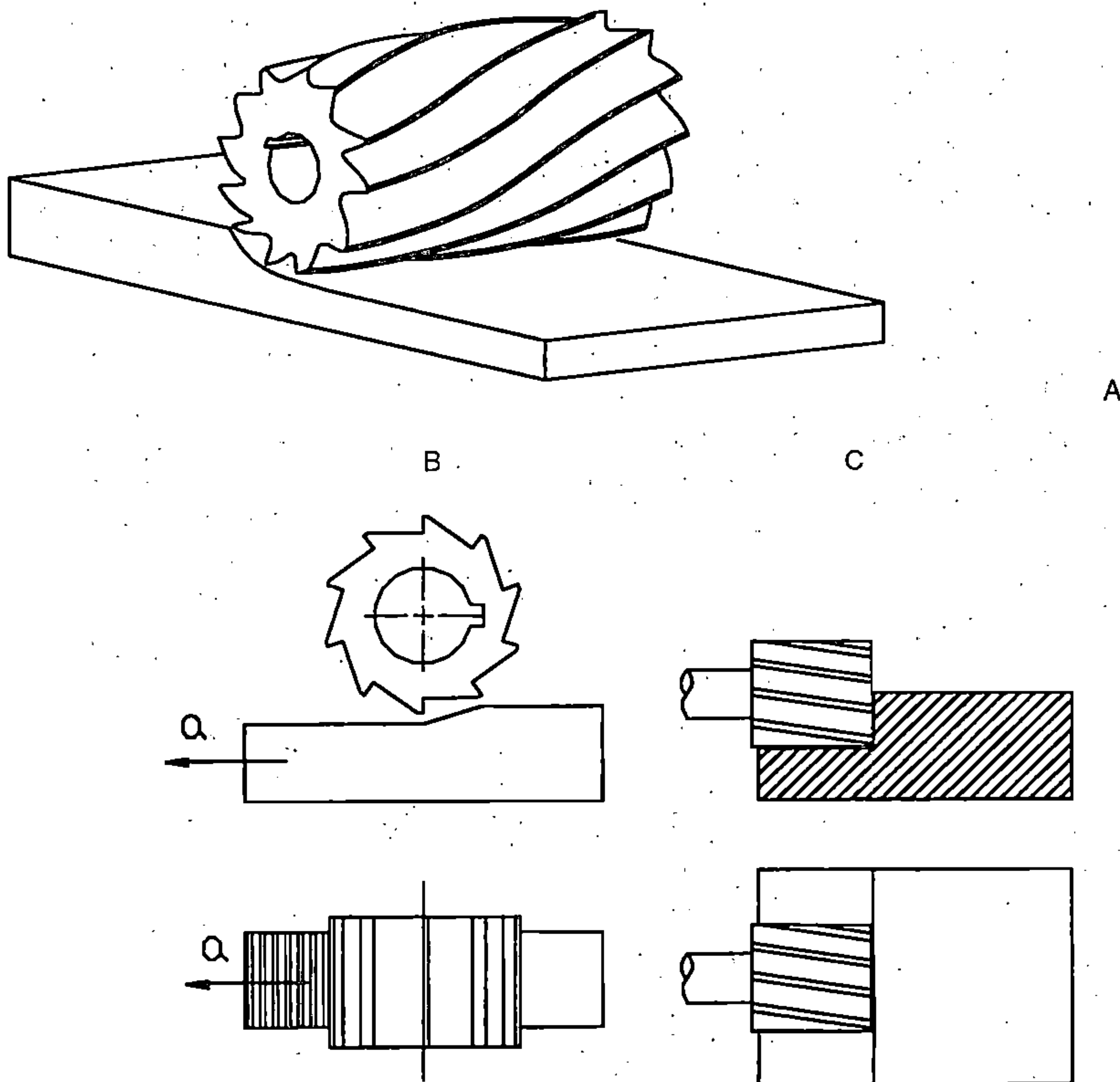


Figura 12. Fresa cilíndrica helicoidal. A) Realiza un trabajo de planitud sobre la superficie metálica. B) Vistas de la fresa y la pieza de trabajo en fresado cilíndrico. C) Vistas del fresado cilíndrico y angular.

- *Fresa de corte.*- La fresa circular o de corte se utiliza para generar canales o ranuras estrechas, como en los pernos de cabeza plana, o también se usa para el corte de material. El espesor de estas fresas está cerca de un milímetro.

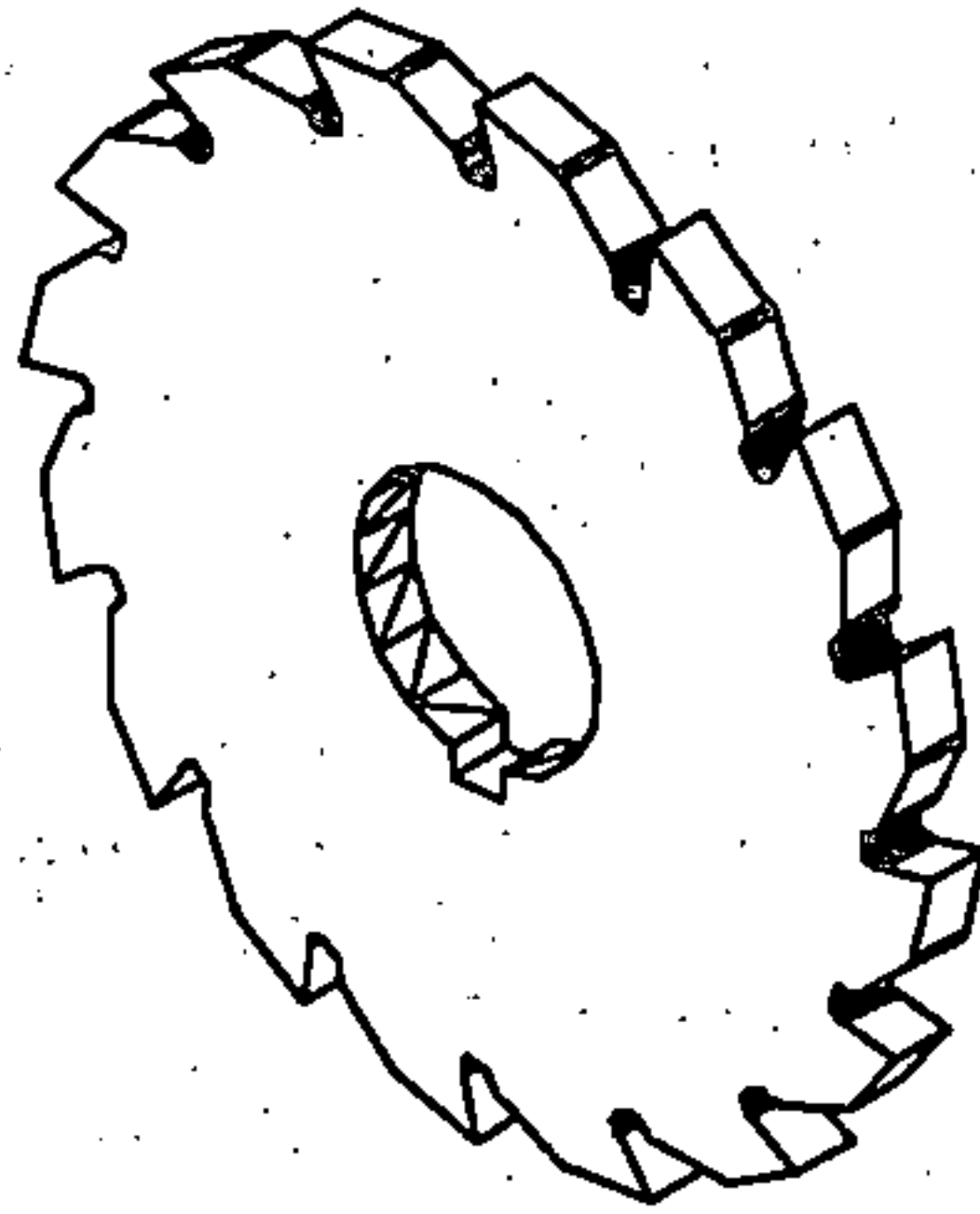


Figura 13. Fresa de corte o de disco. Permite realizar el corte fino de partes metálicas.

- *Fresa de forma.*- Las fresas de forma pueden ser fresas de ángulo simple 45° y 60° , o fresas de ángulo doble de 45° , 60° , 90° y 120° .

También hay:

- Cortadoras, para redondear
- Fresas cóncavas para semicírculos convexos
- Fresas convexas para semicírculos cóncavos

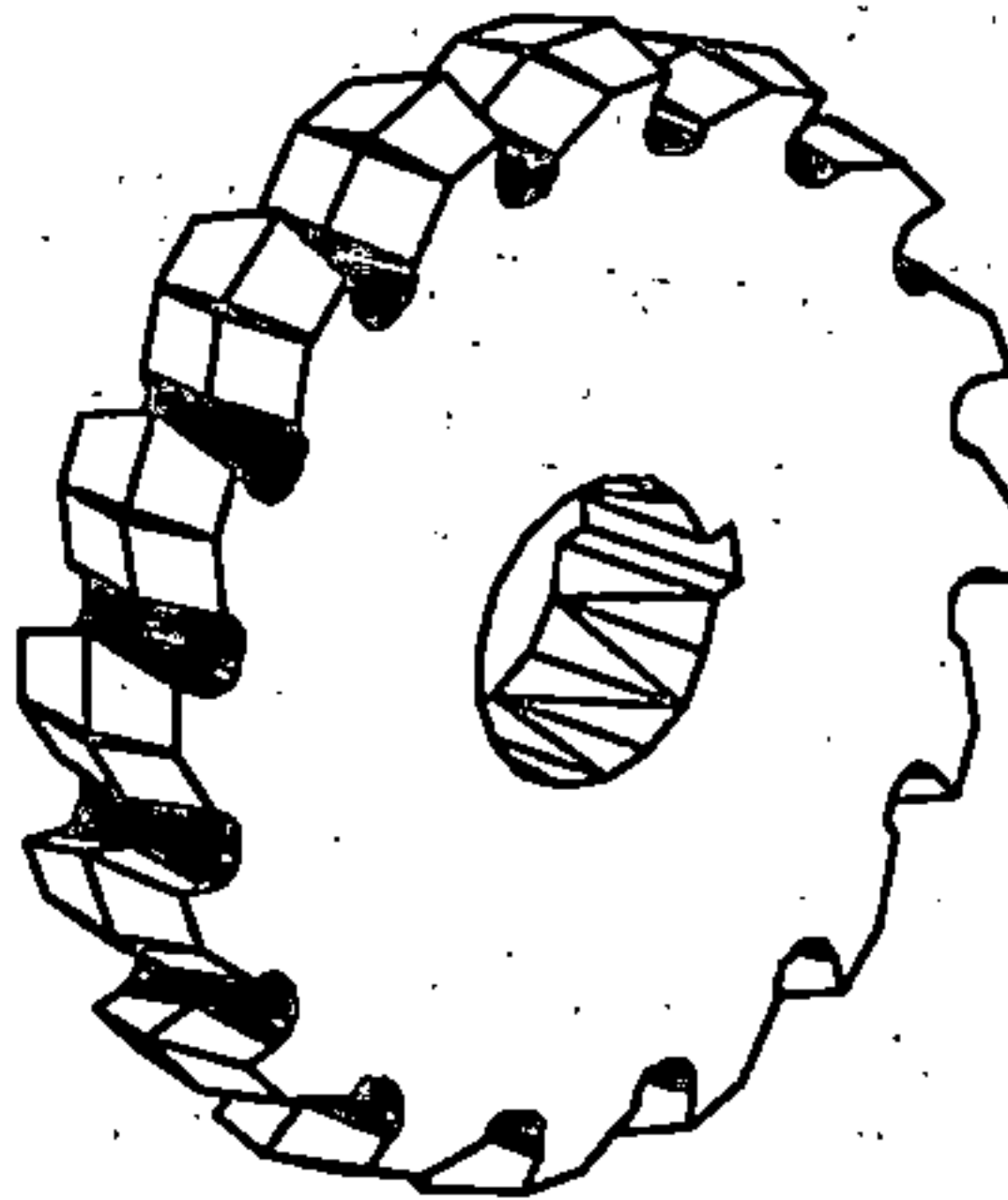


Figura 14. Fresa de forma de ángulo doble. Sirve para hacer canales cóncavos en V de 120° .

- *Fresas para canales chaveteros y canales para cabezas de pernos.*- La fresa de vástago para canales chaveteros y canales para cabezas de pernos permite, por un lado, hacer el asiento de una chaveta Woodruff en un eje, y, por otro, se pueden tallar canales para que se desplace libremente la cabeza de un perno. Este segundo caso es muy usual en las mesas de trabajo de las máquinas-herramientas, de tal modo que los pernos invertidos se enganchan a la mesa a lo largo de su canal guía sin restricción en una dirección, para fijar los tornillos de máquina correspondientes.

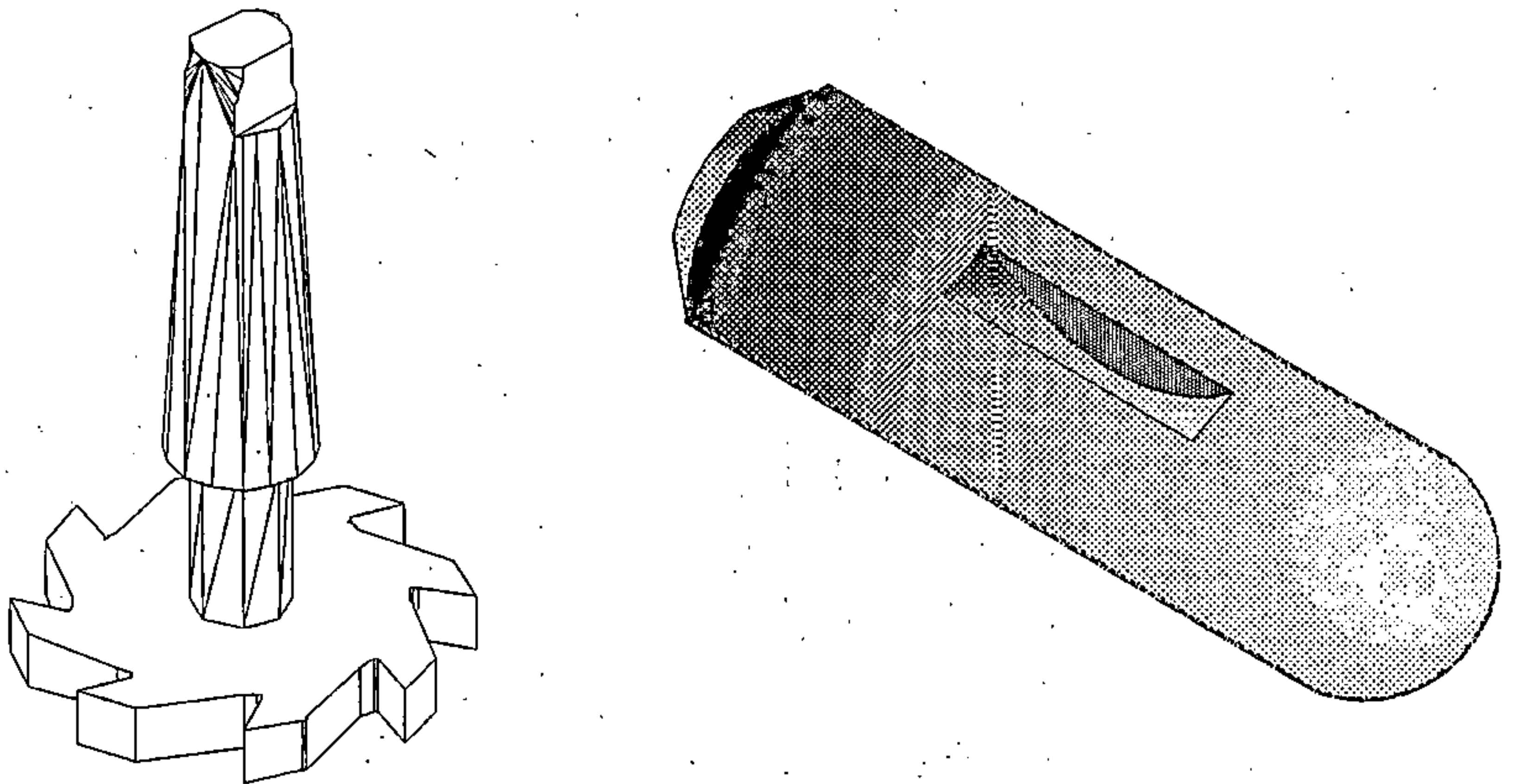


Figura 15. Fresa de vástago para canales rectangulares internos y asientos de chaveta tipo Woodruff.

- *Fresas cilíndricas de vástago.*- Las fresas cilíndricas de vástago son fresas frontales de pequeño diámetro, y permiten hacer canales rectangulares de ancho relativamente pequeño. Cuando se desea hacer un canal en forma de T o para cabeza de pernos, se tiene que hacer previamente el canal rectangular con una fresa cilíndrica de vástago.

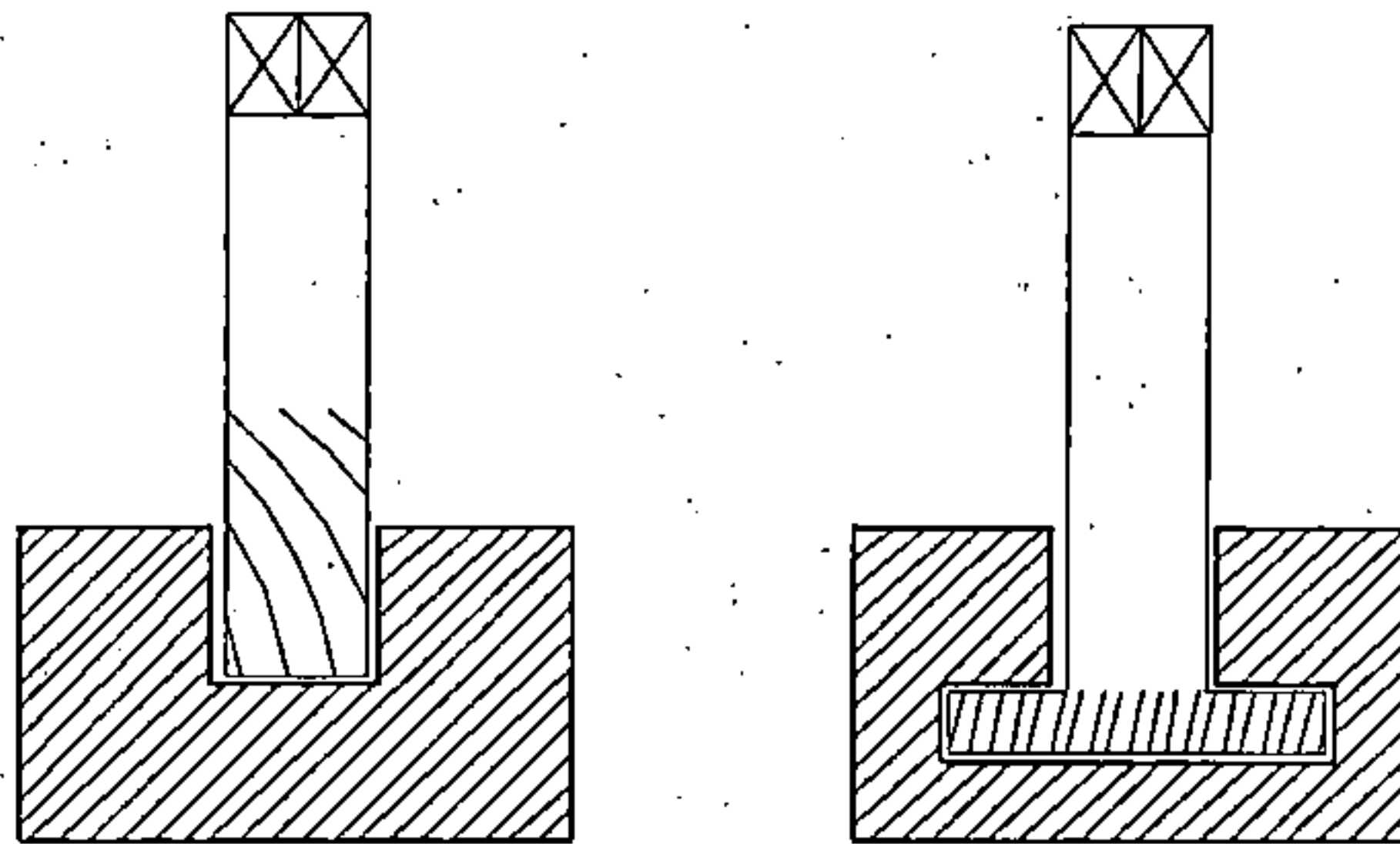


Figura 16. Fresas cilíndricas de vástago.

- *Fresa frontal angular de vástago.*- Esta fresa permite fabricar guías tipo cola de Milano, o en general para canales en ángulo.

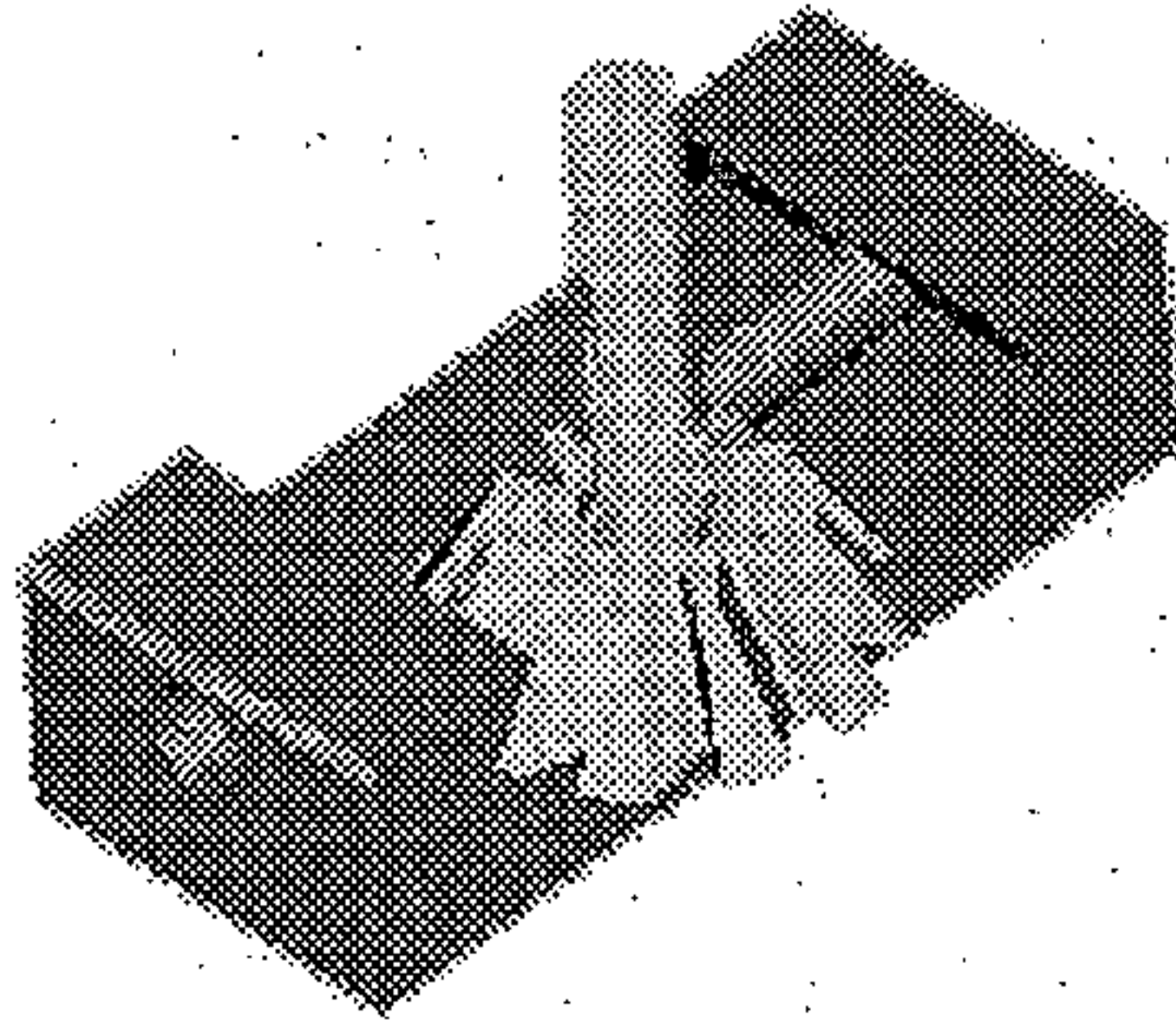


Figura 17. Fresa frontal angular de vástago. Sirve para tallar canales guía tipo cola de Milano.

- *Fresa para tallar engranajes.*- Para el tallado de engranajes y piñones se dispone de una gran variedad de fresas de módulos y pasos diferentes. En el ítem 1.5 se trata este tema muy ampliamente.

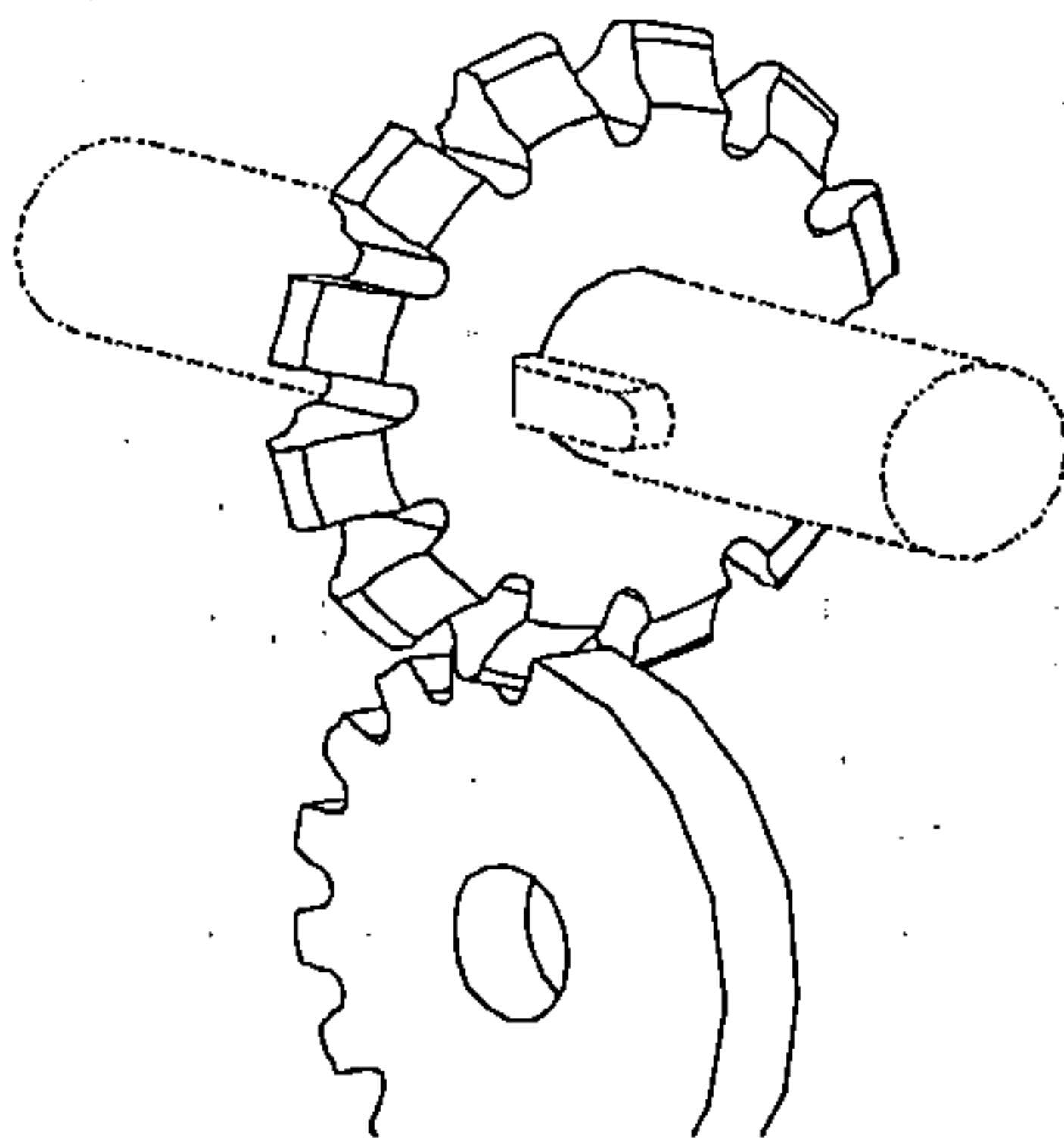


Figura 18. Fresa para tallado de engranajes.

1.5 Movimientos de trabajo en la fresadora

Los movimientos de trabajo del fresado de una pieza están dados por el movimiento principal que efectúa la herramienta, el movimiento de avance que realiza la mesa de trabajo de la fresadora y el movimiento de profundidad de pasada, que corresponde a un espesor o altura constante durante el proceso de corte.

Movimiento principal de la fresa

El movimiento principal lo realiza la fresa y es un movimiento de rotación de corte accionado por el husillo o eje portafresa.

El movimiento principal está dado por la velocidad de giro del eje motriz de la fresadora n , que se indica generalmente en revoluciones por minuto (rpm). Esta velocidad de rotación n es lógicamente la correspondiente a la herramienta o fresa. Con esta velocidad angular se obtiene la velocidad periférica de los filos de los dientes o labios de la fresa. Esta velocidad periférica o tangencial es la velocidad de corte de la fresa sobre el material.

Velocidad de corte de la fresa

La velocidad de corte v_c de la fresa es la velocidad tangencial o periférica de los filos de la herramienta, y ataca directamente a la superficie de trabajo del material a maquinar.

Si se tiene la velocidad de giro n o ω del husillo principal de la fresadora y el diámetro mayor de la herramienta o fresa, entonces la velocidad de corte es:

$$v_c = n \frac{d_F}{2} \quad \text{o} \quad v_c = \omega \frac{d_F}{2}$$

donde: d_F diámetro mayor de la fresa
 $\omega =$ n velocidad angular del husillo de la fresadora

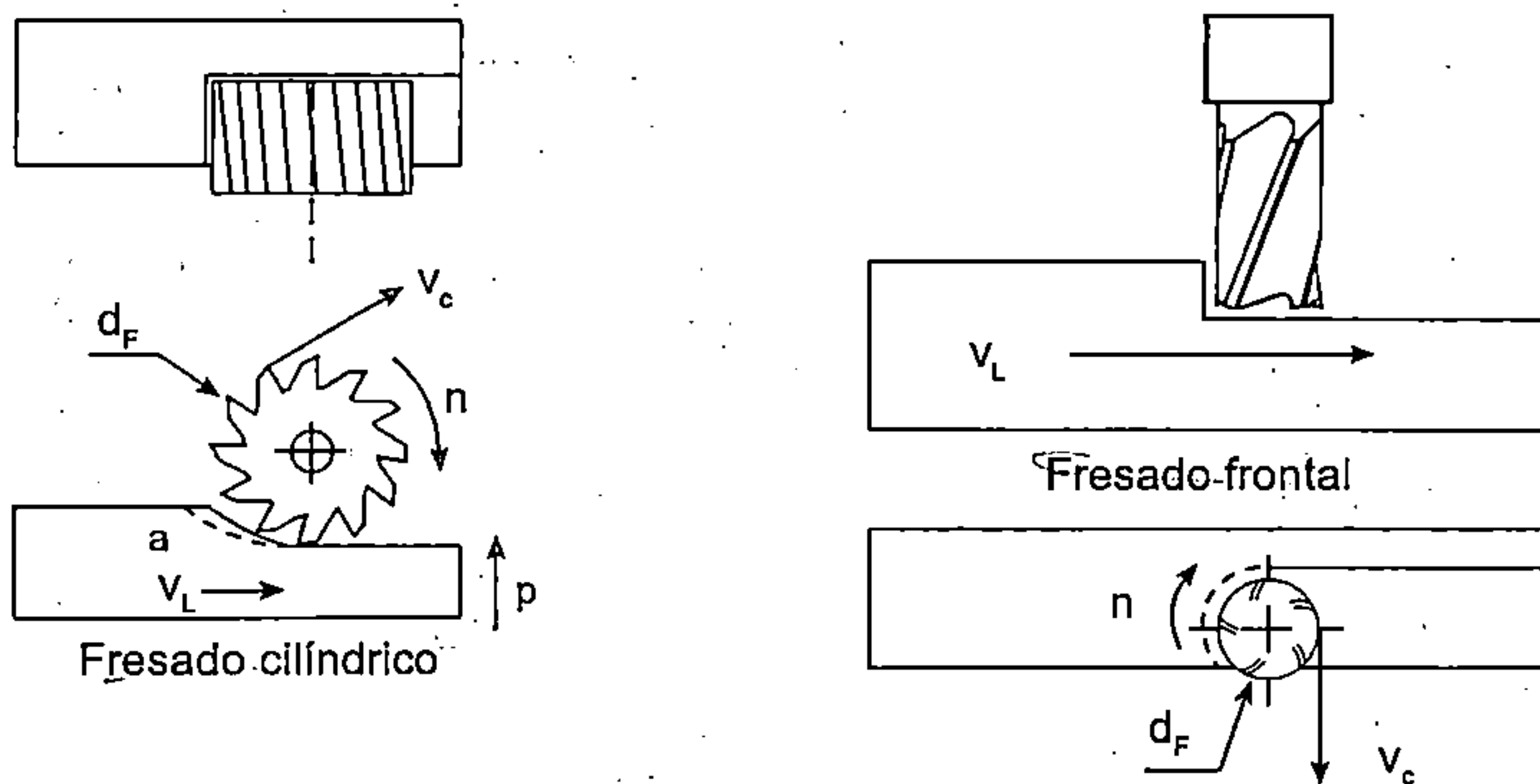


Figura 19. Fresado cilíndrico y fresado frontal.

Nota: Si se desea una conversión de unidades directa para obtener la velocidad de corte v_c en m/min, entonces

$$V_c = \frac{\pi d_F n}{1000} \text{ donde: } v_c \quad \text{m/min}$$

$$\begin{array}{ll} d_F & \text{mm} \\ n & \text{rpm} \end{array}$$

Al igual que en los trabajos de torno, en la práctica se tiene una tabla de velocidades de corte v_c (m/min) recomendada para el fresado de piezas. Estas velocidades deben ser consideradas como valores máximos recomendables y, por lo tanto, el valor de las rpm o velocidad angular n calculada también será el máximo recomendable.

La tabla 1 da valores de velocidad de corte en función del tipo de fresa y la calidad del material a fresar.

MATERIALES

Herramienta o fresa

	Acero de alta velocidad	Pastilla carburada
Aluminio	150 - 315	280 - 640
Latón blando	20 - 55	100 - 185
Bronce duro	20 - 40	60 - 130
Bronce muy duro	8 - 15	37 - 60
Hierro fundido blando	15 - 25	75 - 100
Hierro fundido duro	8 - 15	45 - 60
Hierro templado por enfriamiento rápido		30 - 60
Hierro maleable	21 - 34	75 - 120
Acero blando	18 - 27	45 - 75
SAE1010,1110,1020,1120		
Acero mediano	15 - 24	35 - 60
SAE1030,1130,1045,1145		
Acero duro y aceros aleados	9 - 15	30 - 45

Tabla 1. Velocidades de corte para la fresa
"v_c" (m/min).

Acerca de la velocidad de corte v_c

La tabla 1 muestra las velocidades de corte recomendadas en rangos. Para la toma de decisión de la velocidad v_c se puede seguir las siguientes pautas:

- Usar velocidades más altas para:
 - Materiales más blandos (menor dureza)
 - Mejor acabado (superficie lisa)
 - Diámetros más pequeños de la fresa (d_F)
 - Materiales no metálicos
 - Cortes de pequeña sección
 - Piezas frágiles al maquinar
 - Avances manuales
 - Volúmenes elevados de producción
- Usar velocidades más bajas para:
 - Materiales duros
 - Materiales abrasivos
 - Cortes de gran sección
 - Desbaste de materiales
 - Minimizar el desgaste del filo de la herramienta y aumentar su tiempo de vida
- Velocidades muy altas calientan la fresa, queman la herramienta y pierde su filo y propiedades del tratamiento térmico.
- La velocidad de corte en el acabado v_{CA} puede ser de 40% a 80% mayor que la velocidad de desbaste v_{CD}.

$$v_{CA} \approx (1.4 - 1.8) v_{CD}$$

Si no se cuenta con mayor información, se puede aproximar

$$v_{CA} \approx 1.6 v_{CD}$$

Velocidad de giro del eje de la fresadora "n"

Para realizar el fresado de una pieza, se debe determinar las revoluciones por minuto a las que debe girar la herramienta o fresa. Esta velocidad angular n es la misma que la del eje o husillo de la máquina.

$$n = \frac{2 v_c}{d_F} \quad \text{donde} \quad \begin{array}{ll} n & \text{velocidad de giro de la fresa} \\ v_c & \text{velocidad recomendada de corte obtenida de tablas (tabla 1)} \\ d_F & \text{diámetro mayor de la herramienta o fresa.} \end{array}$$

El resultado de n se adecúa en RPM a los valores $n_{\text{FRESADORA}}$ de la máquina fresadora. Se cumplirá siempre:

$$n_{\text{fresadora}} \leq n$$

Además, la velocidad real de corte será:

$$v_{C_{\text{real}}} = n_{\text{FRESADORA}} \frac{d_F}{2}, \quad \text{donde: } v_{C_{\text{real}}} \leq v_c$$

Movimiento de avance

El movimiento secundario o de avance es el correspondiente al desplazamiento de la mesa de trabajo de la fresadora, que equivale al movimiento lineal de la pieza.

El movimiento lineal se define con la velocidad lineal de la pieza v_L , que puede ser en dirección paralela a la longitud de la mesa (eje X), o en dirección perpendicular a la longitud de la mesa (eje Y).

Mesa de trabajo de la fresadora

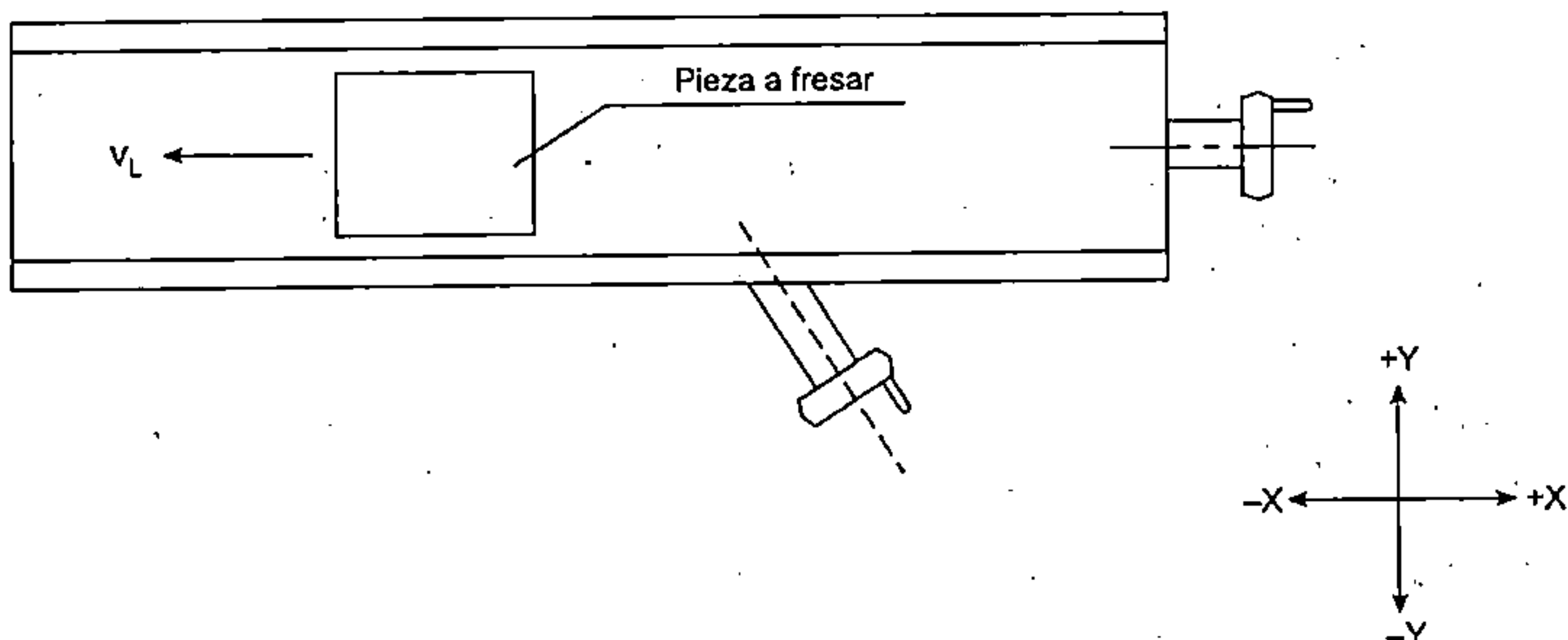


Figura 20. Movimiento longitudinal en X y movimiento transversal en Y de la mesa de trabajo de la fresadora. (v_L o a).

La velocidad lineal se da generalmente en mm/min o pulg/min (nótese que las velocidades de corte v_c se dan en m/min o pie/min según la tabla 1).

En el fresado, la velocidad lineal v_L se obtiene con ayuda del avance "a" dado en unidades de longitud por número de labios o dientes de la herramienta o fresa.

Generalmente el avance a se da en mm/labio o pulg/labio. La velocidad lineal de la mesa de trabajo se calcula con ayuda del volumen admisible de viruta, para controlar la máxima velocidad v_L disponible de la máquina fresadora, comparándola con la velocidad lineal según la capacidad de la fresa.

Volumen admisible de viruta

El volumen admisible de viruta V corresponde al caudal de viruta que es capaz de maquinar una fresadora por unidad de potencia. En algunos casos, la información que se da es la potencia específica de corte, que representa la inversa del volumen admisible de viruta ($P_{esp}=1/V$).

Las unidades del volumen admisible de viruta son $\text{cm}^3/\text{kW-min}$, y se obtiene de la siguiente manera (V es flujo de viruta por unidad de potencia):

$$V = \frac{(v_L \cdot b \cdot e)}{\text{Pot}}$$

donde: v_L : velocidad lineal de avance de la mesa de trabajo (mm/min)
 b : ancho máximo de material cortado con la fresa (mm)
 e : profundidad de pasada o espesor o altura de corte de la viruta (mm)
 Pot : potencia nominal de la fresadora (kW o HP)
 V : flujo de viruta o volumen admisible de viruta

$As = b \cdot e$: área de la sección de corte.

El detalle de esta nomenclatura se puede observar en la figura 21

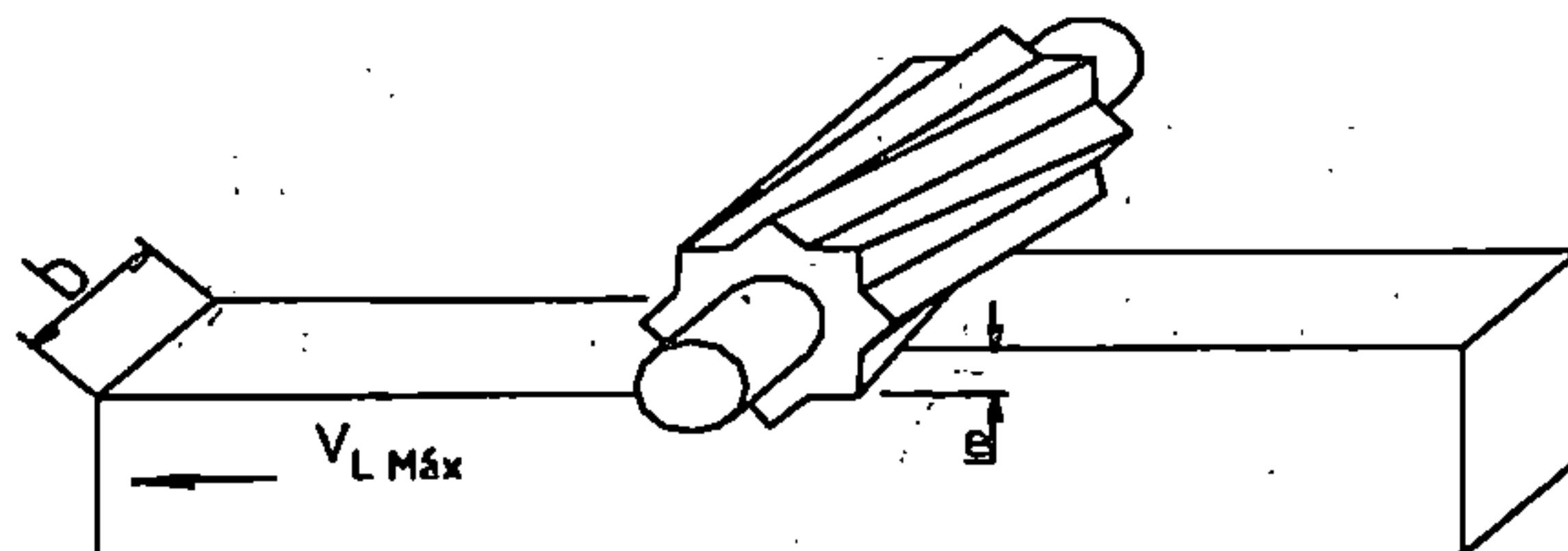


Figura 21. Fresado cilíndrico con fresa de eje horizontal.

Los volúmenes admisibles de viruta se recomiendan y se obtienen de tablas. Por lo tanto, se calcula la velocidad máxima de avance de la mesa de trabajo y el volumen de viruta se selecciona con ayuda de la tabla referencial 2.

MATERIAL	Acero 1010	Acero 1050	Acero aleado	Hierro fundido	Latón (Cu, Zn)	Metales ligeros
Fresado cilíndrico	12	10	8	22	30	60
Fresado frontal	15	12	10	28	40	75

Tabla 2. Volumen admisible de viruta al fresar
V (cm³/kW-min).

Selección de la velocidad lineal de avance

Para determinar la velocidad lineal de avance en el desbaste v_{LD} y en el acabado v_{LA} , se calcula la velocidad lineal v_L de la mesa de trabajo y la velocidad lineal v_L que corresponde a la capacidad del útil de corte o fresa. Se toma el menor valor entre los dos casos.

Consideramos: v_{LD} velocidad lineal en el desbaste
 v_{LA} velocidad lineal en el acabado

Donde en general $v_{LA} = (0,60 - 0,75) v_{LD}$

Velocidad de avance de la mesa de trabajo según la capacidad de la máquina fresadora (v_L)

De la fórmula del volumen admisible de viruta, la velocidad lineal de avance máxima de la mesa de trabajo será:

$$v_L = \left(\frac{V}{b \cdot e} \right) \text{Pot} \quad \dots(I)$$

Donde: v_L máx : Velocidad lineal de avance (min/min o pulg/min)
V : volumen admisible de viruta (tabla 2)
b : ancho de material o de la fresa (mm, pulg)
e : profundidad de pasada o ancho de viruta (mm, pulg)
Pot : potencia nominal de la fresadora (kw, HP)

Velocidad de avance según la capacidad de la fresa (v_L)

La velocidad de avance de la mesa de trabajo de acuerdo con la capacidad de la fresa v_L , estará dada en mm/min. Así:

$$v_L = a \text{ (mm/ diente)} \cdot z \text{ (dientes/vuelta)} \cdot n \text{ (rpm)} \quad \dots(II)$$

siendo: a : avance de la fresa en mm/labio o diente. El rango del avance a es 0.04 – 0.70mm o labio (tabla 3)
 z : número de labios por fresa o vuelta o revolución (labios/rev)
 n : revoluciones por minuto de la fresa en el desbaste (rpm)

• Conclusión

De los valores obtenidos en I y II, se escoge el menor para la velocidad v_L y se obtiene:

Velocidad lineal en el desbaste $v_{LD} = v_L$

Velocidad lineal en el acabado $v_{LA} = (0,60 - 0,75) v_L$
 (Se puede aproximar $v_{LA} = 0,7 v_L$;
 si no se tiene información)

Material	Herramienta o fresa	
	Acero de alta velocidad	Pastillas carburadas
Aluminio	0,13-0,57	0,40-0,67
Latón (Cu-Zn)	0,11-0,53	0,30-0,63
Bronce (Cu-Sn)	0,10-0,48	0,35-0,56
Hierro fundido blando	0,10-0,46	0,22-0,50
Hierro fundido duro	0,07-0,33	0,14-0,40
Acero blando SAE1020,1120	0,08-0,28	0,18-0,35
Acero mediano SAE1045,1145	0,07-0,23	0,14-0,30
Acero Duro y aceros aleados	0,04-0,15	0,12-0,27

Tabla 3. Avances para algunas fresas a (mm/labio).

• Tiempo de pasada en el fresado cilíndrico

El tiempo de una pasada en el fresado cilíndrico, según la figura 22, es:

$$t_p = \frac{L_T}{v_L}$$

Donde: L_T : Longitud total de pasada
 v_L : Velocidad lineal de la mesa trabajo (ver acápite sobre movimiento de avance).

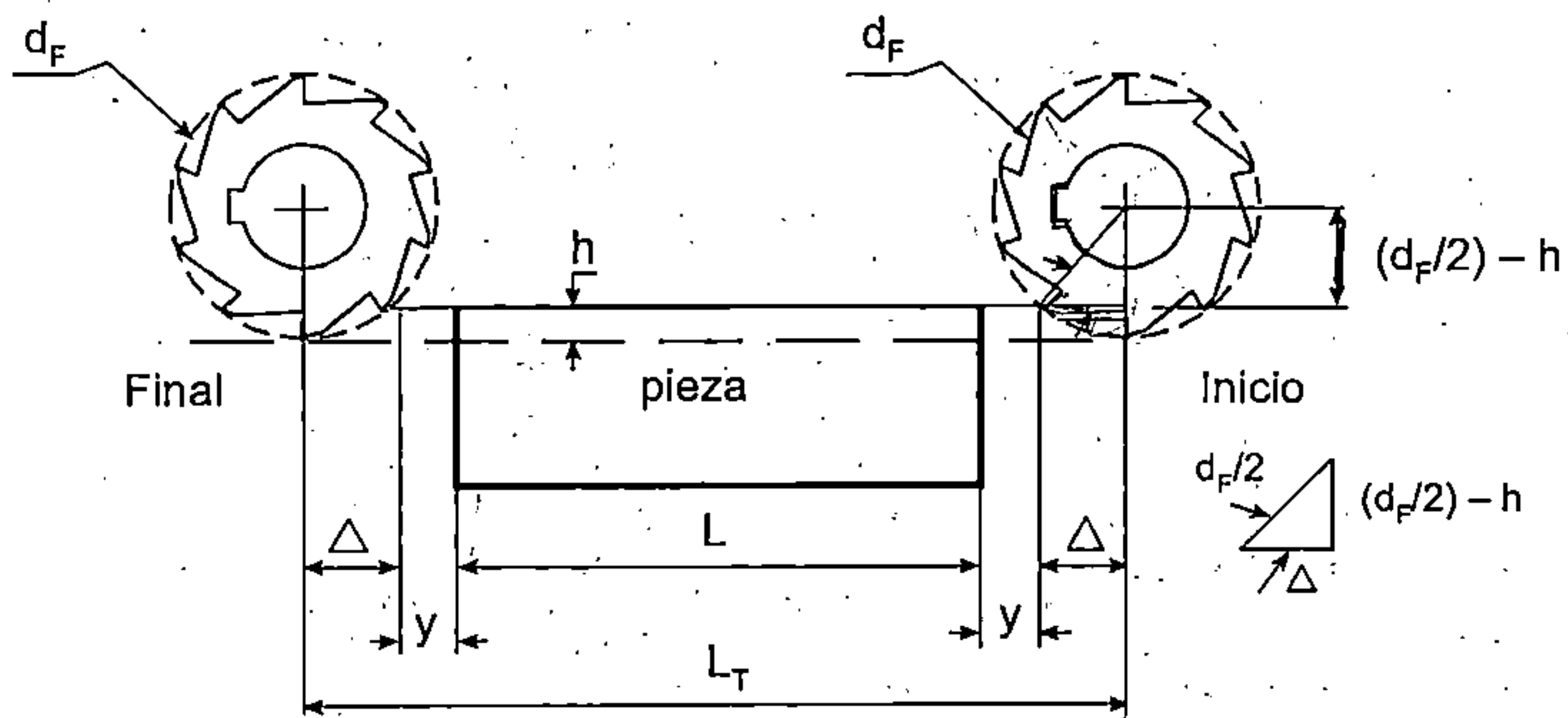


Figura 22. Esquema del fresado cilíndrico (d_F diámetro de la fresa).

Por Teorema de Pitágoras: $\Delta = \sqrt{\left(\frac{d_F}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_F}{2} - h\right)^2}$, d_F = diámetro de la fresa

El retiro de la fresa será: $y = 2$ a 4 mm.

La longitud total es:

$$L_T = L + 2y + 2\Delta$$

Donde:

- L : Longitud del material
- y : Retiro de la fresa
- Δ : Distancia al eje de los labios de la fresa.

Tiempo de pasada en el fresado frontal o plano. El tiempo de una pasada en el fresado frontal, según la figura 23 será:

$$tp = \frac{L_T}{v_L}$$

Donde,

- L_T : Longitud total de pasada
- v_L : Velocidad lineal de la mesa de trabajo (ver acápite sobre movimiento de avance)

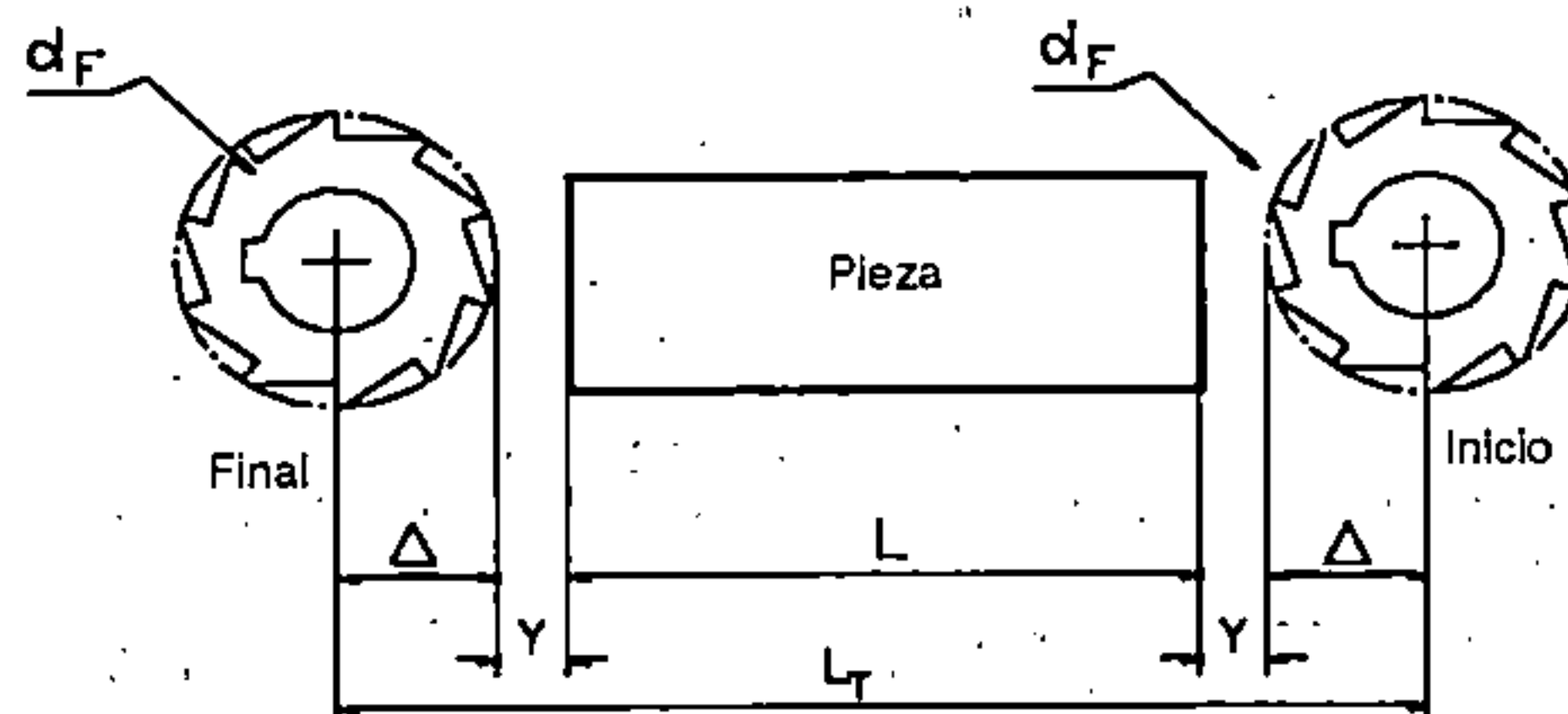


Figura 23. Esquema del fresado frontal.

Δ es el retiro del eje con el filo $\Delta = \frac{d_F}{2}$, d_F = diámetro de la fresa.

El retiro de la fresa será: $y = 2$ a 4 mm.

La longitud total es:

$$L_T = 2 \Delta + 2y + L, \quad \boxed{L_T = L + 2y + d_F}$$

Donde:

L	: longitud del material
d_F	: diámetro de la fresa
y	: retiro de la fresa

Movimiento de profundidad de pasada

Este movimiento no puede ser claramente definido, pues la inmensa cantidad de procesos de fresado obligan a evaluar la profundidad o altura constante de pasada. No obstante se pueden considerar algunas recomendaciones generales.

Recomendaciones

- Para el fresado cilíndrico se puede considerar una profundidad de pasada p o h máxima de un 85% de la semisuma de diámetros de fresa y vástago; es decir: $p \leq 0,85 \left(\frac{d_F + d_v}{2} \right)$

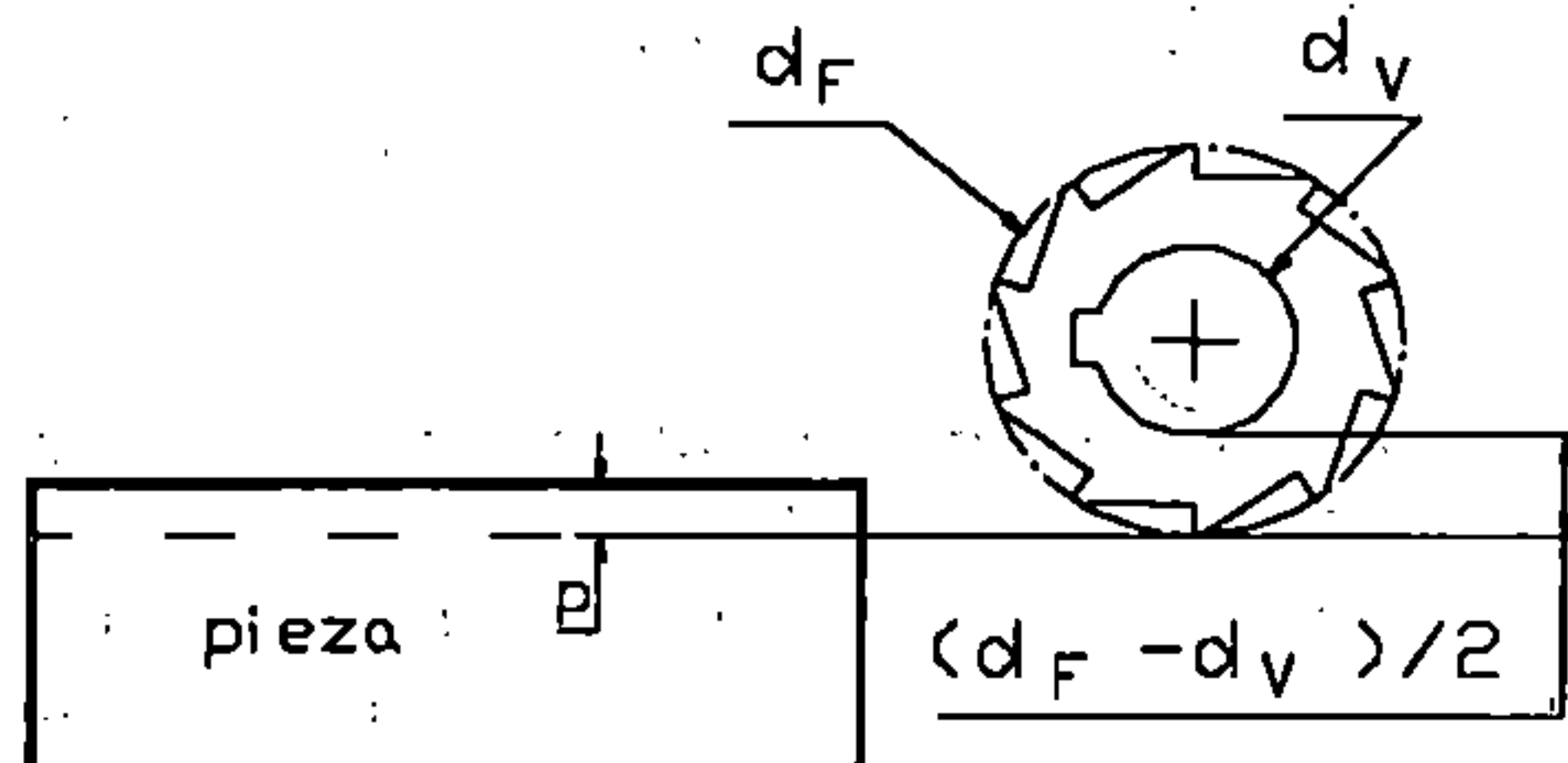


Figura 24. Recomendación de profundidad de pasada con fresa cilíndrica
(d_v : diámetro vástago, d_f : diámetro de la fresa).

- Para el fresado frontal se puede considerar una profundidad máxima p del 80% de la longitud de los labios " L_F "; es decir $p \leq 0,8 L_F$

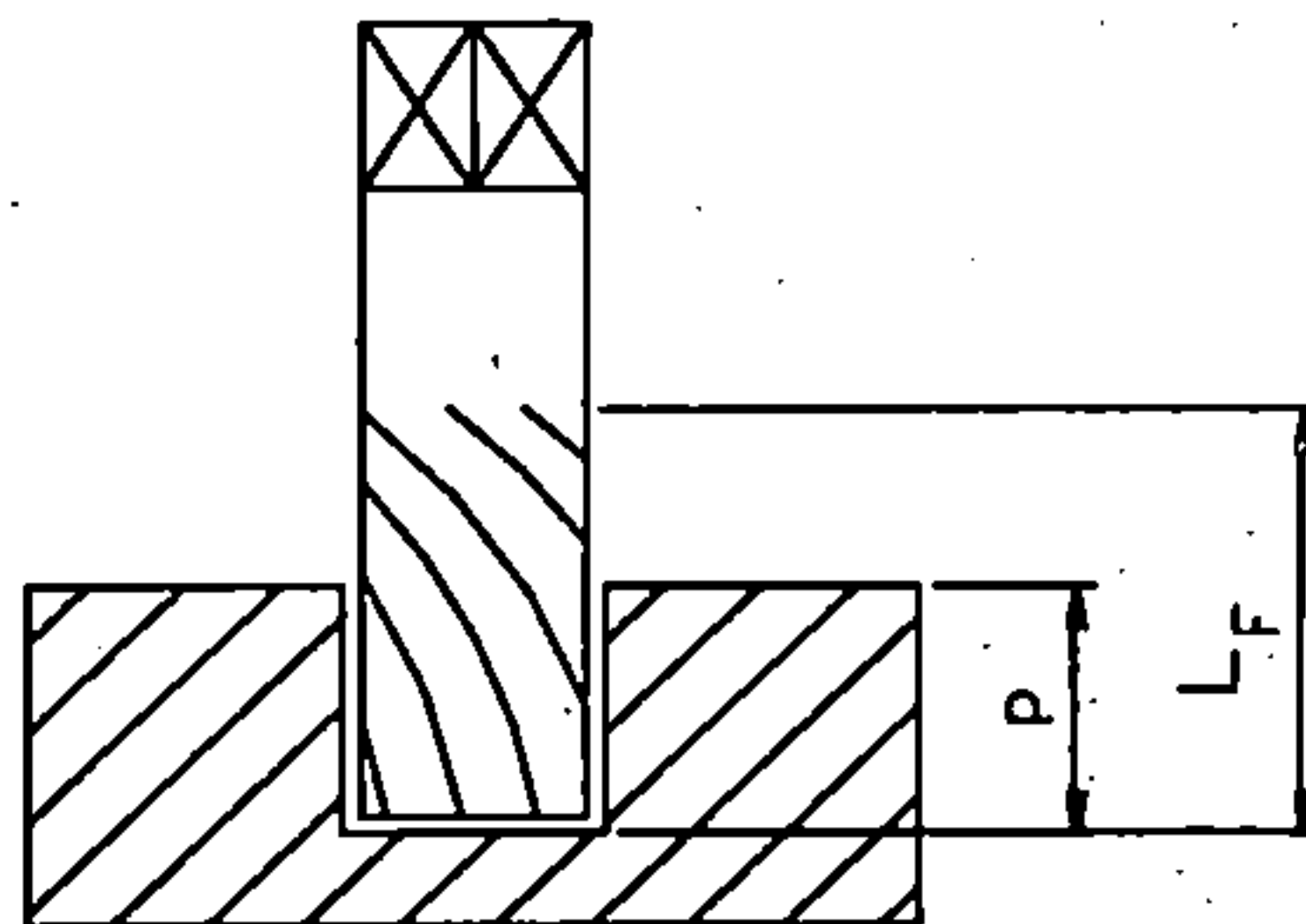


Figura 25. Recomendación de profundidad de pasada con fresa de vástago.

- Si el material es más duro, se debe disminuir la profundidad de pasada p o h .
- Si la sección de corte es muy grande, reducir la altura de pasada y hacer el trabajo de maquinado en más de una pasada.

Tiempo total de maquinado

El tiempo total de maquinado T_t considera el tiempo de instalación de máquina, el tiempo total de pasada tp_T y el tiempo de retorno o tiempo muerto tr_T .

Se tiene:

Se tiene:

$$T_t = t_{inst} + tp_T + tr_T$$

Tiempo de instalación: t_{inst}

Es el tiempo de preparación de máquina, que depende del operador y del tipo de trabajo a realizar. Se puede estimar.

$$T_{\text{inst}} = 30 \text{ min, } 40 \text{ min o } 1 \text{ hora}$$

Tiempo de pasada total: tp_T

Considera las pasadas de desbaste y las pasadas de acabado en el fresado.

$tp_T = NP_D \cdot tp_D + NP_A \cdot tp_A$, donde, NP_D , NP_A son el número de pasadas de desbaste y acabado respectivamente. Como usualmente sólo se da una pasada de desbaste, entonces, $NP_D = NP$, y $NP_A = 1$, luego:

$$tp_T = NP \cdot tp_D + tp_A$$

Donde: tp_D , tp_A son el tiempo de pasada de desbaste y acabado ($tp = L_T/v_L$).

Tiempo de retorno

El tiempo de retorno se estima como un porcentaje del tiempo de pasada de la fresa. Así, el tiempo de retorno total será:

$$Tr_T \approx (0,5 - 2) tp_T$$

1.6 Tallado de engranajes. Generalidades de las ruedas de dientes. Nomenclatura de engranajes de dientes rectos. Módulo, sistema de transmisión por engranajes

En este acápite se describirán los diferentes tipos de ruedas dentadas, así como su nomenclatura y algunas aplicaciones generales. Asimismo se explicará, a través del módulo de una fresa de engranajes, la forma de fabricar un engranaje de dientes rectos.

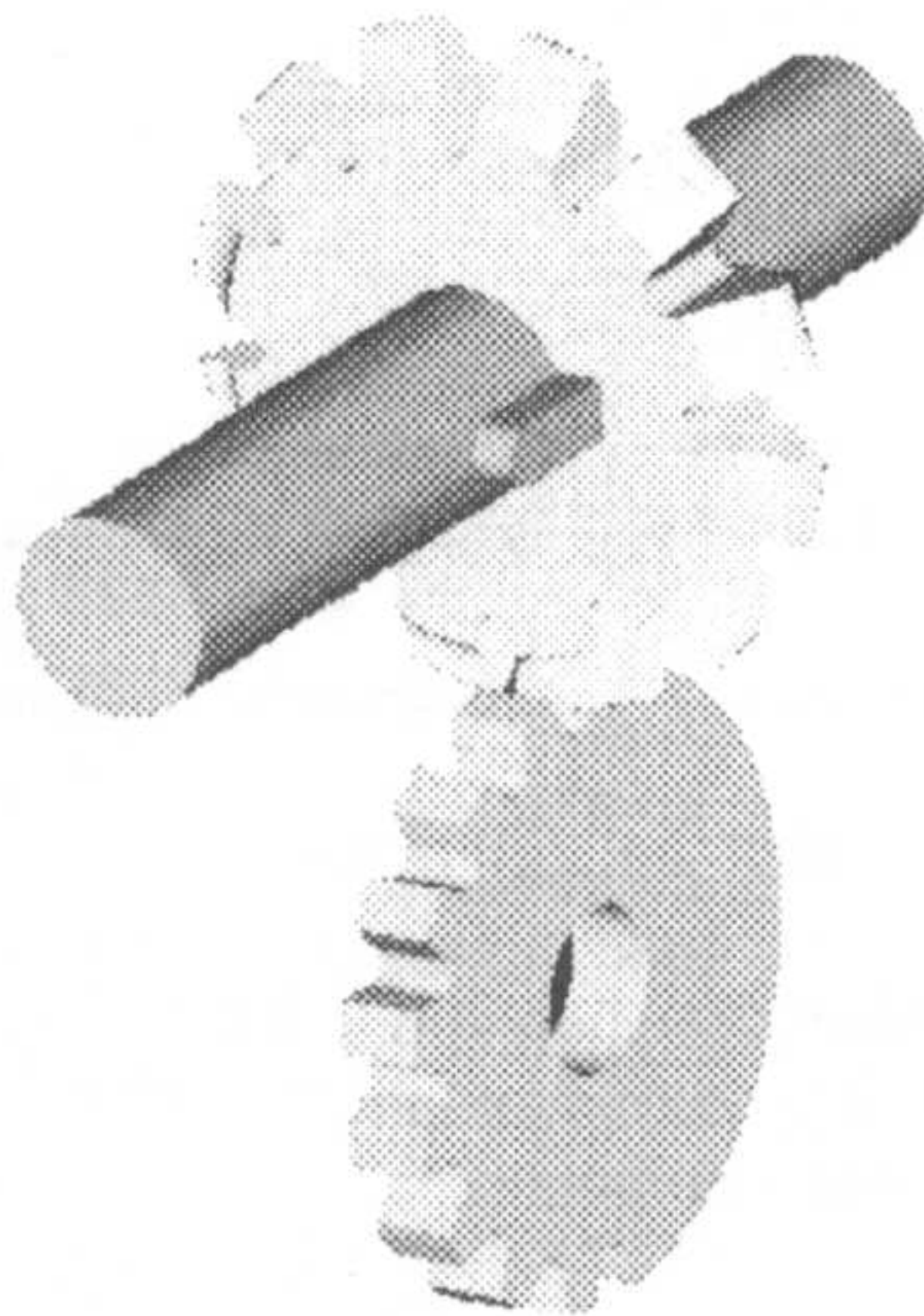


Figura 26. Vista del tallado de un engranaje.

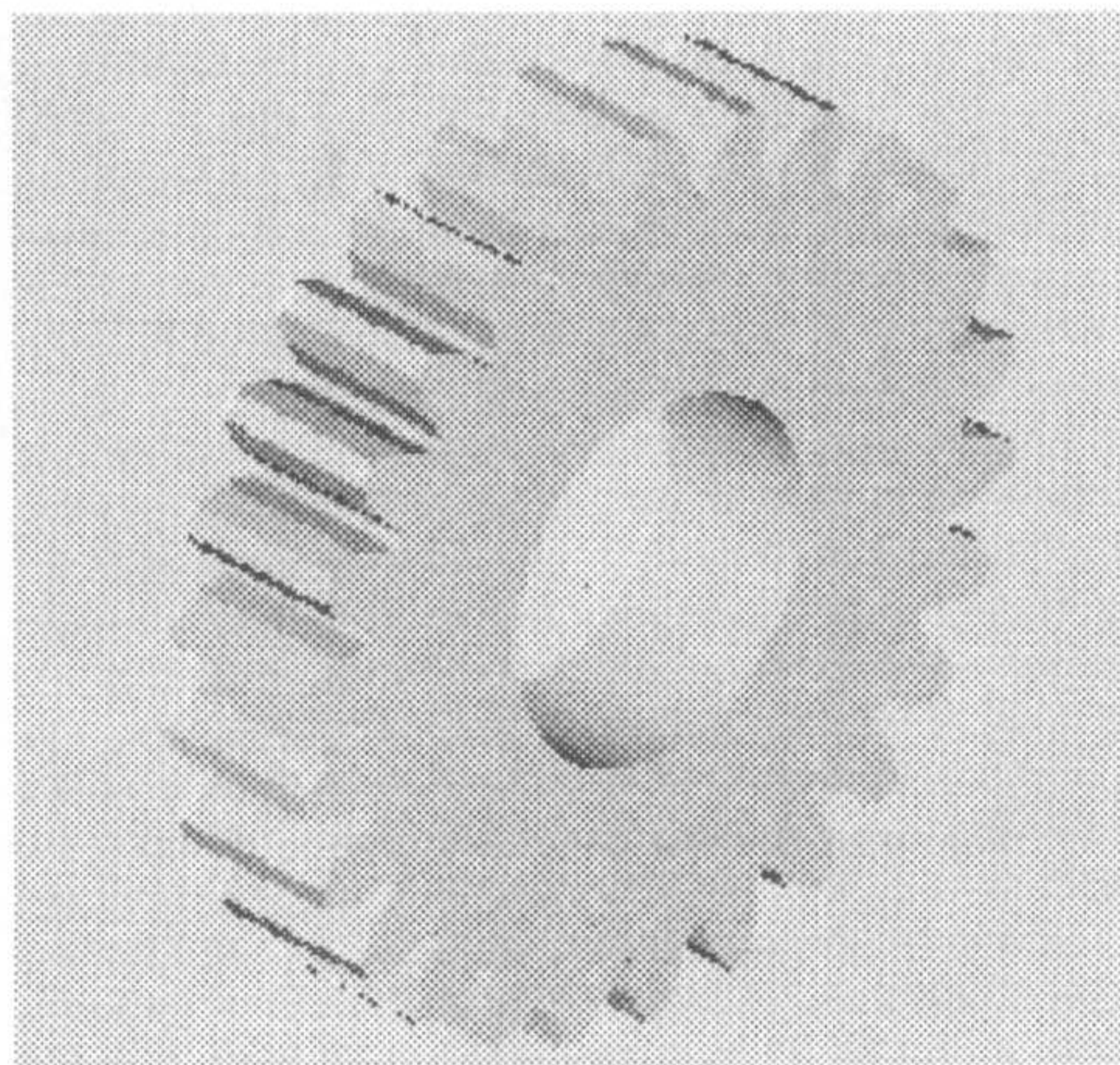


Figura 27. Vista del engranaje terminado.

Generalidades de las ruedas de dientes

Las ruedas de dientes se llaman técnicamente engranajes. Sin embargo, de acuerdo con el tamaño, la forma y su función dentro de un sistema de transmisión, se puede hacer precisiones entre piñones, engranajes y, en algunos casos, con las cremalleras.

Piñón y engranaje

El piñón queda definido como una rueda de dientes pequeña. El número de dientes de un piñón, usualmente, se encuentra entre 17 y 25 dientes. En algunos casos se puede extender el rango de 11 hasta 31 dientes.

Se recomienda tener el ancho del diente o flanco B dentro del siguiente rango:

$$8m \leq B \leq 12,5m$$

donde:

m	: es el módulo del piñón. ($m = d/z$)
z	: es el número de dientes ($z = 17$ a 25)
d	: es el diámetro de paso

El engranaje, si bien es el nombre genérico de rueda de dientes, en un sistema de transmisión será la rueda mayor del par.

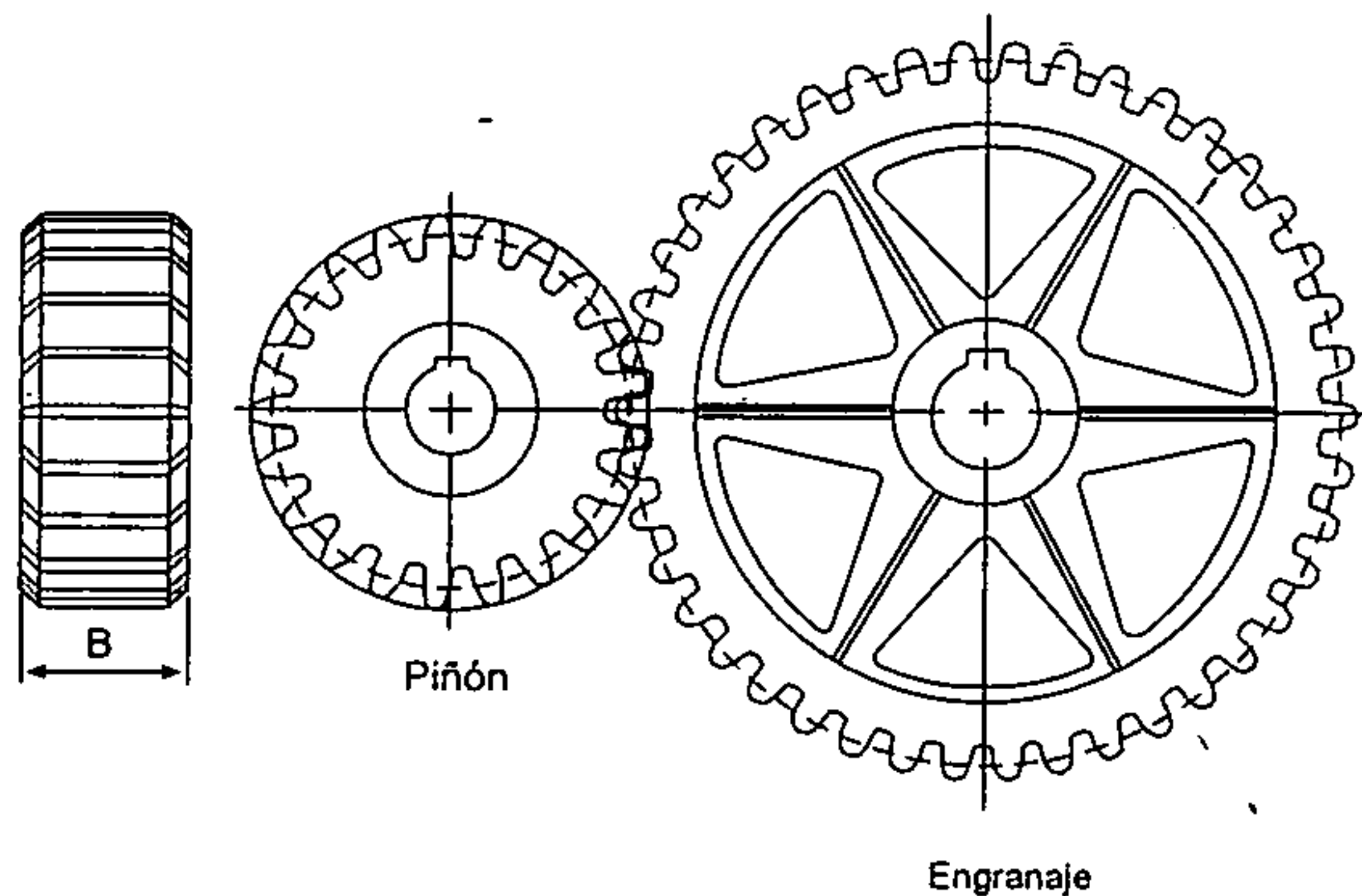


Figura 28. Detalles del piñón y el engranaje.

El ancho del diente del engranaje, según el fabricante, puede ser igual o algo menor que el de su par piñón.

Cremallera

La cremallera es una barra de dientes lineal, que permite transformar el movimiento rotacional de un piñón en movimiento lineal de un conjunto. El taladro de columna traslada su broca verticalmente cuando se gira la palanca de accionamiento.

Se puede considerar la cremallera como una rueda dentada de diámetro infinito.

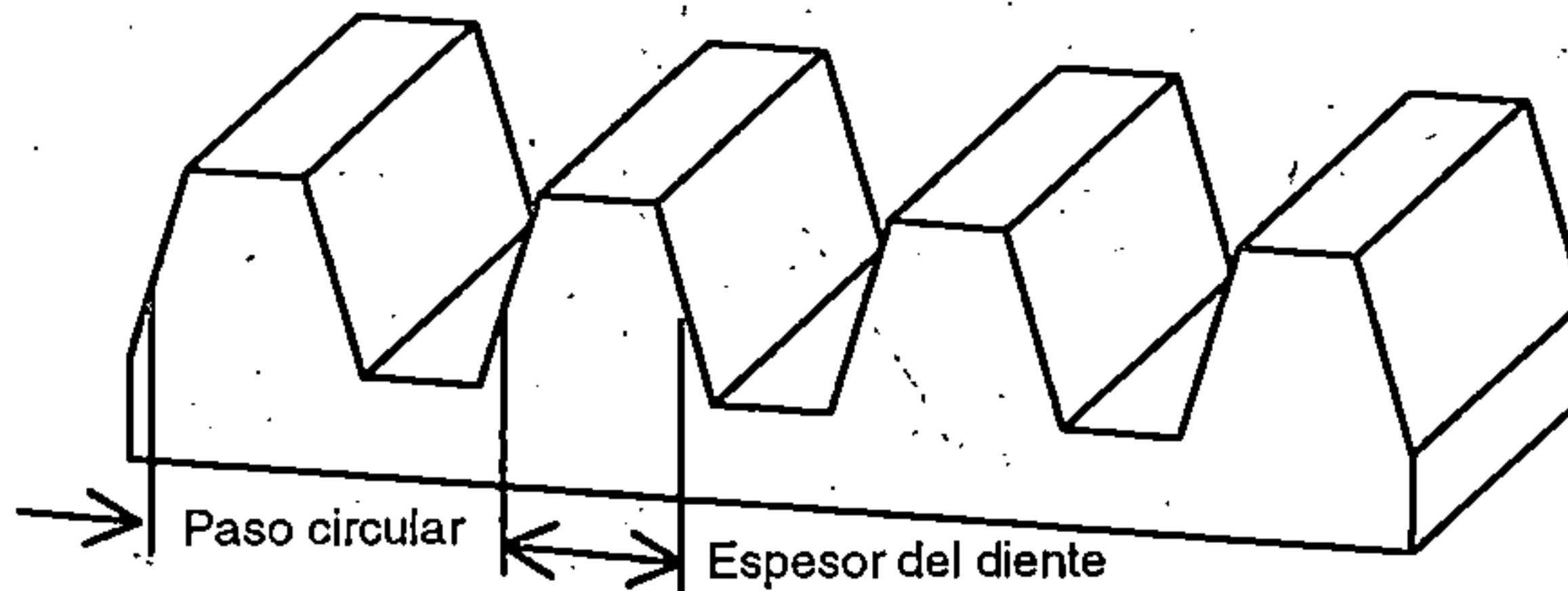


Figura 29. Cremallera simple.

Nomenclatura de engranajes de dientes rectos

Los engranajes o ruedas de dientes se basan fundamentalmente en sus circunferencias exteriores, de raíz y de paso, tanto para su tallado como para su puesta en funcionamiento.

En las figuras 30 y 31 se debe observar que cada diente se encuentra entre la circunferencia (diámetro exterior D_e) y la circunferencia de raíz o de fondo (diámetro de raíz D_r). Sin embargo, las circunferencias de paso (diámetro de paso D_p , d_p o d) del engranaje y del piñón serán las que se mantendrán tangentes entre sí en la transmisión de potencia o movimiento (figura 34).

La simbología de los diámetros de un engranaje, según la figura 30, es la siguiente:

d, D, d_p, D_p	diámetro de paso o diámetro primitivo. (circunferencia primitivo o de paso)
d_e, D_e	diámetro exterior o diámetro mayor. (circunferencia exterior)
d_r o D_r	diámetro de raíz o diámetro de fondo del diente. (circunferencia de fondo)
h	altura del diente $h = \frac{d_e - d_r}{2}$
z	número de dientes
m	módulo $m = \frac{d}{z}$, (d en mm)
a	addendum o adendo
b	dedendum o dedendo

Se cumple: $a < b$, y la altura del diente es: $h = a + b$

El diámetro exterior es: $d_e = d + 2a$

El diámetro de raíz es: $d_r = d - 2b$

Para un ángulo de presión del diente $\phi = 20^\circ$ y dientes normales (figura 32 y tabla 4), se tiene:

$a = m$; $b = 1,25 m$.

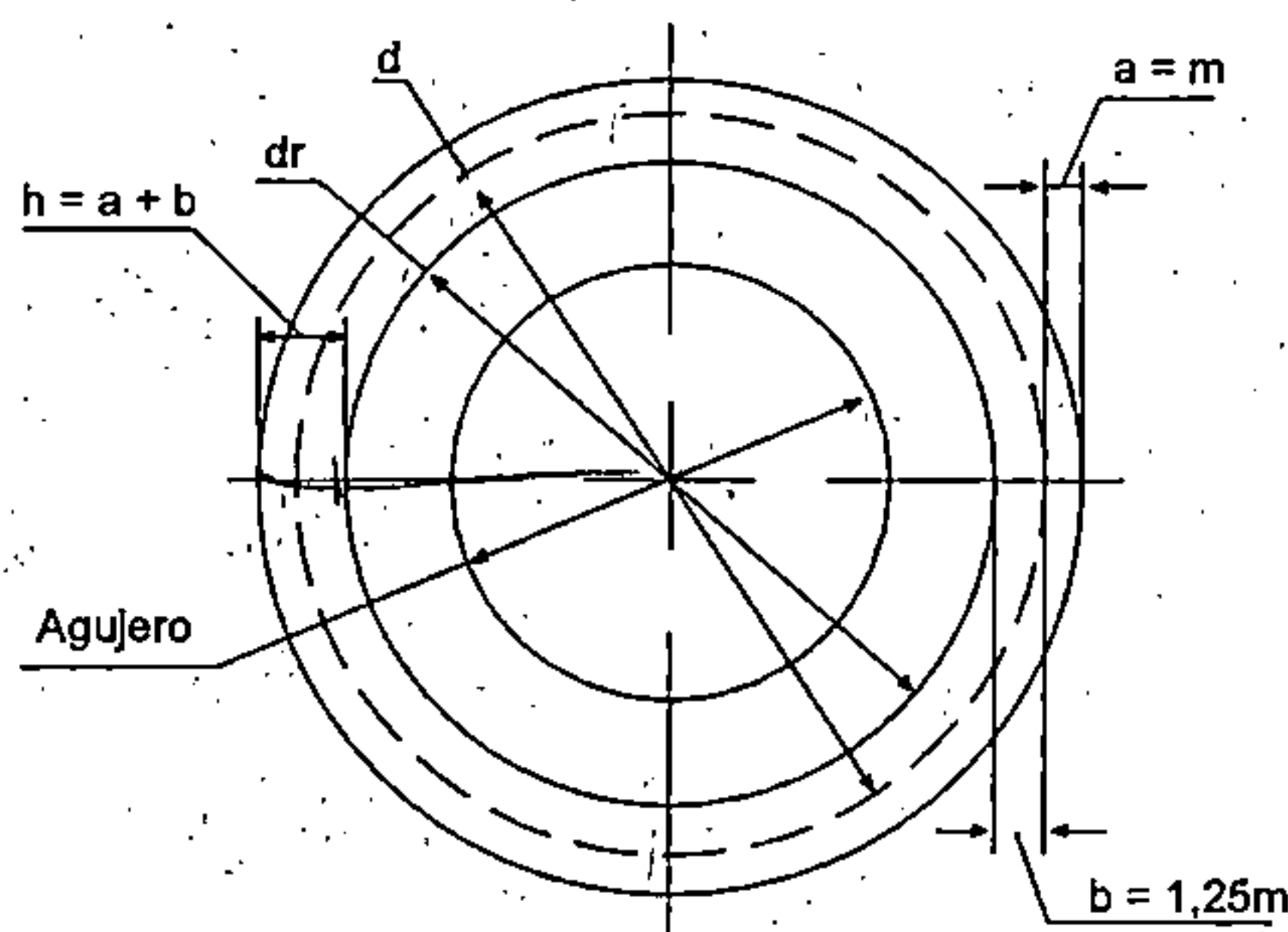


Figura 30. Nomenclatura de diámetros de engranaje.

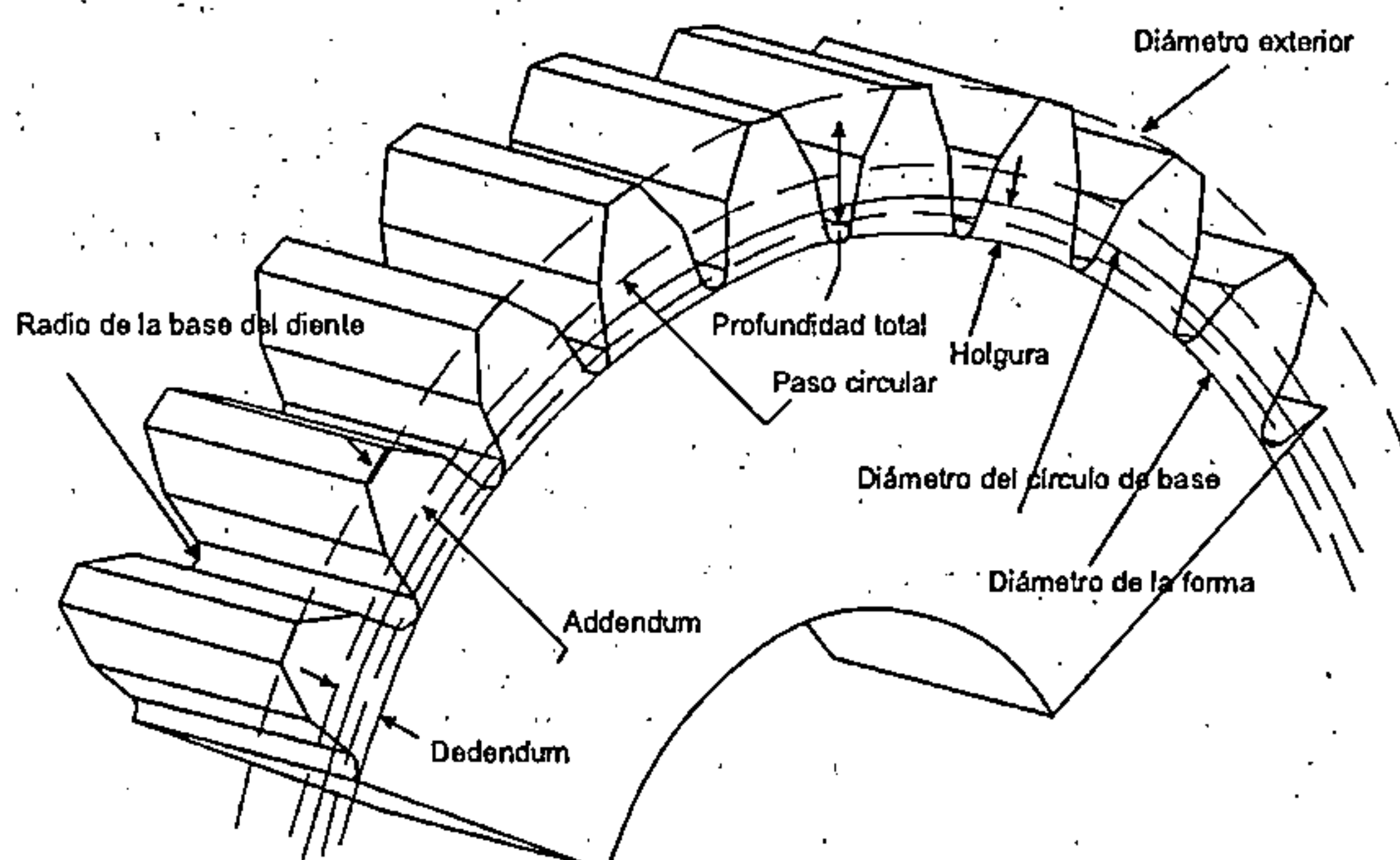


Figura 31. Nomenclatura de un engranaje de dientes rectos.

Módulo

El módulo es la unidad normalizado para los engranajes en el sistema internacional. Se define como la razón entre el diámetro de paso y el número de dientes, donde el diámetro de paso deberá estar en milímetros.

El módulo "m", se expresa de la siguiente manera: $m = \frac{d}{z}$

donde: d : diámetro de paso en milímetros, del piñón o engranaje. d (mm)
 z : número de dientes del piñón o engranaje.

El módulo m resulta en milímetros, pero no se colocan sus unidades, pues es una definición de la geometría del diente. Las normas inglesas o en pulgadas usan el paso diametral $P = \frac{d}{z}$, con el diámetro de paso d en pulgadas.

Las fresas para el tallado de los piñones y engranajes se seleccionan de acuerdo con el módulo calculado. La tabla 4 muestra una lista de los módulos estándar correspondiente a engranajes de dientes rectos normales y con ángulo de presión ϕ de 20 grados (20°). La figura indica la geometría de un diente y en función del módulo m es lo siguiente:

Addendum	(a) o adendo	$a = m$
Deddendum	(b) o dedendo	$b = 1,25m$
Altura del diente	(h) o profundidad	$h = 2,25m$
Altura de trabajo	(h_t)	$h_t = 2m$

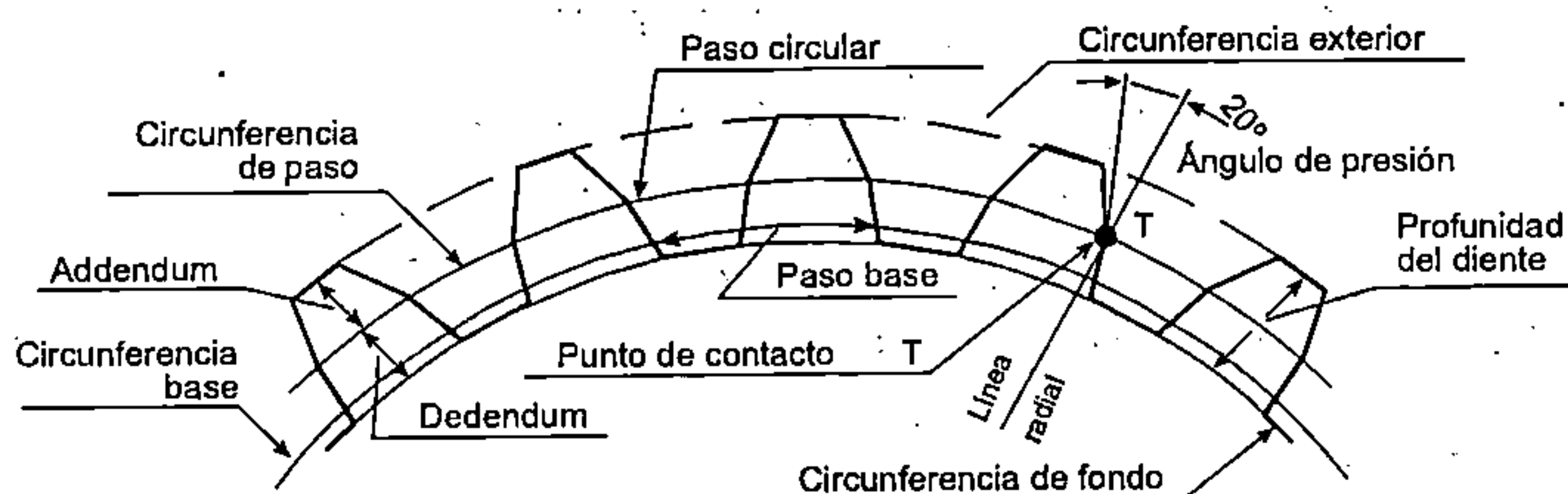


Figura 32. Dimensiones normales de los dientes de un engranaje de dientes rectos. Geometría del diente (ver también tabla 4).

Módulo m	Paso circular (mm) Pc	Addendum m (mm) a=m	Deddendum m (mm) b=1,25m	Profundidad (mm) h=2,25m
0,5	1,571	0,50	0,63	1,13
0,6	1,885	0,60	0,75	1,35
0,7	2,199	0,70	0,88	1,58
0,75	2,356	0,75	0,94	1,69
0,8	2,513	0,80	1,00	1,80
0,9	2,827	0,90	1,13	2,03
1	3,142	1,00	1,25	2,25
1,25	3,927	1,25	1,56	2,81
1,5	4,712	1,50	1,88	3,38
1,75	5,498	1,75	2,19	3,94
2	6,283	2,00	2,50	4,50
2,25	7,069	2,25	2,81	5,06
2,5	7,854	2,50	3,13	5,63
2,75	8,639	2,75	3,44	6,19
3	9,425	3,00	3,75	6,75
3,25	10,210	3,25	4,06	7,31
3,5	10,996	3,50	4,38	7,88
3,75	11,781	3,75	4,69	8,44
4	12,566	4,00	5,00	9,00
4,25	13,352	4,25	5,31	9,56
4,5	14,137	4,50	5,63	10,13
4,75	14,923	4,75	5,94	10,69
5	15,708	5,00	6,25	11,25
5,5	17,279	5,50	6,88	12,38
6	18,850	6,00	7,50	13,50
7	21,991	7,00	8,75	15,75
8	25,133	8,00	10,00	18,00
9	28,274	9,00	11,25	20,25
10	31,416	10,00	12,50	22,50

Tabla 4. Tabla de los módulos mas comerciales.

El paso circular Pc es la longitud del arco de paso de los dientes sobre la circunferencia de paso.

Sea: $Pc = \pi d$, luego $Pc = \pi \frac{d}{z}$ o también $Pc = \pi m$

El ángulo de presión ϕ es el ángulo entre la línea de centros de las circunferencias de paso del par de transmisión piñón-engranaje y la recta tangente a los dientes en el punto de contacto T o punto de paso. Según la figura 32 y la tabla 4 el valor será $\phi = 20^\circ$.

Las fresas para tallar engranajes deben tener el mismo módulo que el correspondiente al engranaje. Es decir, la fresa, fresa madre o fresa generadora, queda determinada principalmente por su módulo. El módulo y el ángulo de presión correspondiente determinan la geometría del diente de un engranaje, que debe coincidir con el de la fresa o herramienta generadora.

La figura 33 muestra diferentes tipos de maquinado para fabricar un engranaje.

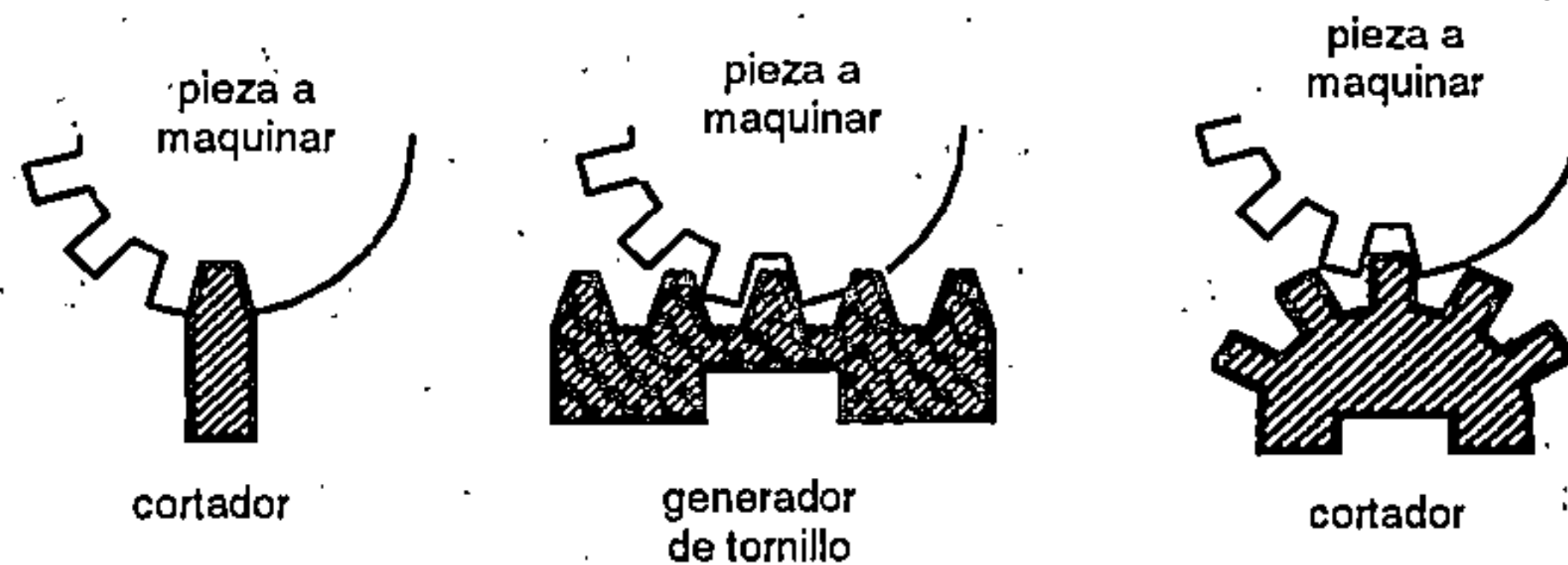


Figura 33. Procesos de maquinado que se utilizan para hacer engranajes.

Sistema de transmisión por engranajes

En un sistema de transmisión por ruedas dentadas, tanto la fresa de tallado de los dientes como el piñón y el engranaje tienen el mismo módulo. Se cumple:

$$m = m_{\text{fresa}} = m_{\text{piñón}} = m_{\text{engranaje}}$$

Donde:

$$m = \frac{d}{z} = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2}$$

Siendo, d_1 , d_2 el diámetro de paso del piñón y el engranaje, y z_1 , z_2 , el número de dientes respectivo.

En la figura 34 se muestra un sistema piñón engranaje, donde se detalla el proceso de fabricación con respecto a la transmisión final, primero se tiene los cubos o ruedas de diámetro exterior, luego se comienza a tallar los dientes, y se observa que no podría haber transmisión de potencia o movimiento. Finalmente, en la tercera vista se colocan tangentes las circunferencias de paso del piñón y el engranaje, para lograr la transmisión de potencia.

Proceso de fabricación piñón engranaje

- Inicialmente el piñón y el engranaje no existen, sólo hay diámetros exteriores d_{e1} , d_{e2} que son prefabricados con el torno. Estos diámetros exteriores son d_{e1} para el cubo del piñón, y d_{e2} para el plato o rueda del engranaje.

El cubo del piñón es:

$$d_{e1} = d_1 + 2m, \text{ o } d_{e1} = m(z_1 + 2)$$

Pues: $d_1 = z_1 \cdot m$

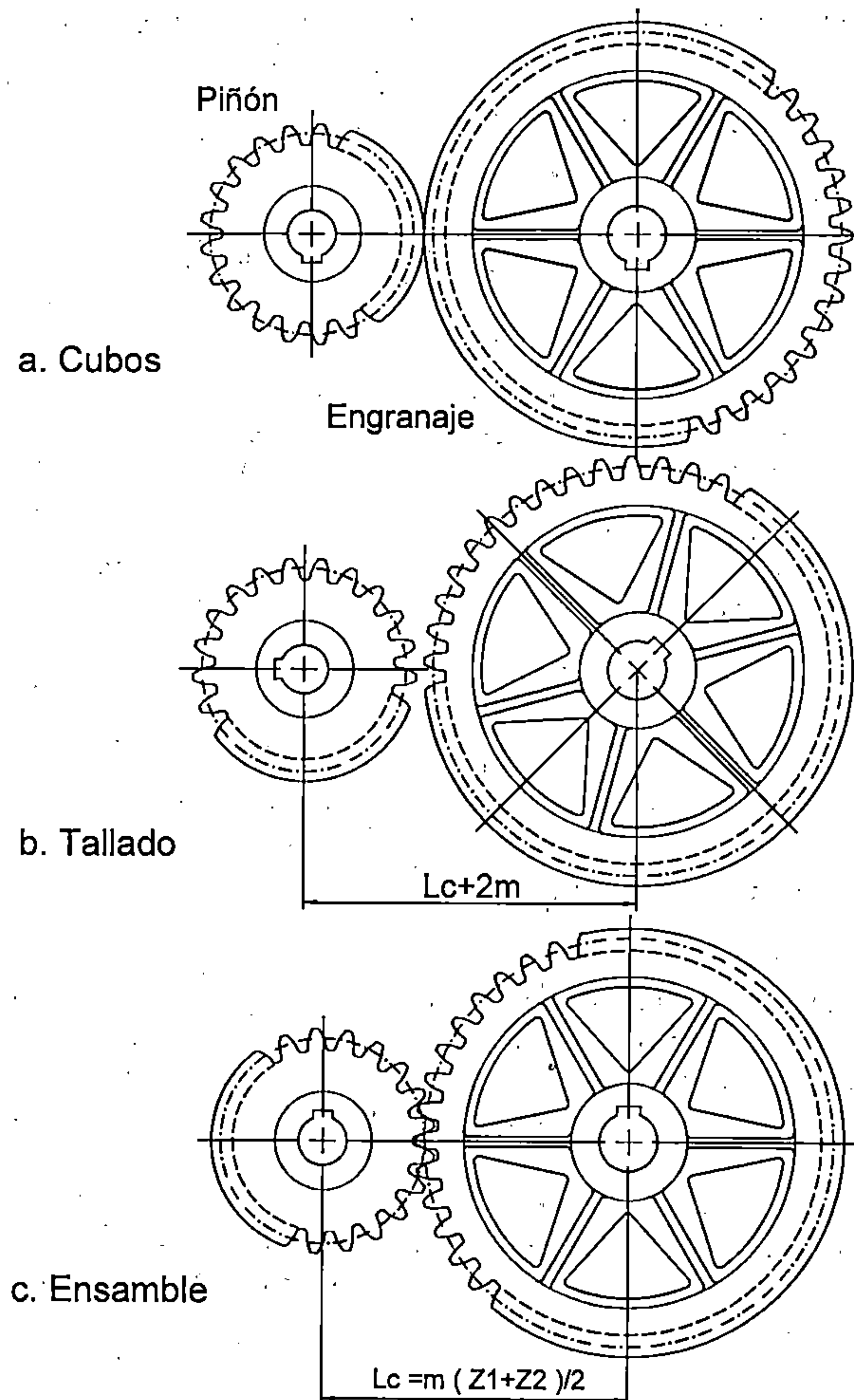


Figura 34. Detalle de la fabricación y ensamble del sistema de transmisión piñón engranaje:
 a.-Cubos de diámetro exterior.
 b.-Tallado de los dientes.
 c.-Ensamble de la transmisión con los diámetros de paso.

El plato del engranaje es:

$$de_2 = d_2 + 2m, \text{ o } de_2 = m(z_2 + 2)$$

Pues $d_2 = z_2 \cdot m$

- Se selecciona la fresa de acuerdo con el módulo m y el rango z del número de dientes del piñón o el engranaje. La profundidad de pasada de la fresa (figura 33) será la altura del diente, que es igual para piñón y engranaje. La altura o profundidad es:

$$h = 2,25m$$

- Para tallar el siguiente diente, se utiliza el "cabezal divisor" de la fresadora o reductor de vueltas, que generalmente tiene una reducción de RC 40 vueltas de la manivela por una vuelta de su eje principal o eje del engranaje a tallar. Entonces, el número de vueltas y fracción de vueltas de la manivela será llamado GIRO o n_v :

$$n_v = \frac{RC}{z} = \frac{40}{z_1} \quad (\text{vueltas y fracción de vueltas de la manivela})$$

donde:

RC reducción del cabezal divisor (40)

z número de dientes del engranaje a tallar

Esta operación se repite para cada nueva pasada al generar el nuevo diente o canal del diente.

Para el piñón, el giro será: $n_{v1} = \frac{40}{z_1}$

Para el engranaje, el giro será: $n_{v2} = \frac{40}{z_2}$

El esquema de la figura 35 muestra el plato divisor con sus agujeros, su manivela y el eje de salida para montar el cubo a convertirlo en engranaje.

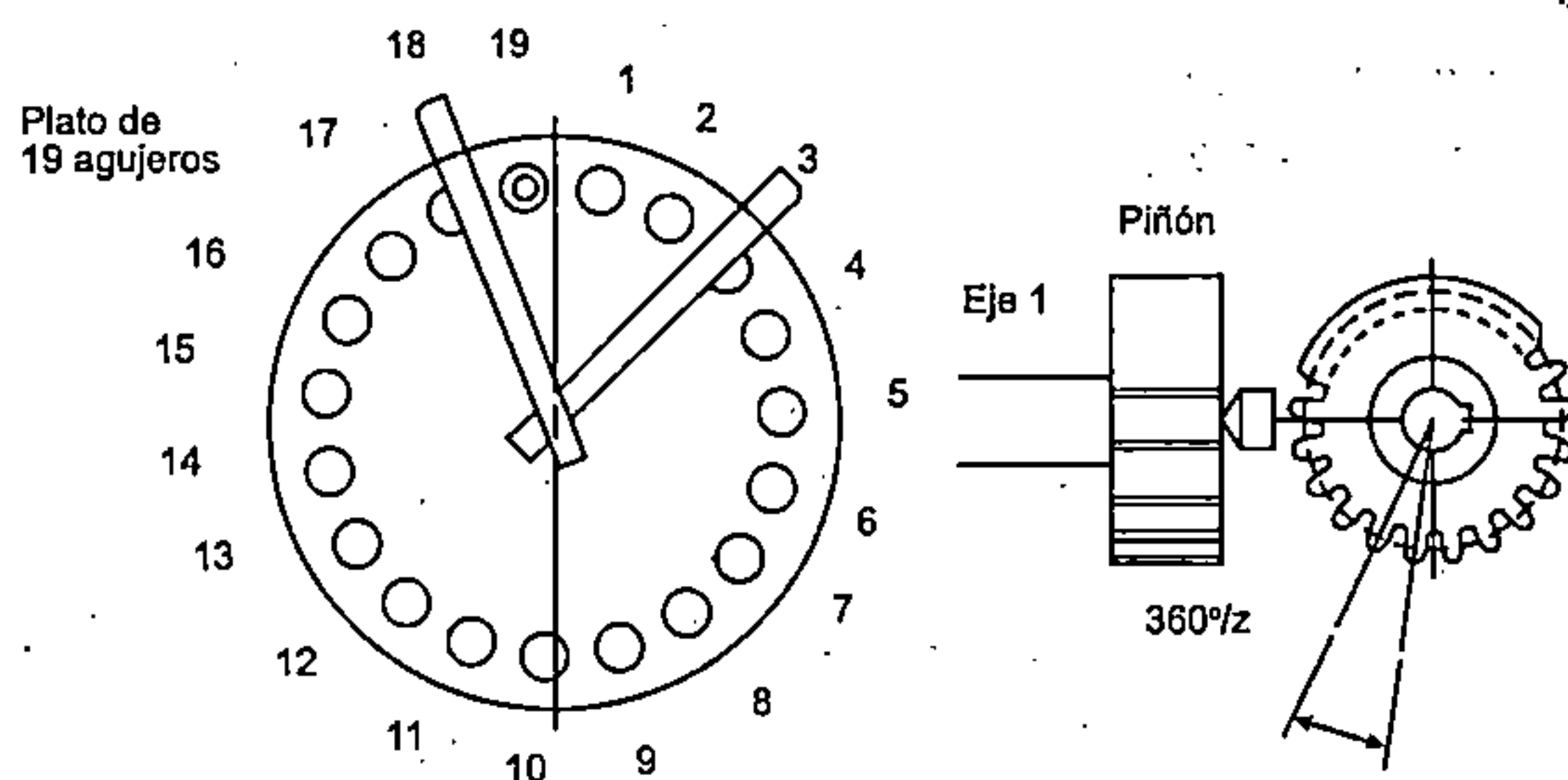


Figura 35. Plato divisor y cubo del piñón. El giro del plato de $2 \frac{2}{19}$ de vuelta se traduce sobre el eje 1 en el ángulo $360^\circ / z$ de vuelta. ($z = 19$ dientes).

El número común de agujeros en la circunferencia del plato divisor se muestra en la siguiente tabla.

Número de agujeros del plato divisor									
Cara I	17	19	21	24	29	33	39	43	49
Cara II	15	18	20	23	27	31	37	41	47

Tabla 5.

La figura 35 muestra el ejemplo del número de vueltas de la manivela n_{V1} para un número de dientes del piñón a tallar $z_1 = 19$ dientes.

El cálculo es:
$$n_{V1} = \frac{40}{z_1},$$

es decir :
$$n_{V1} = \frac{40}{19} = \frac{2(19)+2}{19} = 2 \frac{2}{19} \text{ vueltas.}$$

Este quebrado significa 2 vueltas de la manivela y 2 agujeros de la circunferencia de 19 agujeros del plato divisor.

Las fresas para engranajes, para un mismo módulo, un ángulo de presión de 20° y material HSS acero superrápido, son:

Fresa Nº 1	$z = 12$ a 13 dientes
Fresa Nº 2	$z = 14$ a 16 dientes
Fresa Nº 3	$z = 17$ a 20 dientes
Fresa Nº 4	$z = 21$ a 25 dientes
Fresa Nº 5	$z = 26$ a 34 dientes
Fresa Nº 6	$z = 35$ a 54 dientes
Fresa Nº 7	$z = 55$ a 134 dientes
Fresa Nº 8	$z = 135$ y más dientes

Los módulos más comunes de fresas para engranajes son:

Módulo	Diámetro de la fresa (mm)	Agujero de la fresa (mm)	Módulo	Diámetro de la fresa (mm)	Agujero de la fresa (mm)
0,5	40	16	3,25	75	27
0,6	40	16	3,5	75	27
0,7	40	16	3,75	80	27
0,75	40	16	4	80	27
0,8	40	16	4,25	85	27
0,9	50	16	4,5	85	27
1	50	16	4,75	90	27
1,25	50	16	5	90	32
1,5	60	22	5,5	95	32
1,75	60	22	6	100	32
2	60	22	7	105	32
2,25	60	22	8	110	32
2,5	65	22	9	115	32
2,75	70	27	10	120	32
3	70	27			

Relación de transmisión

La relación de transmisión r_t se puede considerar generalmente mayor que la unidad. Entonces, la relación de transmisión se define como la velocidad angular mayor o del piñón entre la velocidad angular menor o de la rueda grande en un par piñón engranaje.

Siempre el piñón o rueda pequeña gira más rápido (n_1)

Siempre el engranaje o rueda grande gira más lento (n_2)

Entonces, se cumple: $r_t = \frac{n_1}{n_2}, r_t = \frac{z_2}{z_1}, r_t = \frac{d_2}{d_1}$

Donde: n_1, n_2 , son las rpm del piñón y el engranaje.
 z_1, z_2 , son el número de dientes del piñón y el engranaje.
 d_1, d_2 , son los diámetros de peso del piñón y el engranaje.

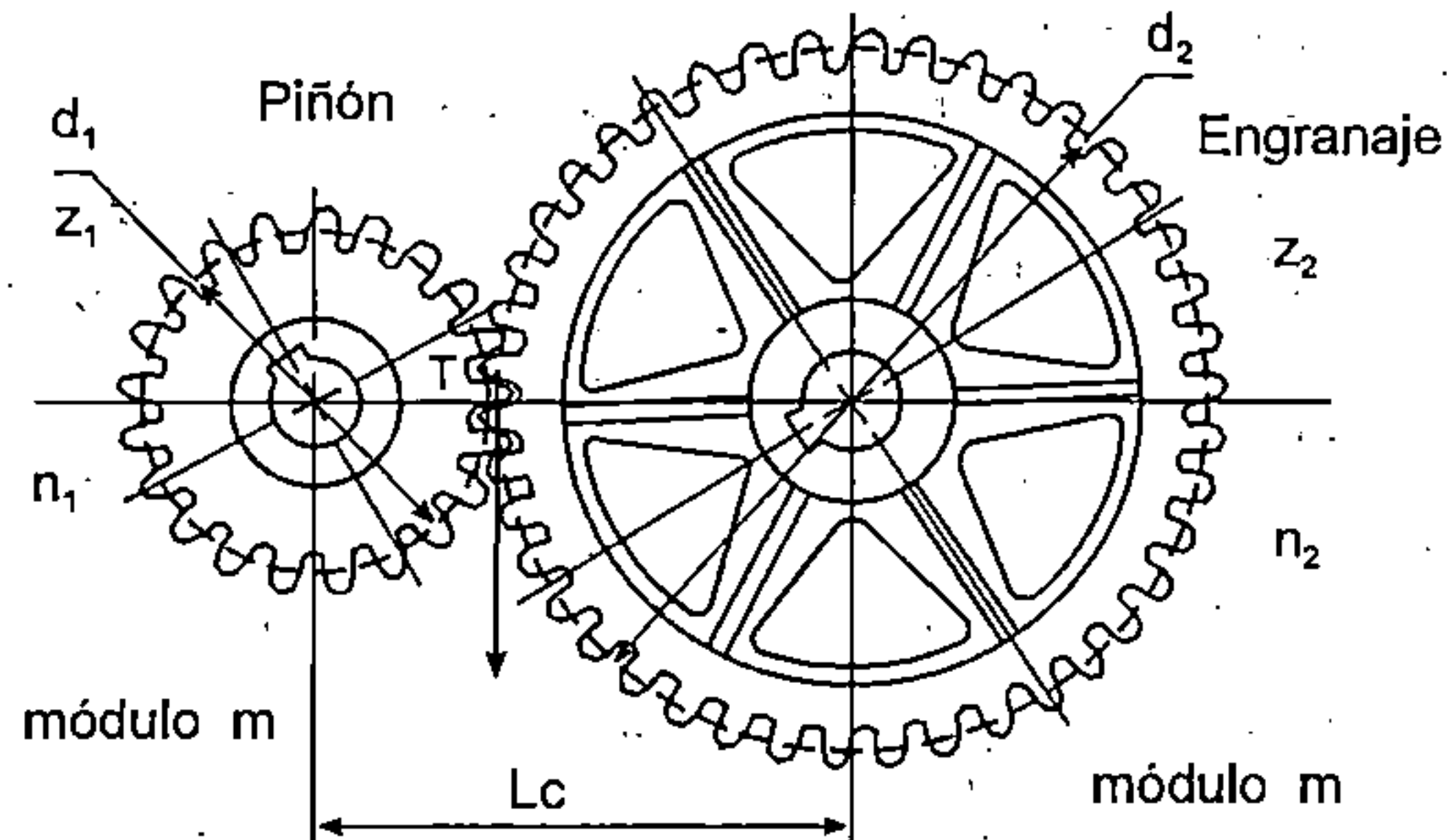


Figura 36. Diámetros de paso del piñón y el engranaje
(v: velocidad tangencial en el punto de tangencia T. Las revoluciones son $n_1 > n_2$).

El esquema de la figura 36 muestra los diámetros de paso y las circunferencias de paso del piñón y el engranaje.

Por lo tanto, se tiene la velocidad tangencial para ambas ruedas:

v = velocidad tangencial en el punto de contacto

y se cumple: $v = n_1 \frac{d_1}{2} = n_2 \frac{d_2}{2}$, despejando: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$ (I)

Además, los diámetros de paso son: $d_1 = m z_1$, $d_2 = m z_2$, es decir:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (\text{II})$$

Igualando I y II se tiene: $\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$

Finalmente: $r_t = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$, donde: $r_t > 1$ (generalmente)

También $n_1 > n_2$, pero $d_2 > d_1$, $z_2 > z_1$

Nota: Generalmente los valores de n_1 , n_2 , están dados en rpm aproximadas, y se deben adecuar a los valores exactos de z_1 y z_2 (o d_1 y d_2), pues z_1 , z_2 son valores enteros del número de dientes de un piñón o engranaje.

Distancia entre centros

La distancia entre los centros L_c del sistema piñón engranaje queda definida por la semisuma de los diámetros de paso o primitivos, d_1, d_2 ($d_1 = mz_1, d_2 = mz_2$) m es módulo.

De la figura 38 se determina:

$$L_c = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{o} \quad L_c = \frac{m z_1 + m z_2}{2} \quad L_c = \frac{m (z_1 + z_2)}{2}$$

Nota: Se recomienda seleccionar medidas de L_c que sean fáciles de manejar en el proceso de montaje del sistema de transmisión.

Se prefieren valores de z_1 y z_2 impares, y de ser posible, números primos para z_1 o para z_2 . Esto garantiza una mayor duración del sistema, y un desgaste uniforme de los dientes del piñón y el engranaje.

2. PROBLEMAS DE APLICACIÓN EN EL FRESADO**Problema 1**

Hallar las rpm de una fresa de vástago para guía de cola de Milano, de diámetro mayor 30mm y diámetro menor 15mm. La fresa tendrá una velocidad de corte admisible de 35m/min.

Solución:

$$n = \frac{2v_c}{d} = \frac{2(35\text{m/min})}{30\text{mm}} \cdot \frac{1\text{Rev}}{2\pi\text{rad}} \cdot \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}}$$

$$n = 371 \text{ rpm}$$

Problema 2

Calcular la velocidad lineal de la mesa de trabajo de una fresadora de 2kw de potencia nominal, para maquinar un bloque de latón de 32mm de ancho con una profundidad de pasada de 5mm, usando una fresa cilíndrica y en una sola pasada.

Solución:

La figura 21 representa este ejemplo. Los datos son $b = 3,2\text{cm}$, $e = 0,5\text{cm}$, y de la tabla 2, se obtiene el volumen admisible de viruta latón y fresado cilíndrico $V = 30\text{cm}^3/\text{kw-min}$.

Del acápite sobre movimiento de avance (p. 190), la velocidad lineal de avance de la mesa:

$$v_L = \left(\frac{V}{b \cdot e}\right) \text{Pot}, v_L = \left(\frac{30\text{cm}^3/\text{kw-min}}{3,2\text{cm} \cdot 0,5\text{cm}}\right) 2\text{kw}$$

Luego:

$$v_L = 37,5\text{cm/min} = 375\text{mm/min}$$

Problema 3

Calcular la velocidad lineal a seleccionar para la mesa de trabajo de una fresadora de 2kw de potencia nominal, al maquinar un bloque de latón de 32mm de ancho con una sola pasada de desbaste del 5mm de profundidad, usando una fresa cilíndrica de acero de alta velocidad de 30mm de diámetro y 40mm de ancho y 6 labios. El fabricante recomienda 0,25mm/labio de avance para la fresa.

Solución:

(I) Del ejemplo 2 se obtiene la velocidad lineal, según la capacidad de la máquina fresadora: $v_L = 375\text{mm/min}$.

Según la capacidad de la herramienta o fresa, se tiene del acápite sobre movimiento de avance (p. 190): $v_L = a \cdot z \cdot n$

(II) De la tabla 3, el avance para fresa de acero de alta velocidad y material a maquinar latón es 0,11-0,53mm/labio. A falta de información exacta se tomará el valor intermedio $a = 0,32\text{mm/labio}$.

En este problema $a = 0,25\text{mm/labio}$.

El número de labios es: $z = 6$ labios.

Las rpm de la fresa son: $n = \frac{2v_c}{d_f}$, donde el diámetro de la fresa es:

$$d_f = 30\text{mm}$$

La velocidad de corte v_c , se obtiene de la tabla 1, es decir: 20–55m/min. Si es desbaste conviene 20m/min, si es acabado 55m/min o cercano, pero el avance deberá ser menor.

$$n = \frac{2(20\text{m/min})}{30\text{mm}} \cdot \frac{1\text{ Rev}}{2\pi\text{Rad}} \cdot \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} = 212\text{ RPM}$$

Luego : $v_L = 0,25\text{mm/labio} \cdot 6\text{ labios/rev} \cdot 212\text{rev/min}$
 $v_L = 318\text{mm/min}$

De I y II, se toma la menor velocidad, es decir:

$$v_L = 318\text{mm/min}$$

Problema 4

Calcular el tiempo aproximado de una pasada para fresar un bloque de 220mm de longitud, con una fresa cilíndrica de 30mm de diámetro. La velocidad lineal de la mesa de la fresadora es 318mm/min, y se tendrá una profundidad de pasada de 5 mm.

Solución:

Observemos la figura 22. El tiempo de pasada en el fresado cilindro, según el acápite de movimiento

de avance (p. 190) es: $t_p = \frac{L_T}{v_L}$

La longitud total es: $L_T = L + 2y + 2\Delta$

Longitud : $L = 220\text{mm}$

Asumiendo : $y = 3\text{mm}$,

Profundidad : $h = 5\text{mm}$

$$\Delta = \sqrt{\left(\frac{d_F}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_F}{2} - h\right)^2}$$

Diámetros de la fresa: $d_F = 30\text{mm } \phi$

$$\Delta = \sqrt{(15)^2 - (15 - 5)^2} \approx 11\text{mm}$$

$$\text{Luego: } L_T = 220 + 2(3) + 2(11) = 248\text{mm}$$

$$\text{El tiempo es: } t_p = \frac{248\text{mm}}{318\text{mm/min.}}$$

$$t_p = 078\text{min} = 47 \text{ seg}$$

Problema 5

Se tiene un sistema piñón de 23 dientes y engranaje de 78 dientes. El módulo de las ruedas dentadas es 2,25. El piñón gira a 1800 rpm.

Calcular:

- La distancia entre centros L_c
- Los diámetros de paso d_1 , d_2
- La relación de transmisión r_t
- Las rpm del engranaje n_2
- Los diámetros exteriores d_{e1} , d_{e2}
- La altura de los dientes h

Solución:

Nos referiremos al acápite 1.5

El módulo es $m = 2,25$

$$\text{a) } L_c = m \frac{z_1 + z_2}{2} = 2,25 \frac{(23 + 78)}{2} = 113,63\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } d_1 &= mz_1 = 2,25(23) = 51,75\text{mm} \\ d_2 &= mz_2 = 2,25(78) = 175,50\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{c) } r_t = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}, r_t = \frac{78}{23} = 3,39$$

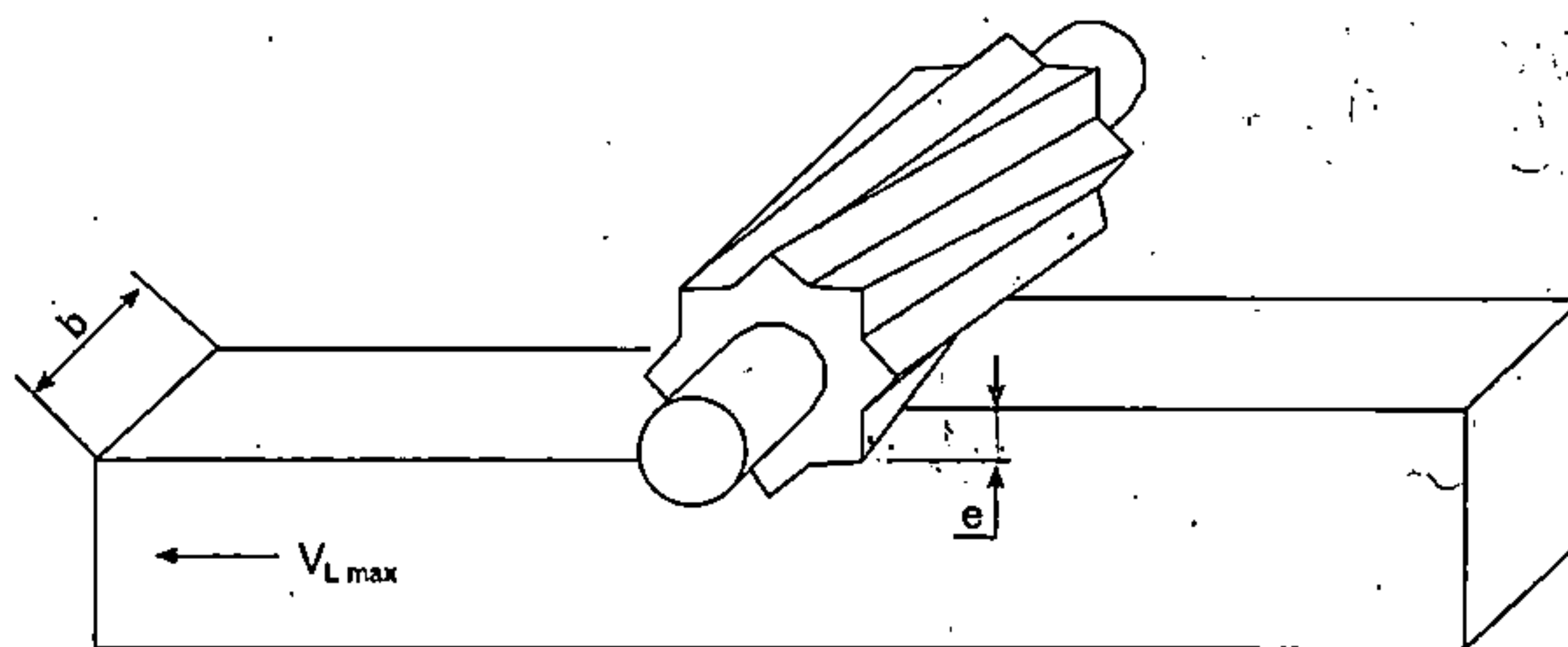
$$\text{d) } n_2 = \frac{n_1}{r_t} = \frac{1800}{3,39} = 531 \text{ RPM}$$

- e) $de_1 = d_1 + 2 m = m (z_1 + 2) = 56,25\text{mm}.$
 $de_2 = d_2 + 2 m = m (z_2 + 2) = 180,00\text{mm}.$
- f) $h = 2,25 m = 5,06\text{mm}.$

Problema 6

Se tiene que realizar el fresado cilíndrico de la superficie plana de una placa de 12x80x180mm de material acero SAE1010, con una fresa de 4 labios, de acero rápido, de 90mm de ancho y 60mm de diámetro. Se cuenta con una fresadora de 3kW de potencia nominal. La velocidad de corte puede ser 18m/min y el avance según el fabricante de fresas de 0,35mm/labio. Se debe reducir la placa de 12mm a un espesor final de 8mm. El volumen admisible de viruta puede considerarse 12cm³/kW-min. La velocidad lineal de la mesa en el acabado será el 70% de su valor en el desbaste.

- Determinar la velocidad de avance admisible de la mesa, en mm/min, si se pudiera realizar una sola pasada de desbaste para reducir los 4mm.
- Estimar la velocidad de avance admisible, en mm/min, si se realizan 2 pasadas de desbaste de 1.9mm de profundidad cada una, y una pasada de acabado final.
- Calcular el tiempo real de pasada del desbaste y el acabado del caso b.
- ¿Cuál es el espesor de viruta aproximado en el desbaste del caso b?
- ¿Cuál es el caudal de viruta en el desbaste del caso b?



Solución

a) Los datos son:

$e = 4\text{mm}$; $V = 12\text{cm}^3/\text{kW}.\text{min}$; $b = 80\text{mm}$ (material); $\text{Pot} = 3\text{kW}$
 $z = 4$ labios ; $a = 0,35\text{mm/labio}.$

Velocidad lineal de la mesa en desbaste v_{LD}

I. Por la máquina $v_{LD} = [V/b.e] \text{Pot}$

$$v_{LD} = 12 \frac{\text{cm}^3}{\text{KW} \cdot \text{min}} \times \frac{10^3 \text{mm}}{4 \text{mm} \times 80 \text{mm}} \times 3 \text{KW} = 112.5 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

II. Por la fresa $v_{LD} = a \cdot z \cdot n$;

$$n = 2 v_c / d_F = [2(18 \text{m/min}) / 60 \text{mm}] (1000 \text{mm} / 1 \text{m}) (1 \text{ Rev} / 2\pi \text{ rad}) \approx 95 \text{ rpm}$$

$$v_{LD} = (0,35 \text{ mm/labio}) (4 \text{ labios/Rev}) (95 \text{ Rev/min}) = 133 \text{ mm/min}$$

De I y II se escoge el menor valor, es decir: $v_{LD} = 112.5 \text{ mm/min}$

b) Las profundidades de desbaste son $h = e_1 = 1,9 \text{mm}$, $h = e_2 = 1,9 \text{mm}$, y la de acabado $h = e_3 = 0,2 \text{ mm}$. El maquinado total es: $e_T = 4 \text{mm}$

Desbaste por máquina:

$$V_{LD} = 12 \frac{1000}{1.9 \times 80} = 236.8 \text{ mm/min} \quad (I)$$

Desbaste por fresa:

$$v_{LD} = 133 \text{ mm/min} \quad (II)$$

De I y II se toma el menor

$$v_{LD} = 133 \text{ mm/min}$$

El acabado será :

$$v_{LA} = 0,7(v_{LD}) = 93,1 \text{ mm/min}$$

c) Según la figura 22, el tiempo para el fresado cilíndrico es: $t = L_T / v_L$, donde $L_T = L + 2y + 2\Delta$. Tomamos: $y = 3 \text{mm}$, $2y = 6 \text{mm}$. Datos son: $L = 180 \text{mm}$, diámetro de la fresa $d_F = 60 \text{mm}$. Desviación de la fresa:

$$\Delta = \sqrt{\left(\frac{d_F}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_F}{2} - h\right)^2}$$

Reemplazamos valores.

$$\text{Desbaste: } \Delta_1 = 10,5 \text{mm}, L_{T1} = 207 \text{mm}$$

$$\text{Acabado: } \Delta_3 = 10,5 \text{mm}, L_{T3} = 193 \text{mm}$$

3.46

El tiempo real por pasada será:

$$\text{Desbaste } t = 207 / 133 = 1,56 \text{min} \quad \text{Acabado } t = 193 / 93,1 = 2,1 \text{min}$$

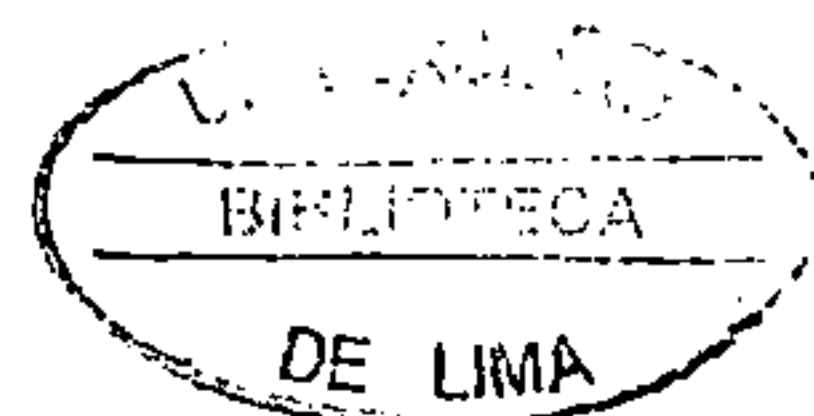
d) El espesor de viruta e_v es numéricamente igual al avance a en mm por labio.

Para el desbaste: $e_v = a = v_{LD} / z \cdot n$; $e_v = 0,35 \text{mm}$ por labio

Para el acabado: $e_v = a = v_{LA} / z \cdot n$; $e_v = 0,24 \text{mm}$ por labio

e) El caudal de viruta es: $Q = v_{LD} \cdot A_D = 133 \text{ mm/min} (1,9 \text{mm} \cdot 80 \text{mm})$

$$Q \approx 20,2 \text{ cm}^3 / \text{min}$$



Problema 7

Hallar el número de dientes del engranaje y la distancia entre centros, para que dicho engranaje gire a 400 rpm. El piñón tiene módulo 1,75 y 21 dientes, el cual es accionado directamente por un motor eléctrico a 1800 rpm. Además, indicar con qué diámetro de plato se debe iniciar el tallado del engranaje.

Solución

La relación de transmisión es: $r_t = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} \approx \frac{n_1}{n_2}$. Calculando: $r_t \approx \frac{1800}{400} = 4,5$;

luego $z_2 = z_1 \cdot r_t = 21(4,5) = 94,5$ dientes. Se selecciona $z_2 = 95$ dientes

La distancia entre centros es: $L_c = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$; donde: $m = 1,75$ es el módulo según dato.

Luego: $L_c = 101,5\text{mm}$

Tabulando posibilidades para la distancia entre centros L_c , con $z_1 = 21$ dientes, se tiene:

z_2	$L_c = 0,875 (21 + z_2) \text{mm}$
96	102,375
95	101,5
94	100,625
93	99,75
92	98,875
91	98,0

Los valores más cercanos a lo pedido son 94 y 95 dientes. 94 dientes tiene el inconveniente de dar para la distancia entre centros muchos decimales, además es número par. Por eso se escoge 95 dientes.

El plato inicial a tornear será el diámetro exterior del engranaje: $d_{e2} = m(z_2 + 2)$
reemplazando, se obtiene: $d_{e2} = 1,75(95 + 2) = \underline{169,75\text{mm}}$

Problema 8

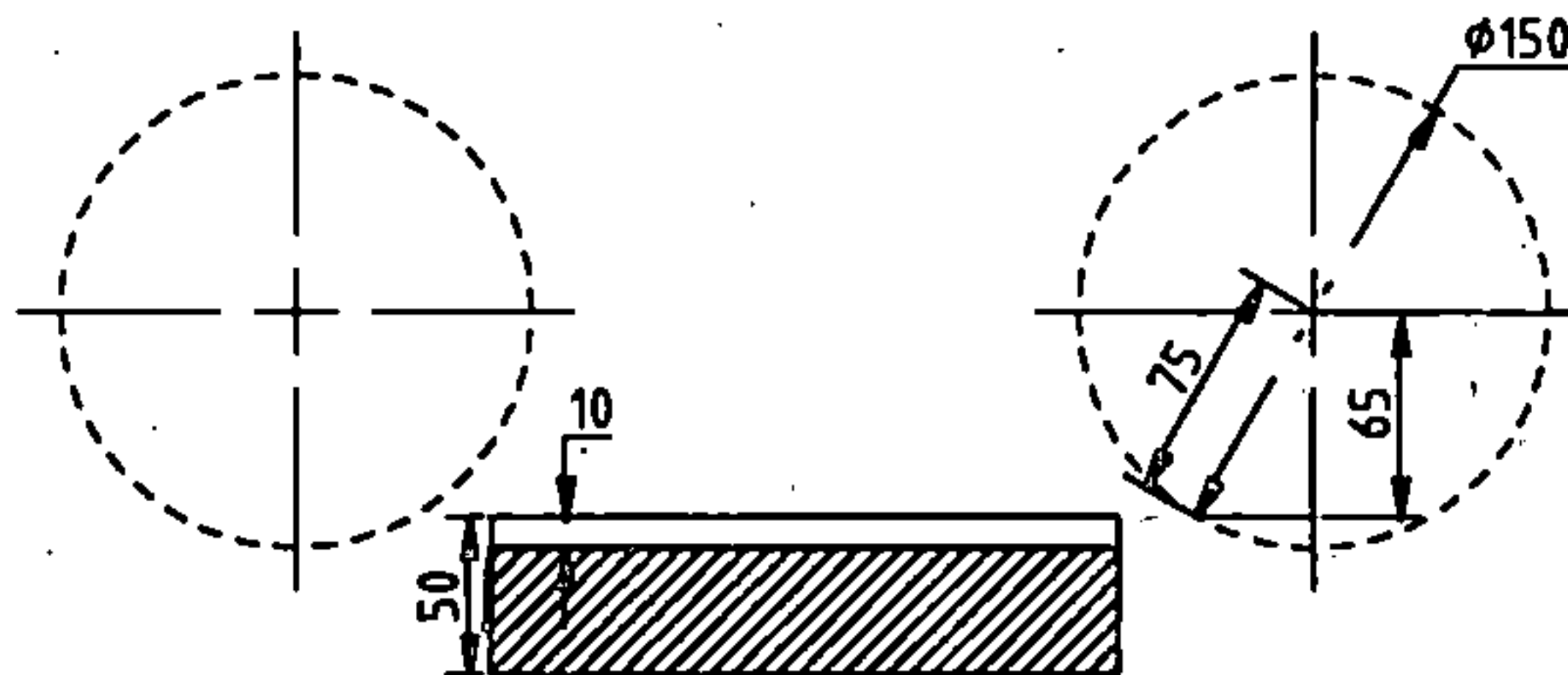
La fresadora universal de la FII – UL tiene rpm de regulación continua a la salida de su husillo portafresa, entre 35 y 1800 rpm. Su potencia nominal es 4,5kW y con una eficiencia mecánica total a la salida del husillo de 75%. Los avances automáticos de la mesa de trabajo, en mm/min, son:

20	30	40	60	80	115
155	230	310	460	615	920

A lo largo de un eje SAE 4350, de longitud 200mm, y diámetro $\phi 50$ mm, se desea maquinar un canal chavetero rectangular de 16mm de ancho y 10mm de profundidad. El canal se fresará en una sola pasada. La fresa de disco a utilizar tiene $\phi 150$ mm de diámetro exterior y 22 dientes, y es de material acero de alta velocidad.

Determinar:

- la velocidad de rotación del husillo en rpm, a seleccionar.
- la velocidad de avance de la mesa en mm/min, a seleccionar.
- el caudal de viruta que despide la fresa, en cm^3/min .
- el tiempo de ejecución de la pasada.



Solución:

Considerando la eficiencia de la fresadora $P_{\text{ot}} = 4,5\text{kW} (0,75) = 3,375\text{kW}$.

De la tabla 1 para material acero duro y fresa de acero de alta velocidad, se tiene $v_c = 15\text{m/min}$.

a) Las rpm serán: $n = 2 v_c / d_F = 32\text{rpm}$

b) El fresado es cilíndrico. De la tabla de viruta admisible (tabla 2), para acero aleado se tiene $V = 8\text{cm}^3/\text{kW}/\text{min}$. Según la tabla 3, el avance puede ser $a = 0,15\text{mm}/\text{labio}$ como máximo. La velocidad lineal de la mesa es:

I. Por el lado de la máquina $v_L = (V/b.e)P_{\text{ot}} = (8/1\text{cm} \cdot 1,6\text{cm})3,375\text{kW} = 16,9\text{cm/min}$

$$v_L = 169\text{mm/min}$$

II. Por el lado de la fresa $v_L = a.z.n = 0,15(22)35 = 115,5\text{mm/min}$

De I y II, el menor valor es: Desbaste $v_{LD} = 115,5$

Para una sola pasada será: Acabado $v_{LA} = 0,7(115,5) = 80,85\text{mm/min}$

De tablas se selecciona $v_L = 60\text{mm/min}$.

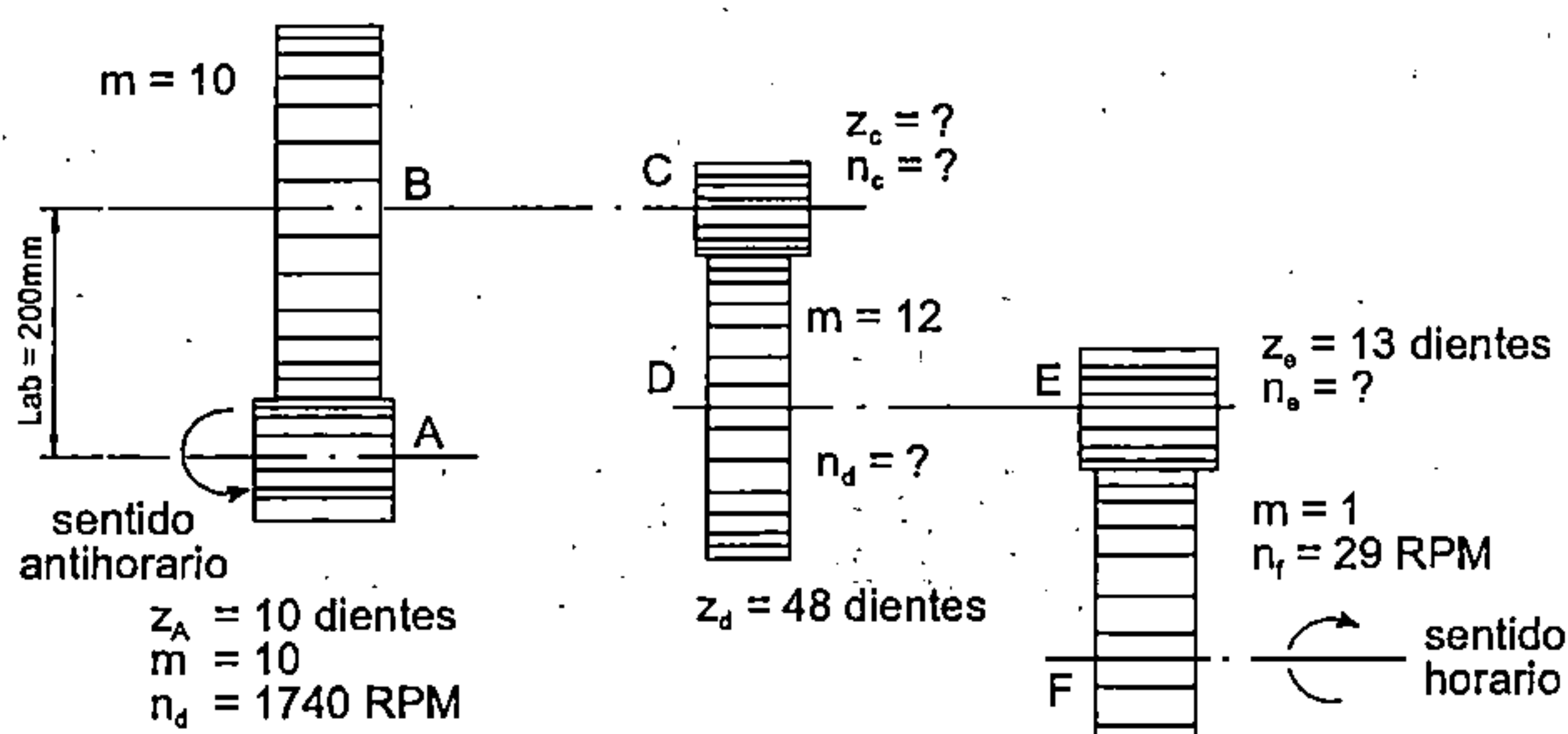
c) El caudal es $Q = v_L \cdot A_r = 60(16 \cdot 10) = 9600\text{mm}^3/\text{min} = 9,6\text{cm}^3/\text{min}$

d) De la figura 22 se obtiene: $L_T = 200 + 2(3) + 2(37,4) = 281\text{mm}$.

El tiempo de pasada será: $t = L_T/v_L = 281/60 = 4,7\text{min.}$

Problema 9

Se desea fabricar en material bronce con la fresadora, un piñón (1) y un engranaje (2) de dientes rectos, para la caja Norton de un torno. Entre el eje del motor eléctrico de 2HP de 1750rpm y el eje del piñón, hay una reducción de velocidad de 2, a través de un sistema faja-polea hacia el piñón. El engranaje deberá girar a 280rpm aproximadamente, pero puede haber una variación de $\pm 10\%$. Se cuenta con una fresa de módulo 2,5 para tallar los dientes. El piñón deberá tener 23 dientes y un ancho de dos pulgadas.



Calcular:

- El diámetro del cubo para tallar el piñón.
- El número de dientes que tendrá el engranaje.
- La distancia entre centros piñón-engranaje.
- El diámetro del cubo para tallar el engranaje.
- La relación de transmisión efectiva piñón-engranaje.

Solución:

- a) El diámetro exterior del piñón d_{e1} es el diámetro del cubo a tornear.

$$d_{e1} = m (z_1 + 2) = 2,5(23) \text{ mm} + 2 (2,5) = 62,5\text{mm.}$$

- b) La relación de transmisión entre las poleas A y B es 2: $r_{AB} = n_A/n_B$; $2 = 1750/n_B$; donde $n_B = 875\text{rpm}$
Entonces: $n_B = n_1 = 875\text{rpm}$

La relación de transmisión piñón-engranaje es:

$$r_t = z_2/z_1 = d_2/d_1 \approx n_1/n_2; r_t = 875/280 = 3,125. \text{ Luego: } z_2 = 3,125 z_1 \approx 71 \text{ dientes}$$

c) La distancia entre centros es: $L_c = \frac{d_1 + d_2}{2}$. Los diámetros de paso son:

$$d_1 = m \cdot z_1 = 2,5(23) = 57,5\text{mm}; \quad d_2 = m z_2 = 2,5(71) = 177,5\text{mm}$$

$$\text{Luego: } L_c = 117,5\text{mm}$$

d) Diámetro exterior del engranaje $d_{e2} = 177,5 + 2(2,5) = 182,5\text{mm}$

e) La relación de transmisión efectiva será: $r_t = z_2/z_1 = 71/23 = 3,09$

Problema 10 (propuesto)

Una caja de reducción tiene tres trenes de engranajes rectos, para la caja de un tractor de orugas, Caterpillar, de 250hp. Los datos son los siguientes:

Primer tren, entrada de rotación antihoraria de 1740rpm, módulo 10, distancia entre centros del primer tren 200mm y el piñón con 10 dientes.

Segundo tren, relación de reducción de 4/1, módulo 12, número de dientes del engranaje 48 dientes.

Tercer tren, módulo 16, velocidad de salida 29rpm, piñón con 13 dientes.

- Hacer un esquema de los trenes de engranajes y el sentido de rotación a la salida.
- El número de dientes de los elementos de la reducción que no se han definido aún.
- Las distancias entre centros del segundo y tercer tren.
- Si tuviese que tallar el engranaje de 48 dientes del segundo tren con la fresadora, ¿cuántas vueltas tendría que darle a la manivela del plato divisor?

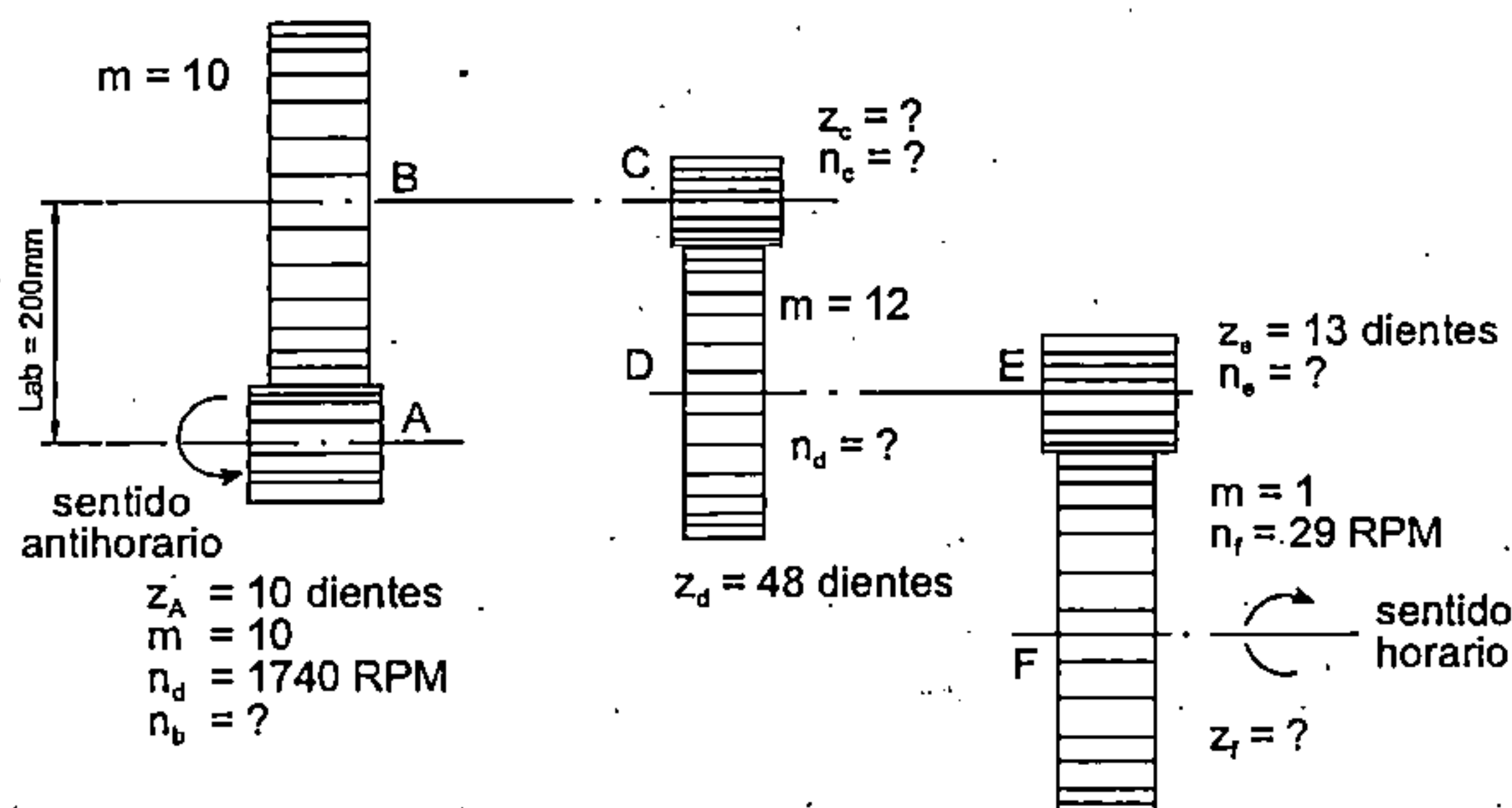
Explicar

Número corriente de agujeros del plato divisor.

15	17	18	19	20	21	23	24	27
29	31	33	37	39	41	43	47	49

Respuesta

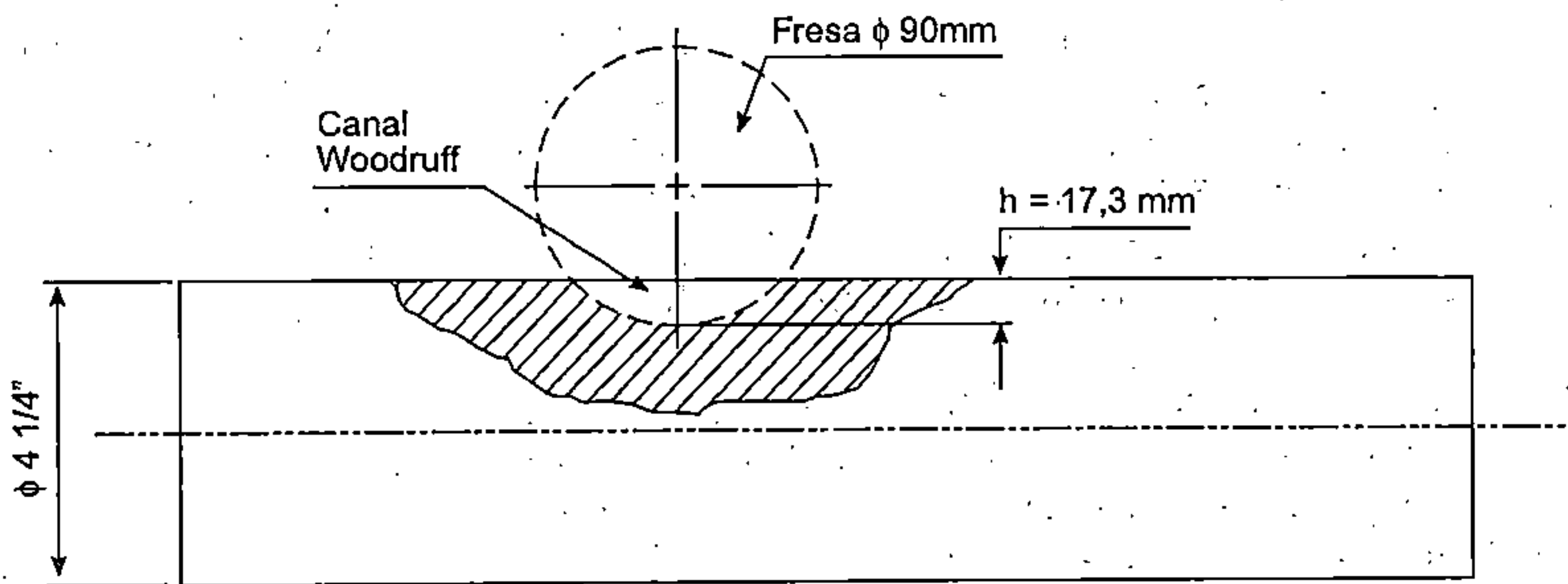
a)



- b) Número de dientes: $z_b = 30$; $z_c = 12$; $z_e = 13$; $z_f = 65$.
 c) Distancia entre ejes: $L_{cd} = 360\text{mm}$; $L_{ef} = 620\text{mm}$.
 d) Menos de una vuelta, es decir: $15/18$ (15 espacios de la circunferencia de 18 agujeros) o $20/24$ (20 espacios de la circunferencia de 24 agujeros).

Problema 11 (propuesto)

Se tiene un eje de $4 \frac{1}{4}$ pulgadas de diámetro y material acero SAE 8630 de una máquina laminadora. Se desea fabricar sobre el eje un canal chavetero tipo Woodruff de ancho 12mm y profundidad 17,3mm. Se usará una fresa cilíndrica de 90mm de diámetro exterior de los labios y 24mm de diámetro de su agujero de montaje al husillo. Los filos son de pastillas carburadas y 5 labios. El fabricante recomienda para la fresa un avance de 0,22mm/labio para maquinado de aceros al carbono y 0,10mm/labio para maquinado de aceros aleados. El maquinado se realizará en una sola pasada, dejando el canal acabado. El retiro de la fresa antes del corte es de 4mm. La fresadora tiene una potencia nominal de 2hp.



- ¿Cuál es el volumen de viruta desalojado?
- ¿Cuántas rpm recomienda para la fresa?
- ¿Cuál es la velocidad de avance en mm/min con qué debe ascender la mesa de trabajo para el maquinado del canal?
- ¿Cuál es el tiempo de pasada del fresado?

Problema 12 (propuesto)

Se tiene un sistema de transmisión piñón (1800rpm)-engranaje. La reducción es de 5 a 1. El piñón es de módulo 1,75.

- Hacer un esquema del sistema mostrando por lo menos un diente del piñón y uno del engranaje. Se debe notar claramente que los diámetros de paso son tangentes.
- Hallar el número de dientes que recomienda para el engranaje.
- Hallar la distancia entre centros.
- Hallar el diámetro del cubo que se debe torneear previo al tallado de los dientes.

Problema 13 (propuesto)

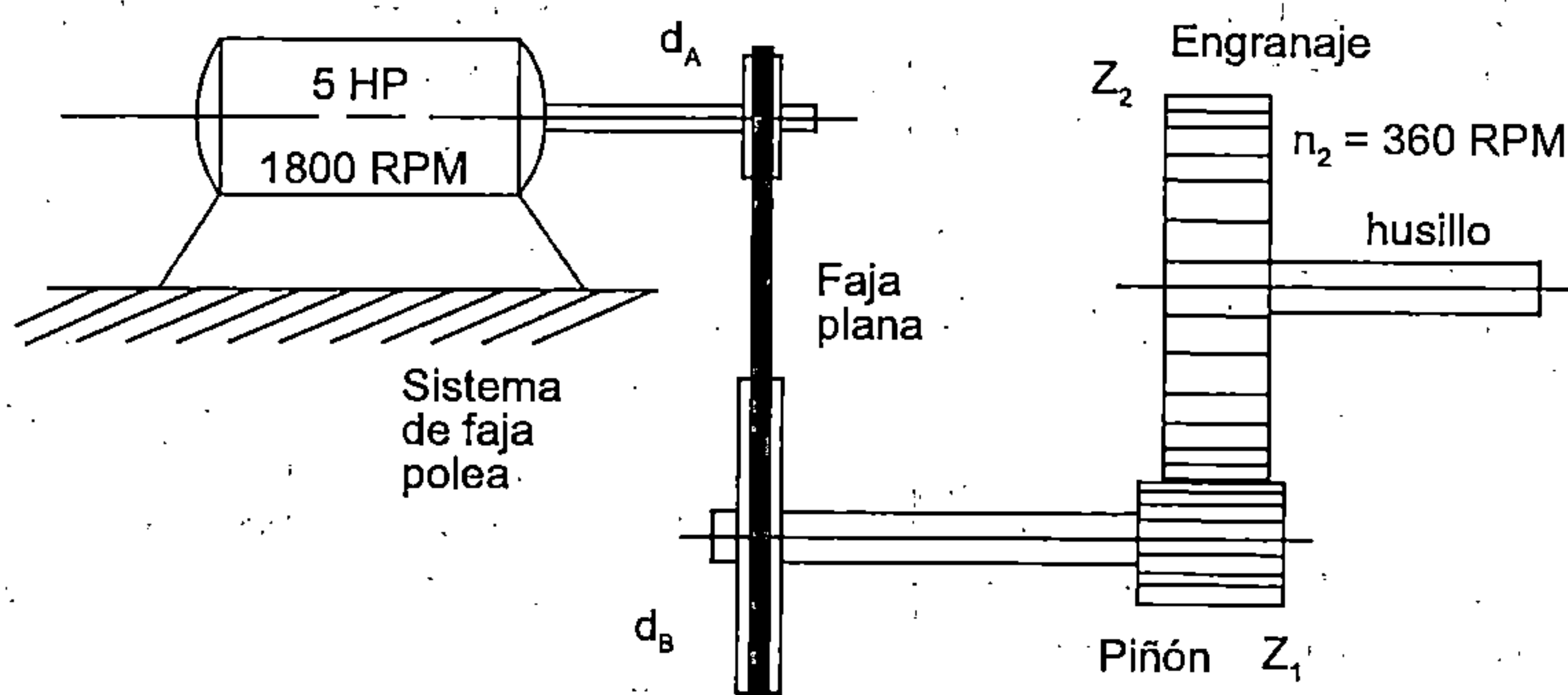
Para el fresado plano o vertical de la superficie de una placa de 12x80x180mm de material acero SAE4125, con una fresa vertical, de 40mm de diámetro y 8mm de longitud de labios, se cuenta con una fresadora de 4,5kW de potencia nominal. La fresa tiene 2 labios, y sus dientes son de carburo de tantalio. Se desea reducir la placa a un espesor final de 9mm. Por razones técnicas, se dará a la superficie dos pasadas de desbaste y una de acabado de 0,1mm de profundidad (tablas en anexos).

- Hallar la velocidad de avance recomendable de la mesa en mm por minuto para el acabado.
- Determinar el tiempo real, en segundos, de cada pasada de desbaste.
- Estimar el tiempo total de maquinado.

Problema 14 (propuesto)

Dado el motor de 5HP, 1800rpm del cabezal principal de un torno paralelo, se desea fabricar el piñón y el engranaje correspondiente a la velocidad del *chuck* del husillo de 360rpm $\pm$ 5% error. La transmisión inicial de reducción de velocidad se realiza a través de un sistema faja-polea. La polea A tiene un diámetro de 2" ϕ , y la polea B de 9" ϕ , donde la distancia entre centros es 12". Se cuenta con fresas para engranajes módulo 1,75 – 2 – 2,5 y 3,0. Para garantizar la transmisión de potencia, la altura de los dientes debe ser mayor de 5mm. El ancho del engranaje es 1".

- ¿Qué número de dientes z_2 se recomienda para tallar el engranaje?
- A partir de la masa (material) ya preparada en el torno, ¿cuánto tiempo se necesita para tallar el engranaje en la fresadora?
- ¿Cuál es el torque a la salida (eje del husillo)?
- ¿Cuál es la longitud aproximada de la faja?



CAPÍTULO VI

OTRAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS

Además del torno paralelo y la fresadora universal, que han sido ampliamente tratados en los capítulos cuatro y cinco, respectivamente, hay máquinas herramientas complementarias en un trabajo de maquinado. Éstas son: la limadora, la rectificadora, el taladro de columna y la sierra mecánica, que serán tratados en este capítulo.

1. LA LIMADORA O CEPILLO DE CODO

Entre el limado y el cepillado no hay mucha diferencia en las características de trabajo. No obstante, en la práctica se debe separar una limadora o cepillo de codo de una máquina de cepillado llamada cepilladora.

La limadora o cepillo de codo sirve para limar piezas pequeñas, con longitudes no mayores de 500mm. En la limadora, la herramienta de corte da el movimiento de corte V_c en vaivén, mientras el movimiento de avance V_L ó a , lo da la pieza de trabajo, es decir la mesa (figura 1).

La cepilladora maquina superficies de piezas grandes, y por lo tanto, es la pieza la que realiza el movimiento de corte V_c , en tanto la herramienta realiza el movimiento de avance V_L (figura 2).

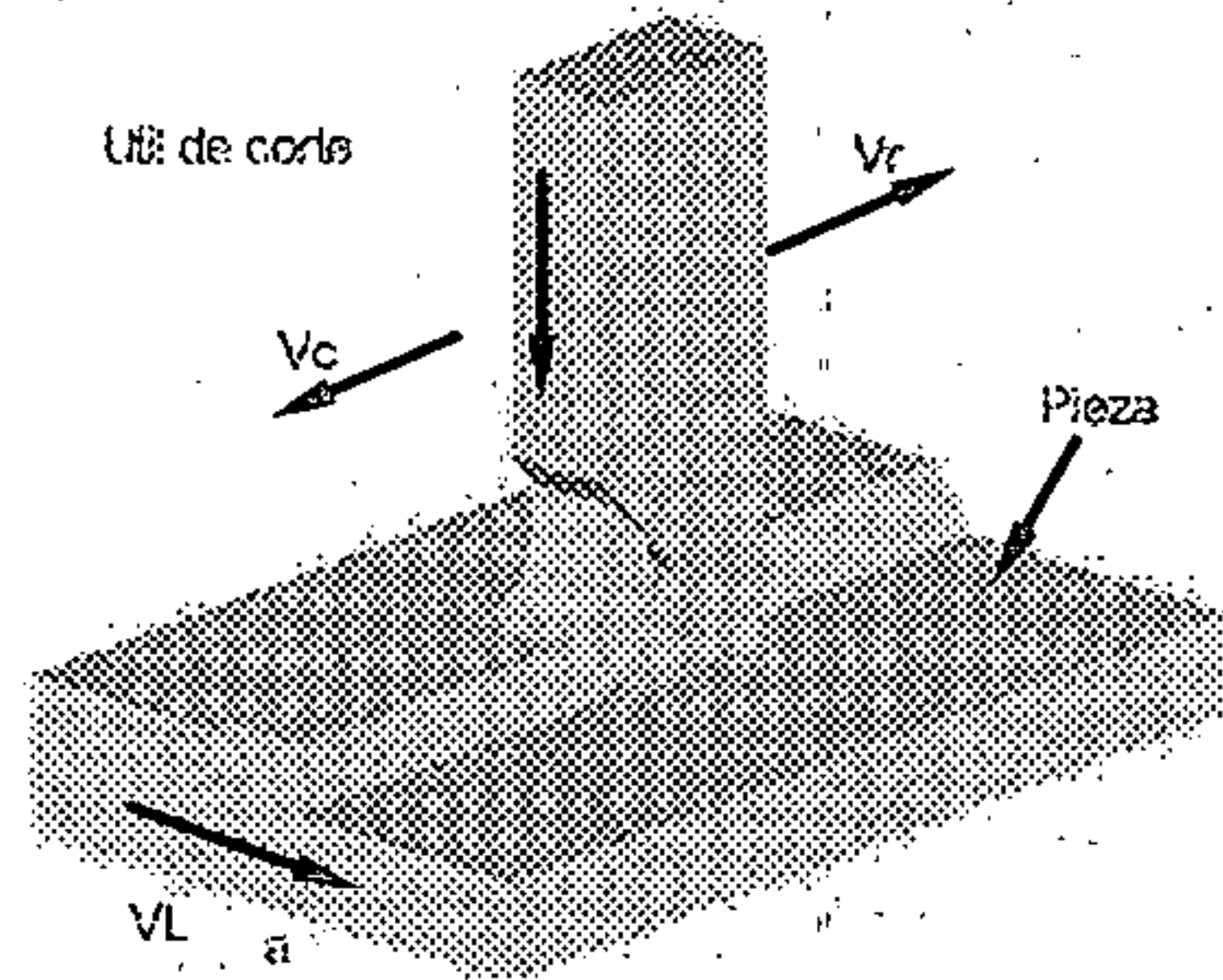


Figura 1. Limado de una superficie. V_c Velocidad variable de corte del útil, V_r Velocidad variable de retorno o descanso, V_L avance lineal de la pieza, p movimiento de profundidad de pasada.

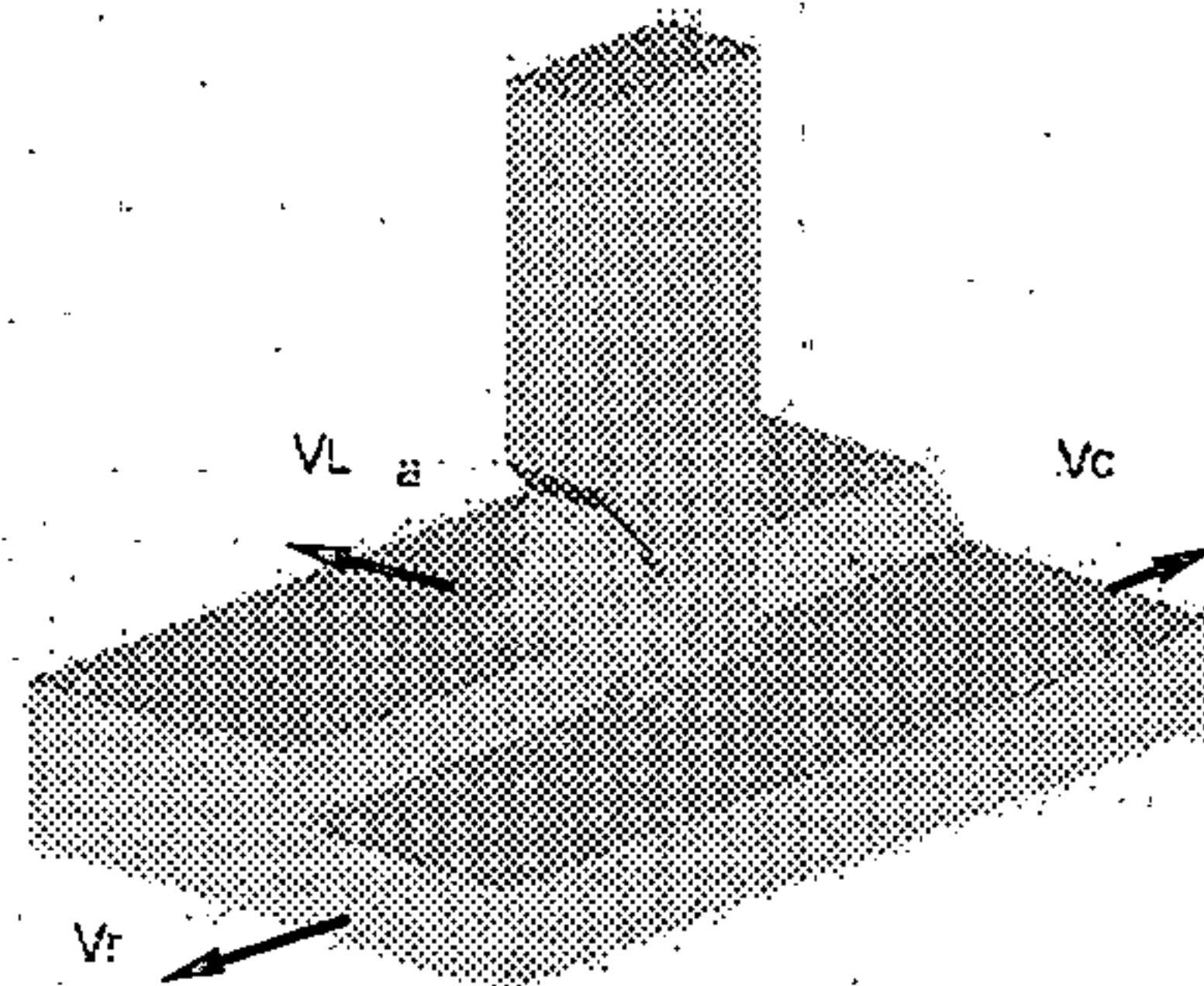


Figura 2. Cepillado de una superficie. V_c Velocidad variable de corte de la pieza, V_r velocidad variable de retorno de la pieza, V_L a avance lineal del útil de corte.

Operaciones realizadas en una limadora

Con la limadora pueden realizarse diversos maquinados, como obtener una superficie horizontal, una superficie plana en diagonal, o tipo canal en V. Además, se pueden realizar cortes verticales, biselés, maquinar en ángulo, corte de canales chaveteros, asientos para chavetas, aberturas internas y canales tipo cola de milano, entre otros.

Todas las operaciones requieren del acondicionamiento previo de la máquina con la respectiva cuchilla, y la manera en que ha de sujetarse la pieza en la limadora.

1.1 Partes de una limadora o cepillo de codo

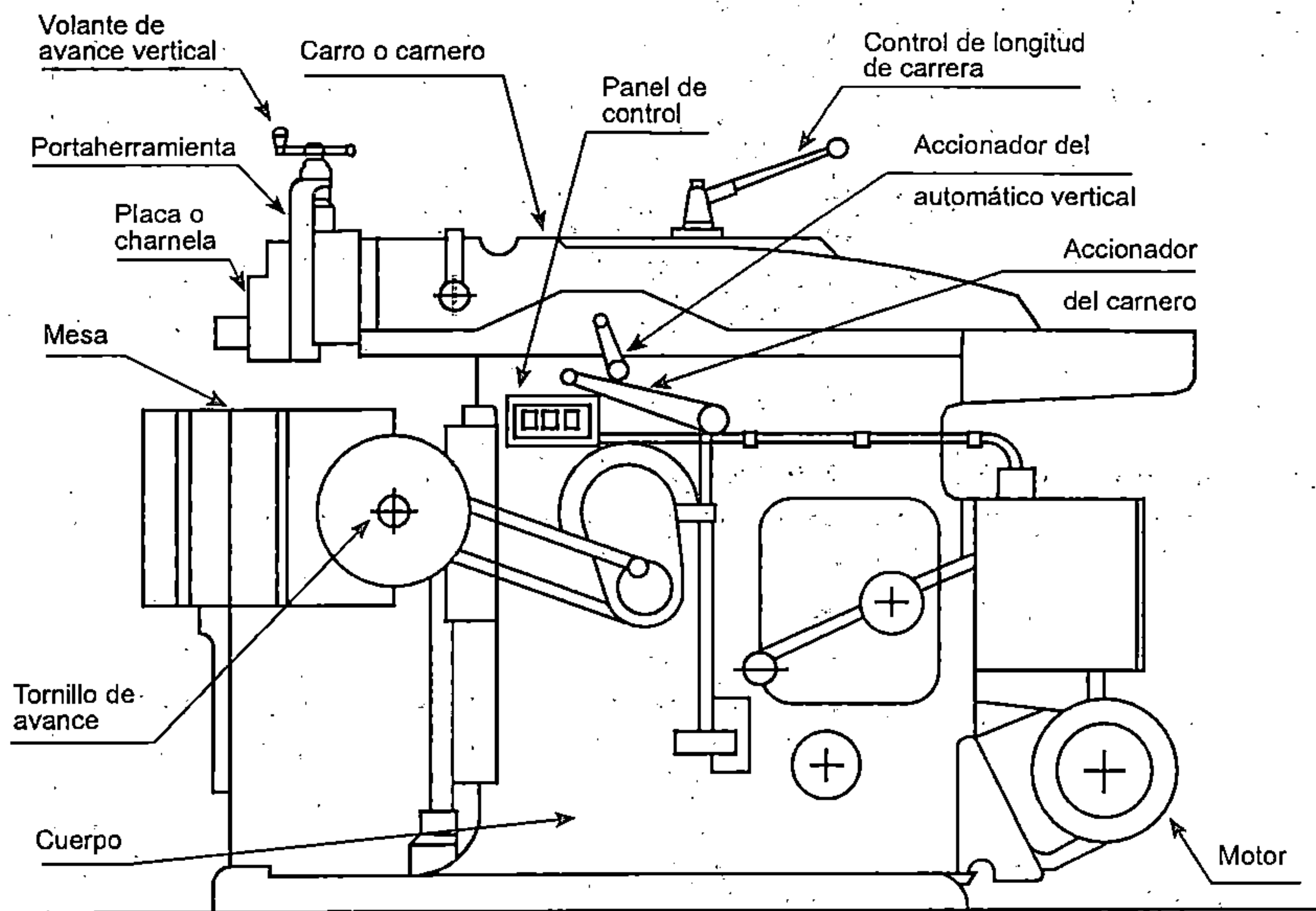


Figura 3. La limadora y sus partes.

Las partes principales de una limadora o cepillo de codo son: la mesa de trabajo, donde se apoya la pieza a maquinar; el porta herramienta, para montar el útil de corte; y la volante de avance vertical, que generalmente entrega la profundidad de pasada.

Las limadoras son accionadas por un disco-manivela que hace oscilar a una biela que lleva el carro o carnero hacia atrás y hacia delante. Con una palanca se regula la carrera según la longitud del trabajo a realizar. El corte del metal se realiza normalmente durante el movimiento hacia delante del carnero, empujando la cuchilla contra el material, para el arranque de viruta.

La carrera de retorno de la limadora es más rápida, pues en ella no se realiza trabajo, simplemente regresa la cuchilla a su posición inicial.

Durante la carrera de retorno la pieza también se mueve en dirección horizontal perpendicular al movimiento de la herramienta; este movimiento se llama avance. El movimiento de avance es discon-

tinuo ya que sólo se produce cuando la cuchilla regresa a su posición inicial. En la figura 3 se muestran las principales partes de una limadora.

1.2 Longitud de carrera y velocidad de corte

La velocidad de corte o de trabajo V_c del carro de la limadora, menor que la velocidad de retorno V_r . Se puede observar en el diagrama de velocidad de la figura 4, que ambas velocidades varían entre el valor cero y un valor máximo.

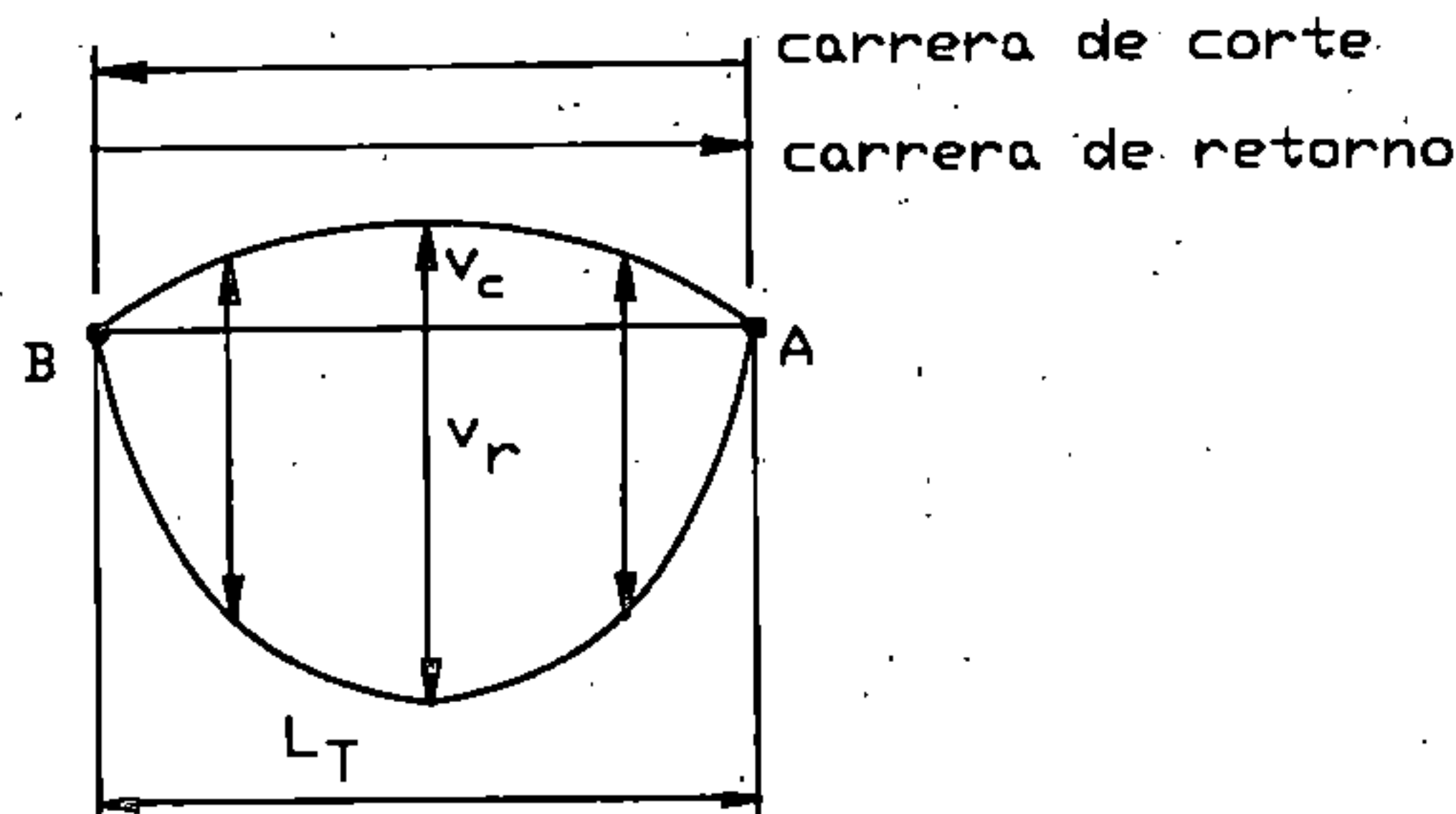


Figura 4. Diagrama de velocidades del carro de una limadora. La velocidad de corte V_c es menor que la velocidad de retorno V_r , es decir $V_c < V_r$.

Las velocidades de corte y retorno promedio son: $V_c = \frac{L_T}{t_c}$, $V_r = \frac{L_T}{t_r}$,

Donde: L_T es la carrera del carro, t_c , t_r son los tiempos de corte y de retorno respectivamente, $t_c = L_T / V_c$, $t_r = L_T / V_r$.

A partir de una pieza de longitud L , la longitud de la carrera será: $L_T = y + L + 2y$, donde:

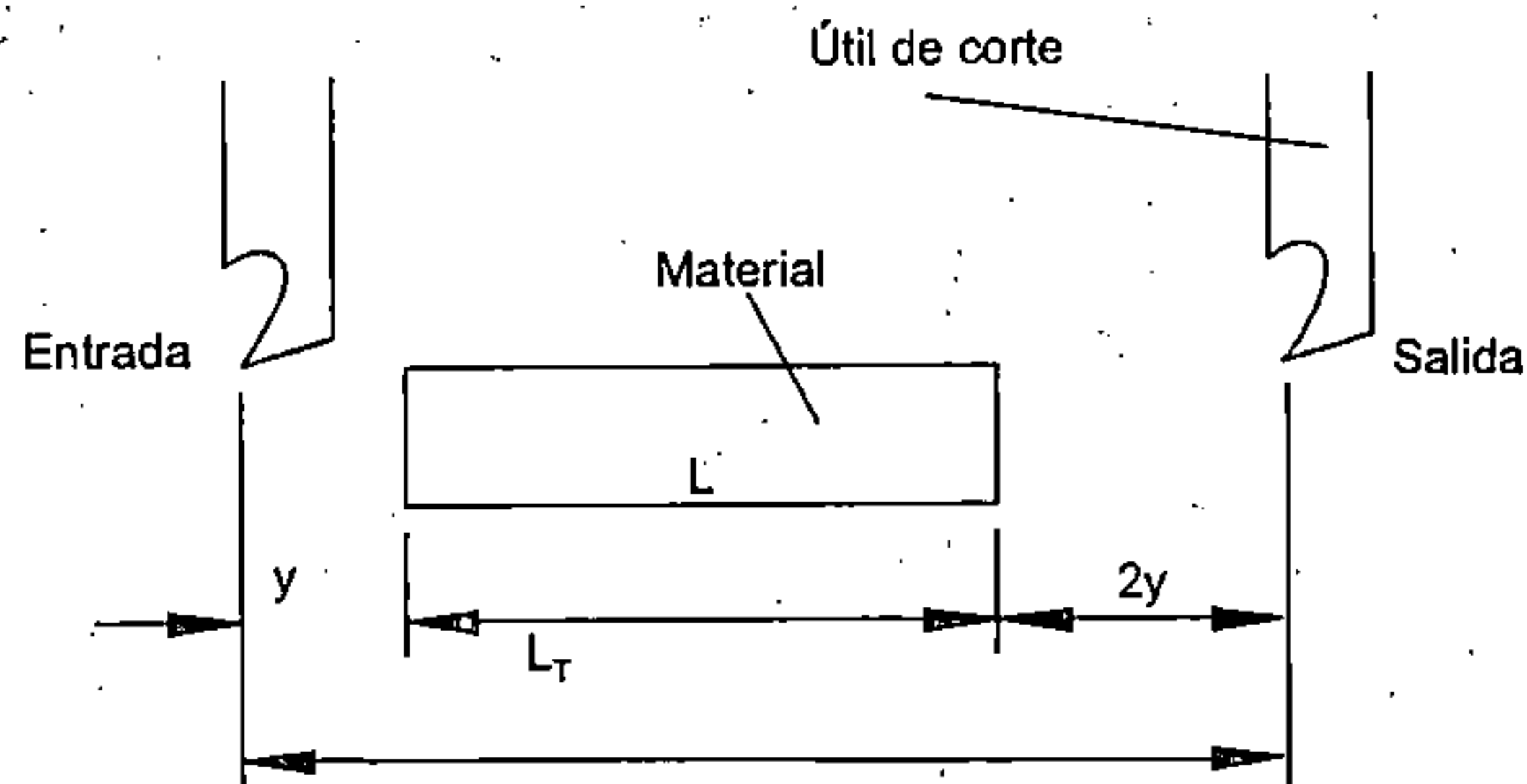


Figura 5. Esquema de la carrera de la cuchilla de corte respecto a la longitud L del material.

“y” es el retiro de entrada, “2y” es el retiro de salida. Se acostumbra los siguientes rangos:
y = 7,5 – 15 mm. La figura 5 muestra el detalle.

La velocidad media del carro es en la práctica: $v_m = \frac{2v_c v_r}{v_c + v_r}$

Algunas velocidades medias de corte v_m en metros por minuto para herramienta de corte de acero de alta velocidad son:

Material	Acero 93%C	Acero 0,4%C	Acero aleado, duro	Fundición	Latón, bronce
Vm (m/min)	22	16	12	14	30

El número de carreras de corte o de trabajo por minuto n(rpm) depende de la velocidad media y de la longitud de cada ciclo, es decir dos carreras $2 L_T$.

Luego : $n = \frac{v_m}{2L_T}$

Este valor n coincide justamente con la velocidad angular del disco manivela, que conduce el vaivén de la biela oscilante del carro. La figura 6 muestra el esquema de la biela oscilante y la trayectoria del bloque deslizante.

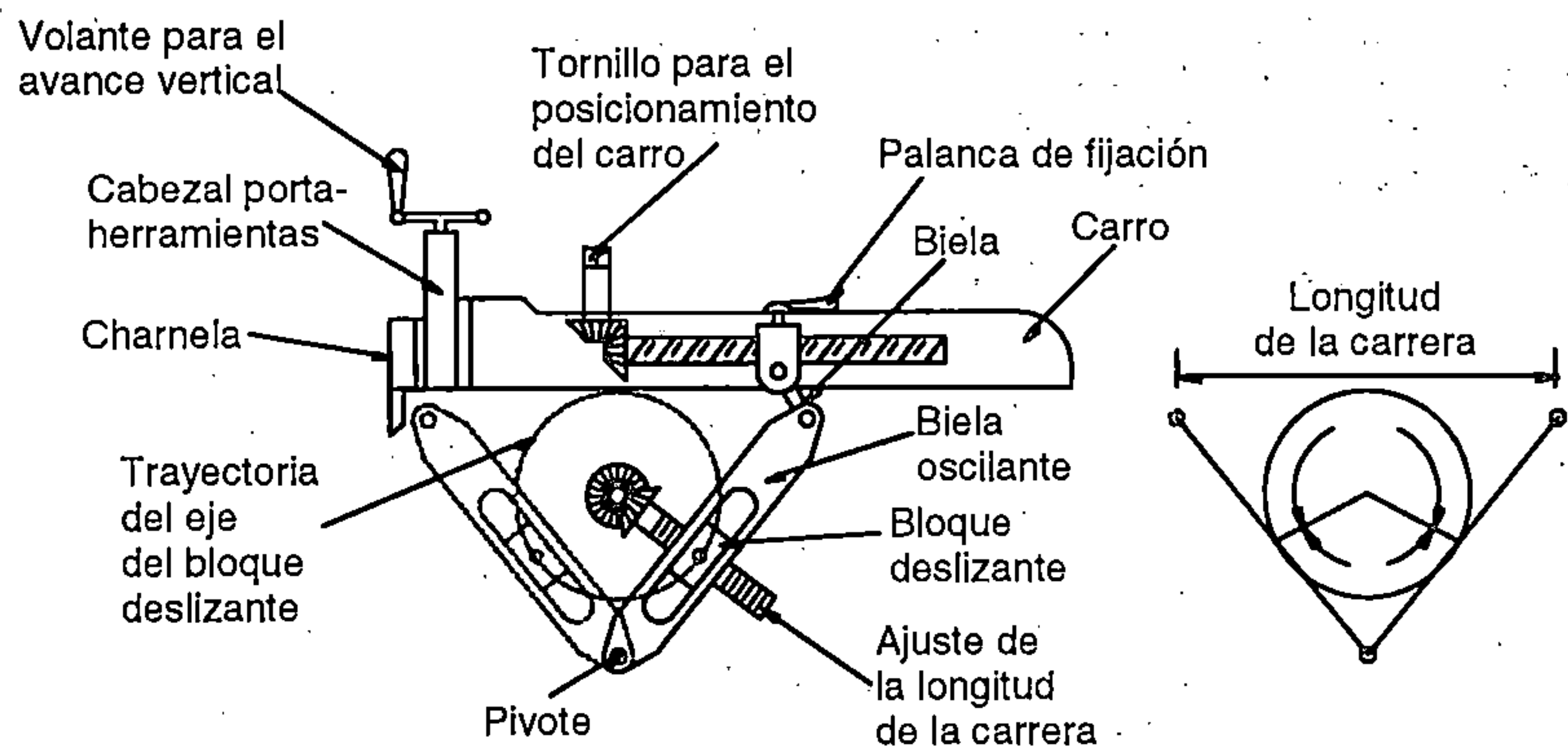


Figura 6. Mecanismo del disco manivela y carrera del carro en el interior de una limadora.

2. LA RECTIFICADORA

El rectificado se hace primordialmente para alisar y terminar un producto, es decir para darle acabado. Por este proceso se quita muy poco material. El proceso se realiza, a través de las denominadas muelas, que se hacen de miles de granos abrasivos. Cada grano es en realidad una pequeña herramienta de corte.

El esmeril puede ser considerado como una pequeña rectificadora, por sus características y su piedra esmeril o muela. Sin embargo, en este proceso el material a desbastar no tiene una posición fija, y esto no permite dar el acabado de un rectificado.

2.1 Tipos de rectificadora

Las rectificadoras más utilizadas son las cilíndricas y las planas. La rectificadora cilíndrica es una máquina que cuenta con dos cabezales, uno fijo y otro móvil, entre los cuales se fija o monta la pieza, que gira, mientras la muela en contacto con ella remueve material de la superficie. La operación es por tanto similar a la del torno; la muela reemplaza a la cuchilla. La figura 7 muestra el esquema de la rectificadora cilíndrica.

La rectificadora plana cuenta con un plato o mordaza magnética para fijar la pieza durante la ejecución del rectificado. El movimiento de la mesa es alternativo bajo la muela; y después de cada pasada la mesa avanza transversalmente. El esquema de la figura 8, muestra la apariencia de la rectificadora plana.

También se tiene la denominada rectificadora universal, similar a la cilíndrica, sin embargo debido a que se pueden girar tanto el cabezal del material como el de la rueda, es capaz de hacer rectificado recto como cónico. Esta rectificadora se presta muy bien para el rectificado de los asientos de biela de los cigüeñales.

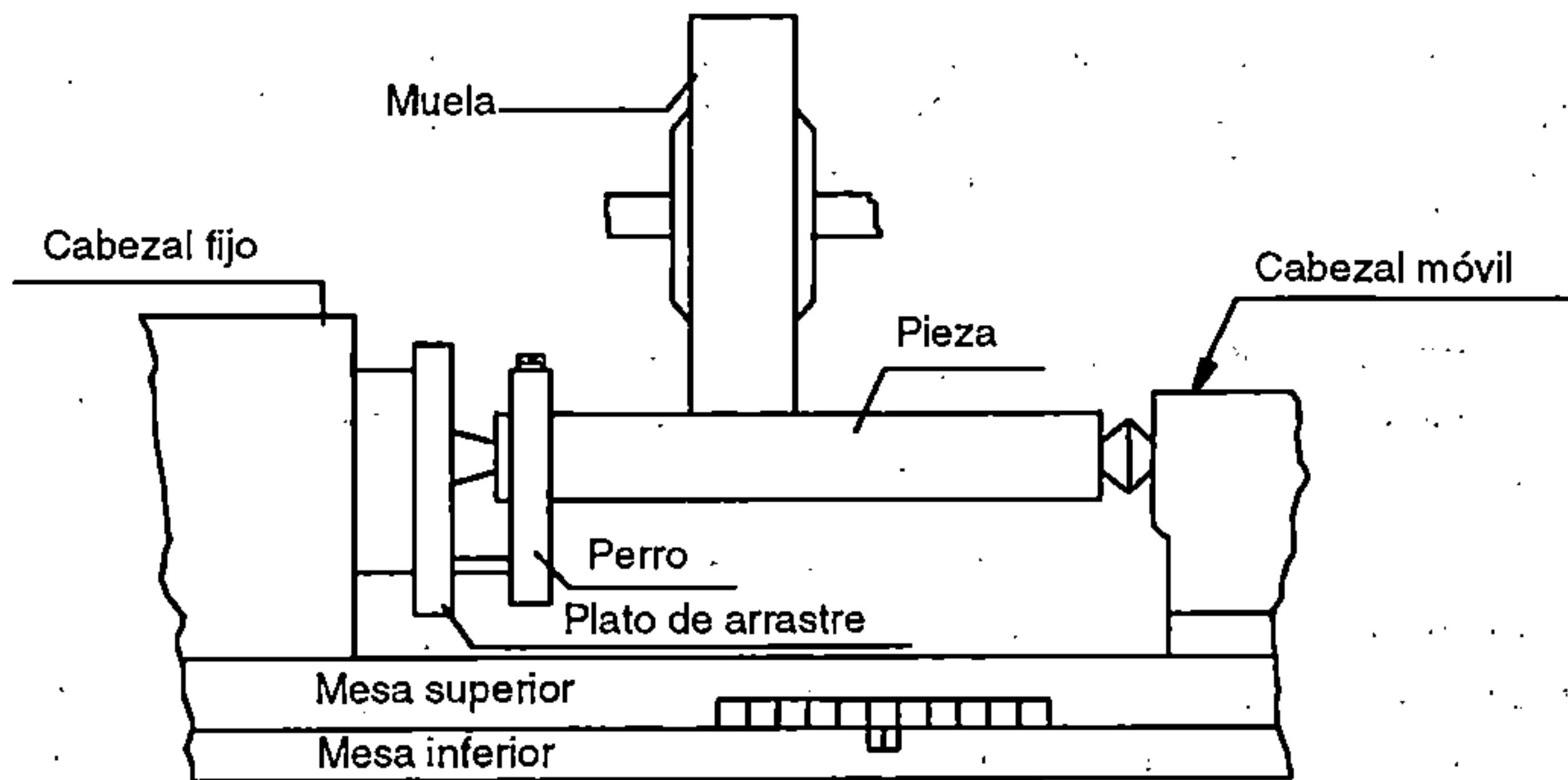


Figura 7. Rectificadora cilíndrica.

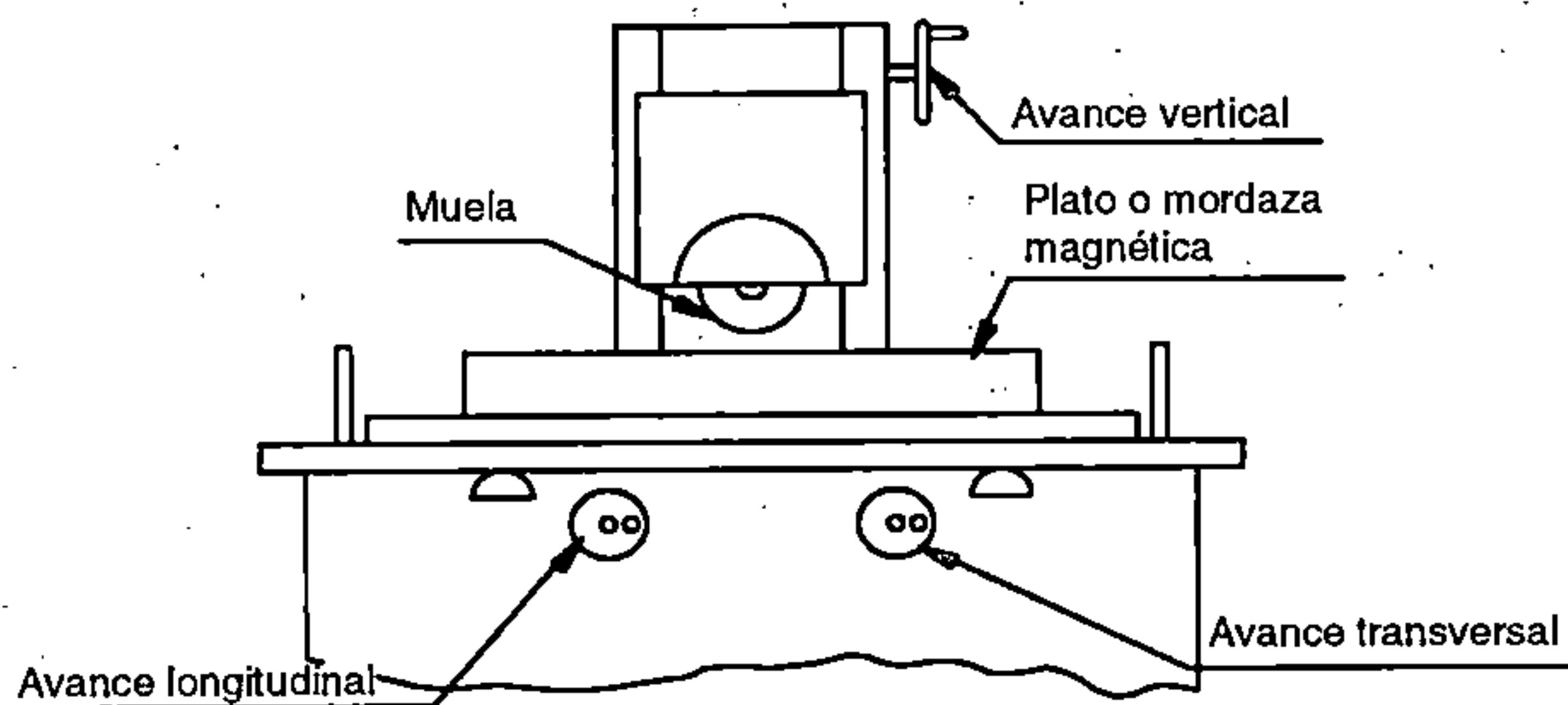


Figura 8. Rectificadora plana.

2.2 Operaciones realizadas en una rectificadora

Las operaciones dependen básicamente de las formas y de las caras de las muelas o ruedas rectificadoras que se utilizan. También dependen del tipo de rectificadora con que se cuenta. En la figura 9, se muestran nueve formas de ruedas rectificadoras, de las cuales la recta es la más común.

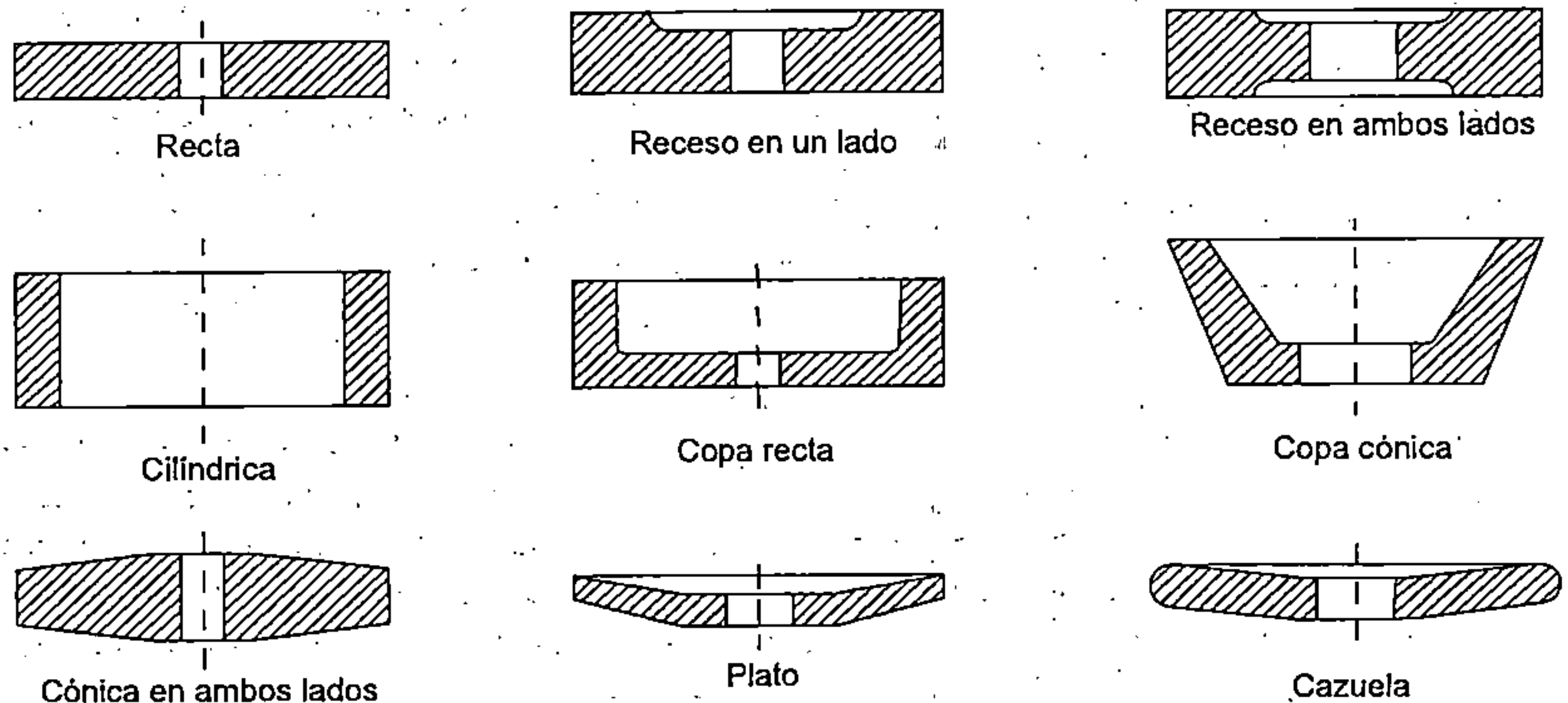


Figura 9. Diferentes tipos de ruedas rectificadoras.

En la figura 10, se muestran las formas estándar que pueden tener los cantos de las ruedas. De esta manera se pueden lograr acabados de superficies especiales

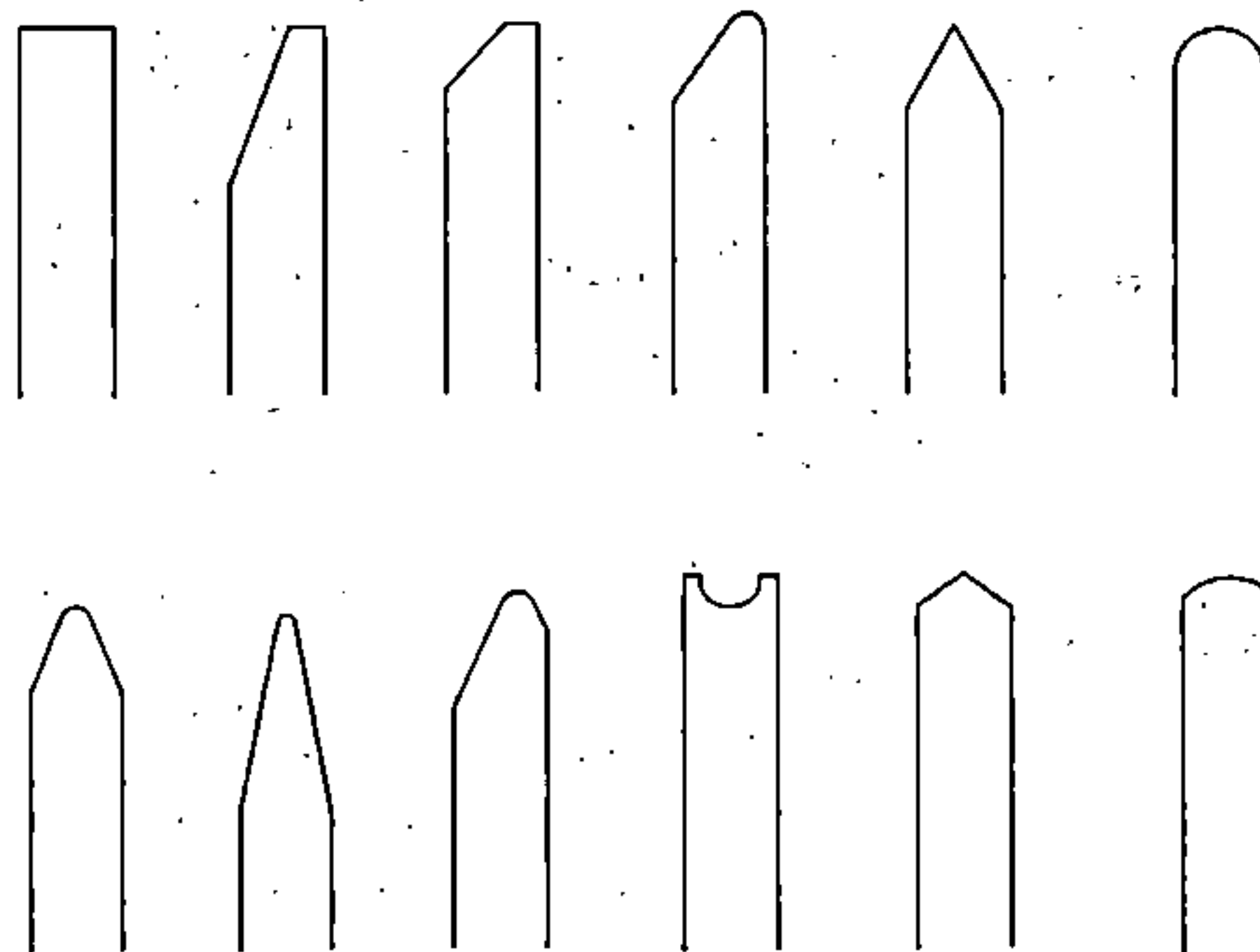


Figura 10. Perfiles de los cantos de diferentes tipos de muelas.

3. LA TALADRADORA

El corte de agujeros redondos en el metal es una de las operaciones más comunes. Muy pocas piezas de metal pasan por una factoría sin que tengan agujeros taladrados. Las máquinas taladrado-

ras se emplean para producir la mayoría de estos agujeros. Las taladradoras pequeñas son los taladros de mano, y son portátiles y accesibles a una variedad de posiciones de maquinado. Estos taladros portátiles no garantizan un adecuado paralelismo o perpendicularidad del eje del agujero con respecto a las superficies principales de referencia, pues no existe apoyo fijo en el taladrado. En cambio, los taladros de columna sirven para hacer trabajos de mayor precisión. Tienen una columna con una base, la cual apoya sobre el piso, y puede ser anclada. La columna es paralela al chuck de taladro y por lo tanto también es paralela a la broca o útil de corte.

3.1 Partes de un taladro

Las partes principales de la taladradora son: la base o mesa inferior, la columna, la mesa de trabajo y el cabezal. La pesada base de metal y la columna vertical tienen unidas la mesa de trabajo y el cabezal, lo que garantiza la estabilidad de la máquina. El cabezal se compone de las partes principales de operación, incluyendo los mecanismos de velocidad, de avance, el motor eléctrico, el sistema de reducción de velocidad, el husillo y otros. En la figura 11, se muestra un esquema con las partes principales del taladro de columna.

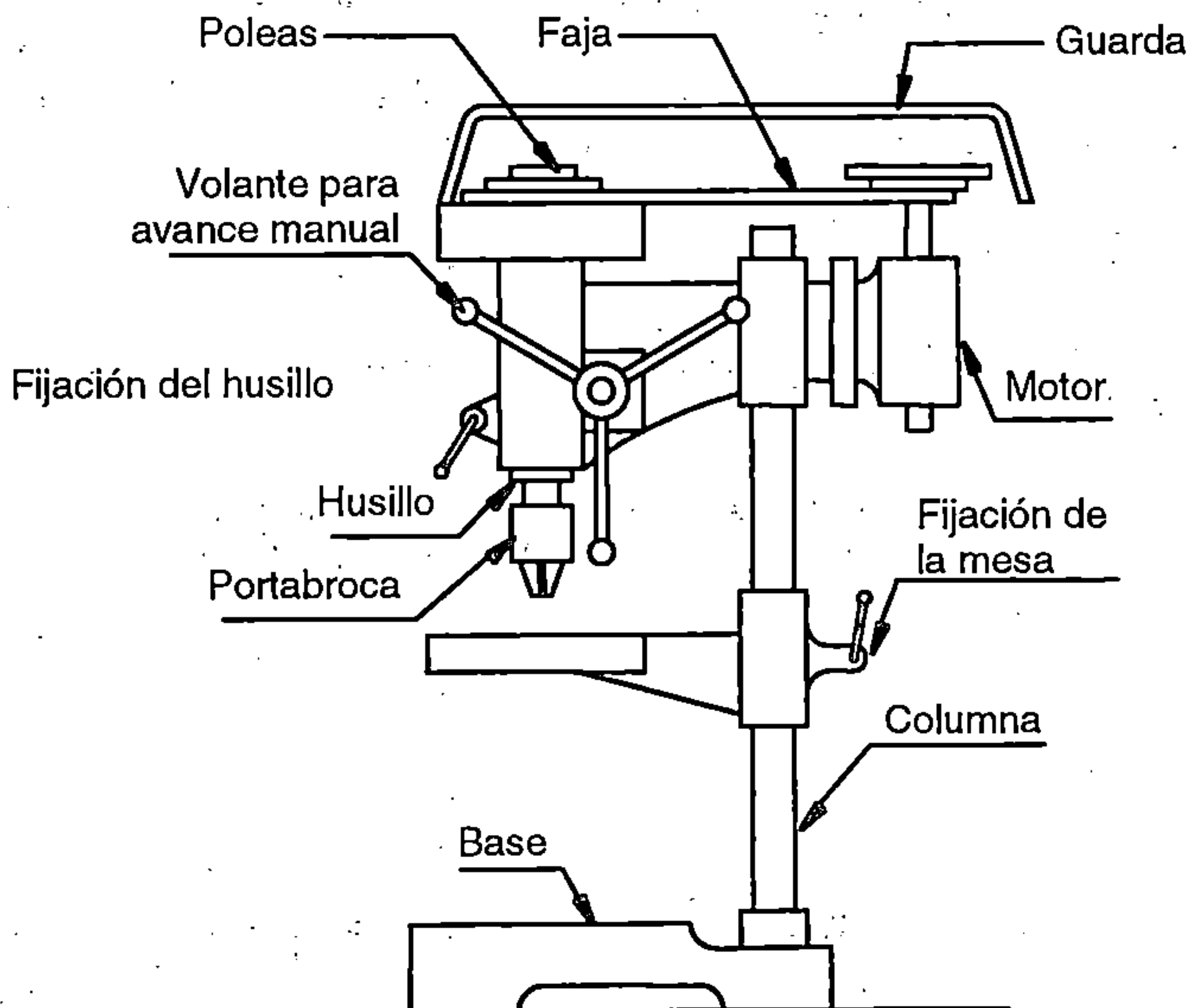


Figura 11. El taladro de columna y sus partes principales.

3.2 Operaciones con el taladro de columna

En la fabricación de piezas mecánicas existen diferentes tipos de agujero. Algunos pueden ser agujeros regulares pasantes o también ciegos. Otros pueden ser cónicos parcialmente, o agujeros alargados llamados agujeros chinos. La figura 12 muestra algunos casos generales de agujero.

El taladrado general requiere de la herramienta llamada broca. Esta broca puede ser broca regular, avellanadora, abocardadora, de pezón, mandriladora, o roscadora.

Las operaciones que se van a estudiar aquí son: taladrado, abocardado, refrentado, escariado, barrenado, graneteado o avellanado y roscado.

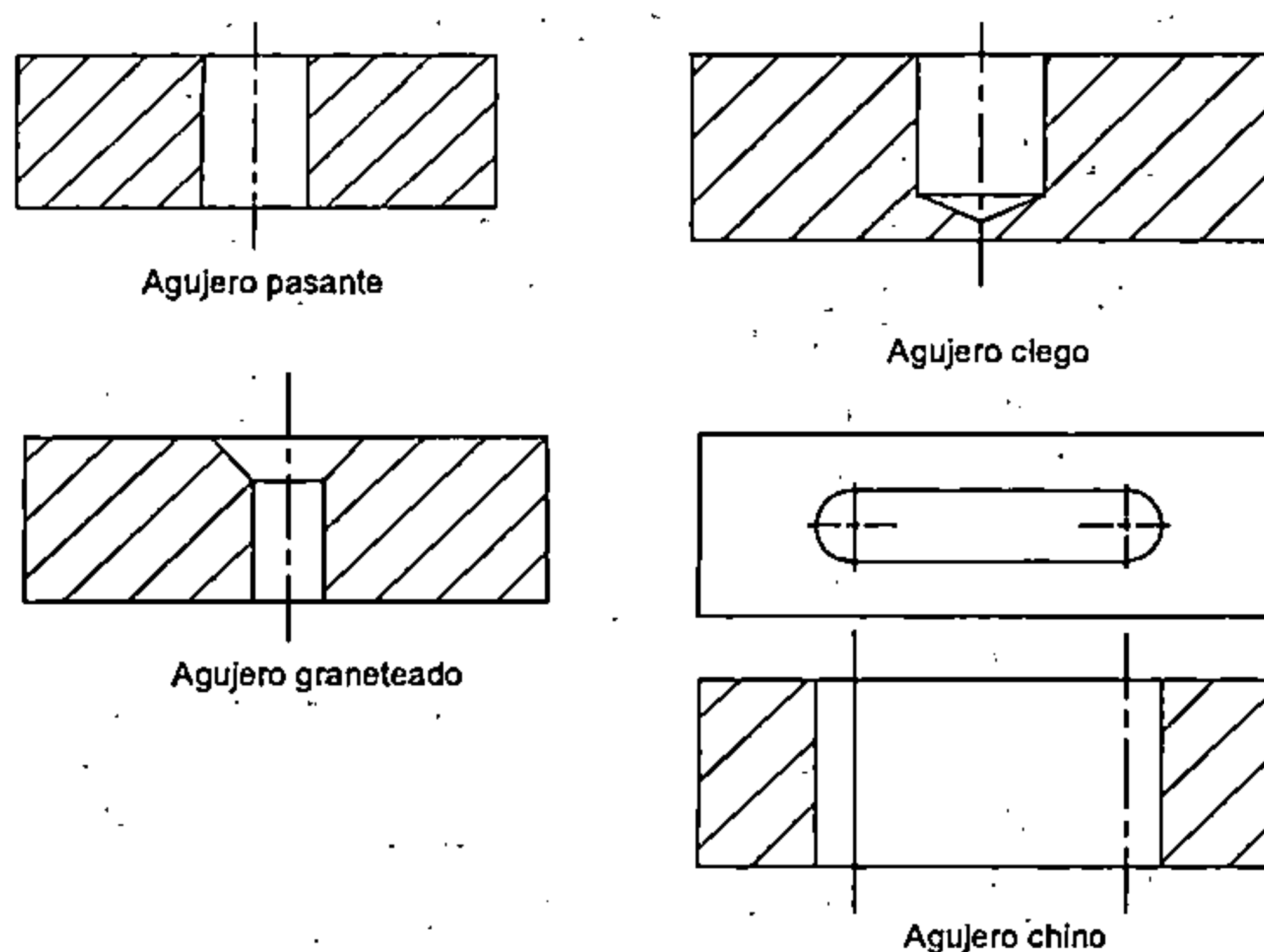


Figura 12. Algunos tipos de agujeros taladrados.

Taladrado

En el taladrado se utilizan brocas para hacer un agujero sin obtener mayor precisión. Se le puede considerar al taladro como la operación de desbaste del agujero. La figura 13 muestra la posición de la broca para un agujero pasante y un agujero ciego.

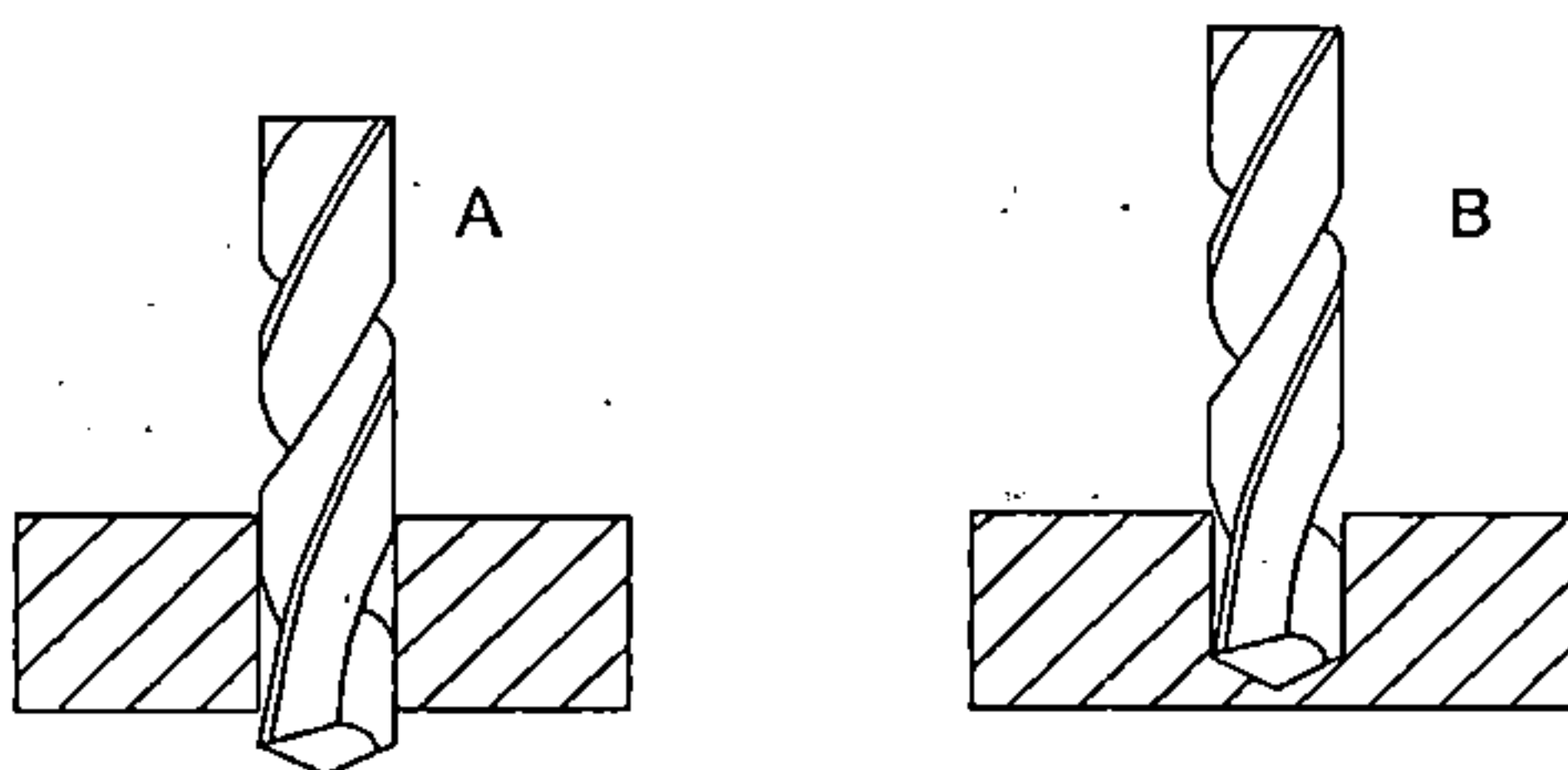


Figura 13. Taladrado de un agujero pasante (A) y un agujero ciego (B).

Abocardado

Es una operación posterior al taladrado y genera un cilindro en la superficie del material, que servirá de asiento de la cabeza de pernos. La figura 14 muestra la herramienta de abocardado y el agujero obtenido. A es igual al diámetro del vástago del perno, B es igual al diámetro de la cabeza del perno. La punta de diámetro A es pezón de la herramienta y sirve de guía sobre el agujero previamente taladrado.

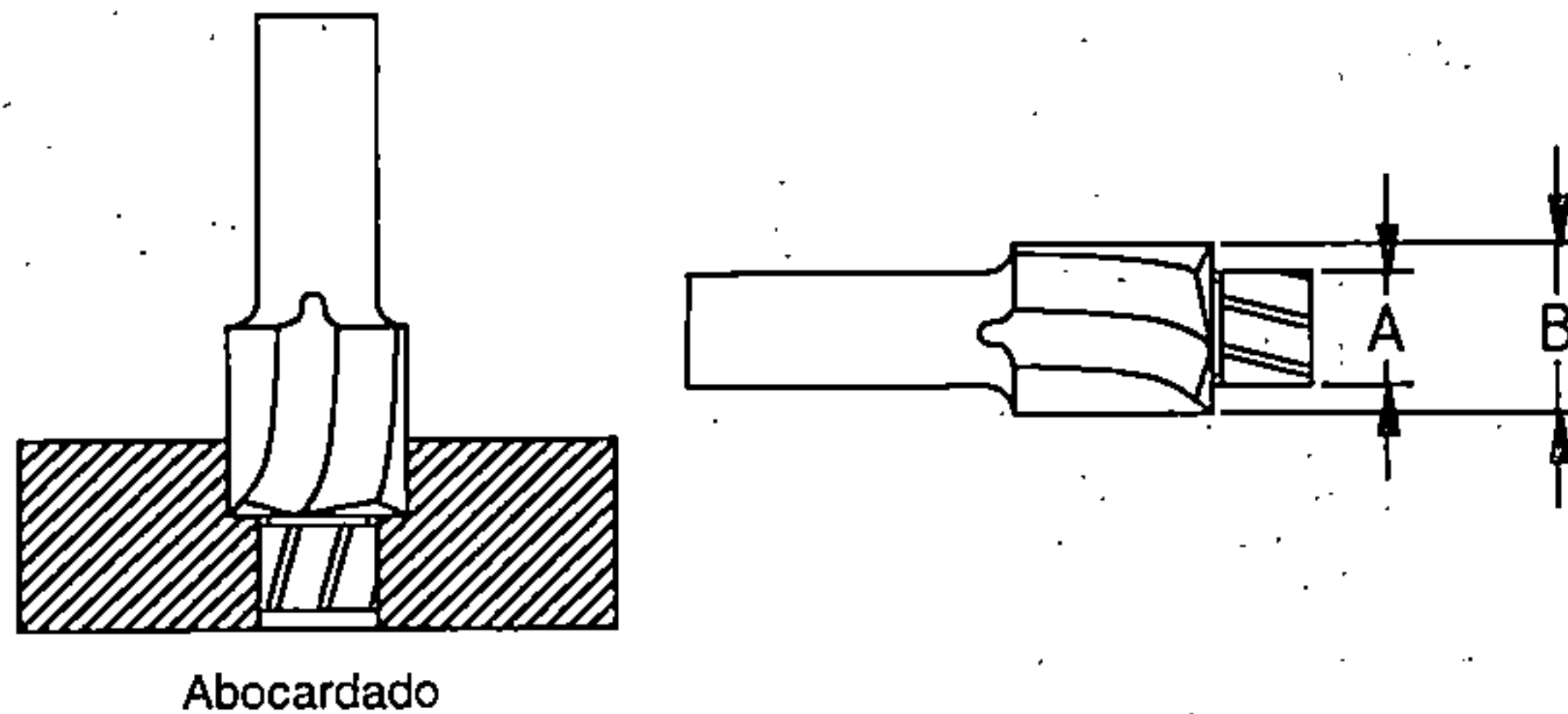


Figura 14. Agujero abocardado y la herramienta de abocardar.

Refrentado

Es una operación después del taladrado y genera, a diferencia del abocardado, una superficie circular poco profunda, que sirve de asiento para la arandela de un perno o tornillo.

Escariado

Es una operación posterior al taladrado y le da el acabado con precisión al agujero. La herramienta se llama escariador.

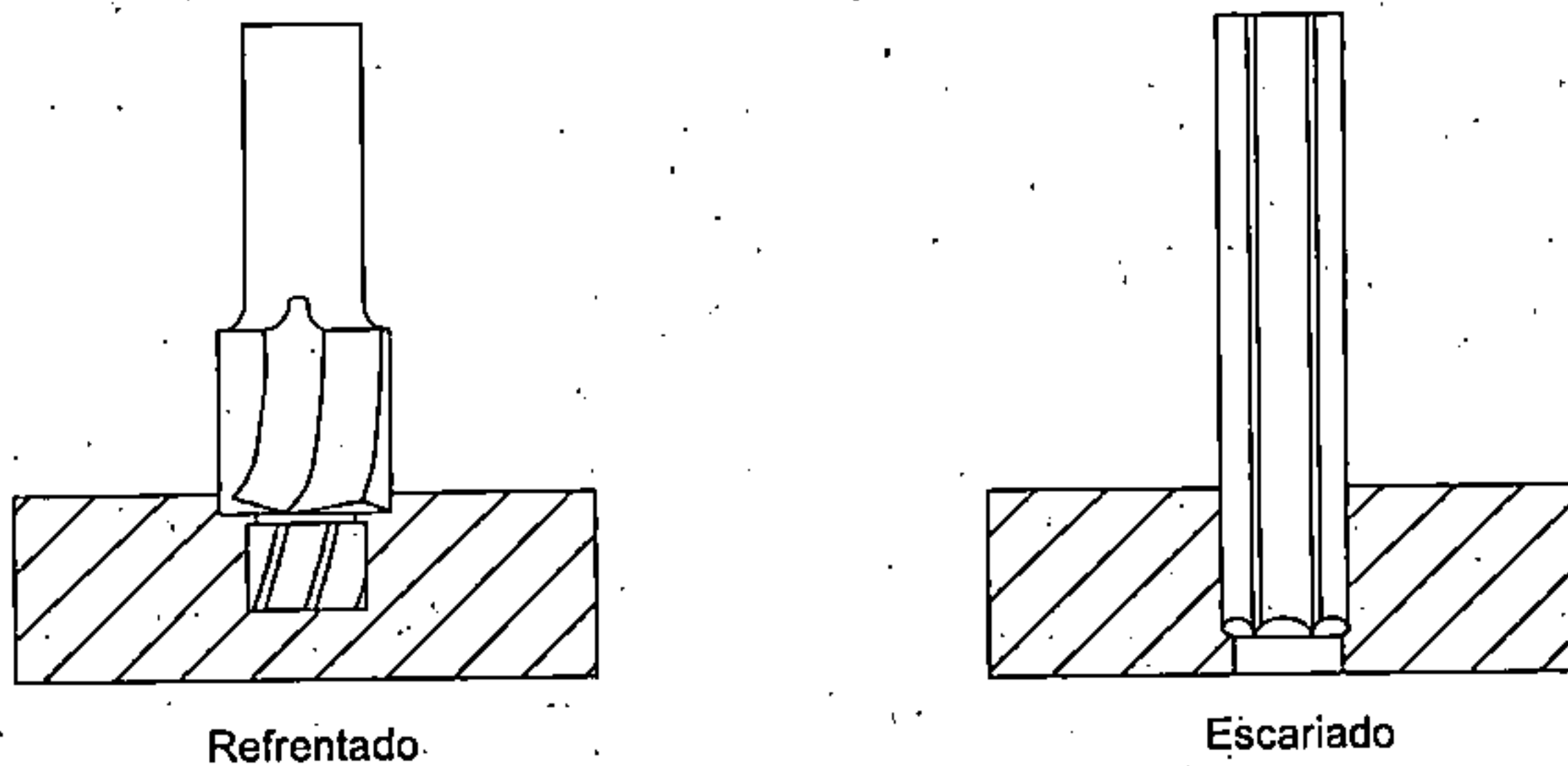


Figura 15. Agujero refrentado y agujero con grado de acabado según el escariador.

Mandrilado o barrenado

Es una operación que permite rectificar la excentricidad de un agujero, cuando no se cuenta con el escariador adecuado. También se puede hacer agujeros de diámetros mayores, cuando no se cuenta con la broca adecuada.

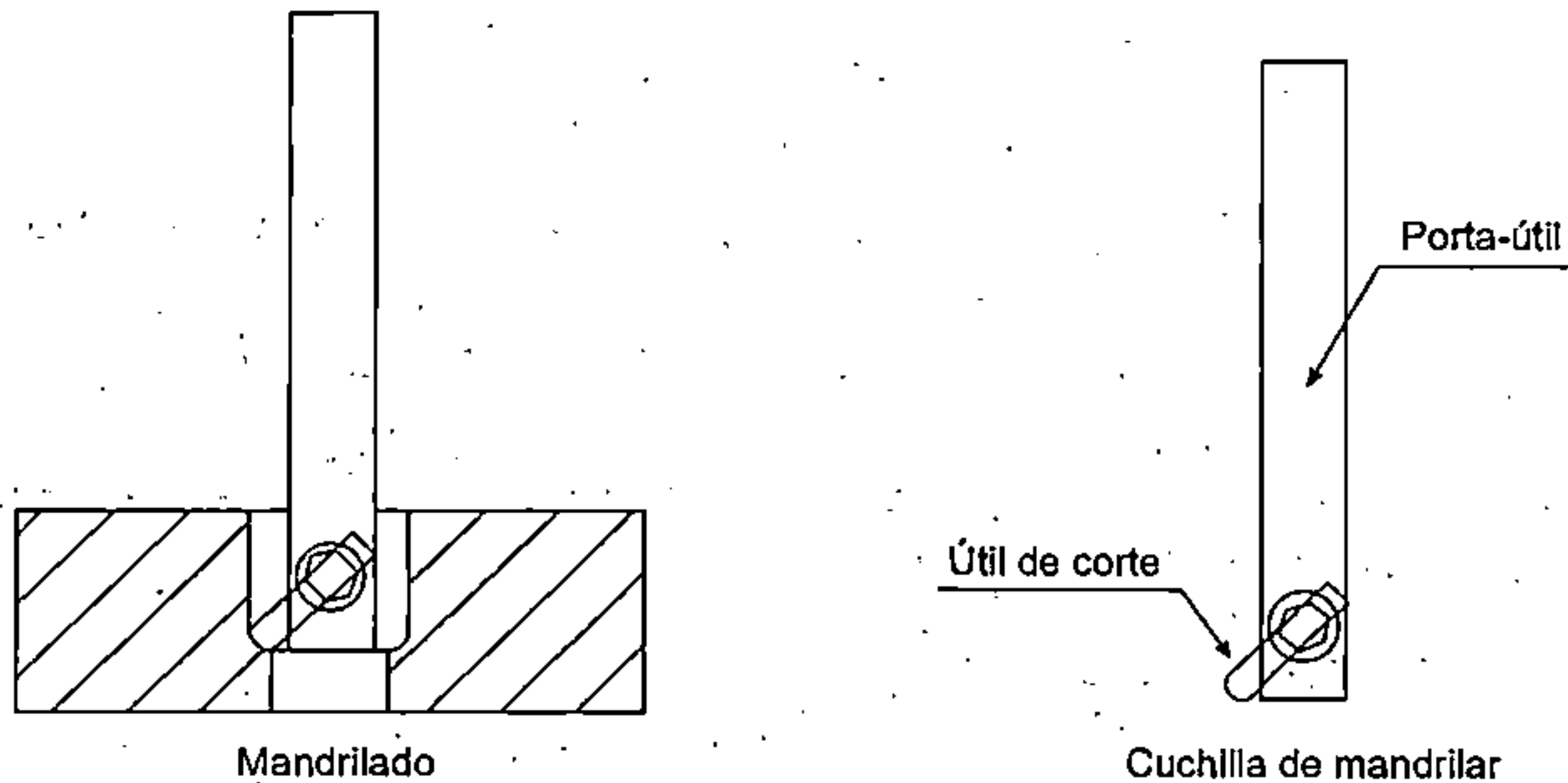


Figura 16. Mandrilado de un agujero y útil de mandrilar.

Avellanado o graneteado

Esta operación consiste en producir un chaflán de menos de 90° en la superficie de un agujero previamente taladrado. El chaflán será un tronco de cono, cuyo diámetro mayor será igual al de la cabeza del perno de cabeza avellanada o cónica. Esta superficie sirve de asiento de la cabeza del perno.

Roscado

Esta operación se realiza con tres machos de roscar, para lograr la rosca interior de un agujero previamente taladrado con aproximadamente el diámetro de raíz de la rosca.

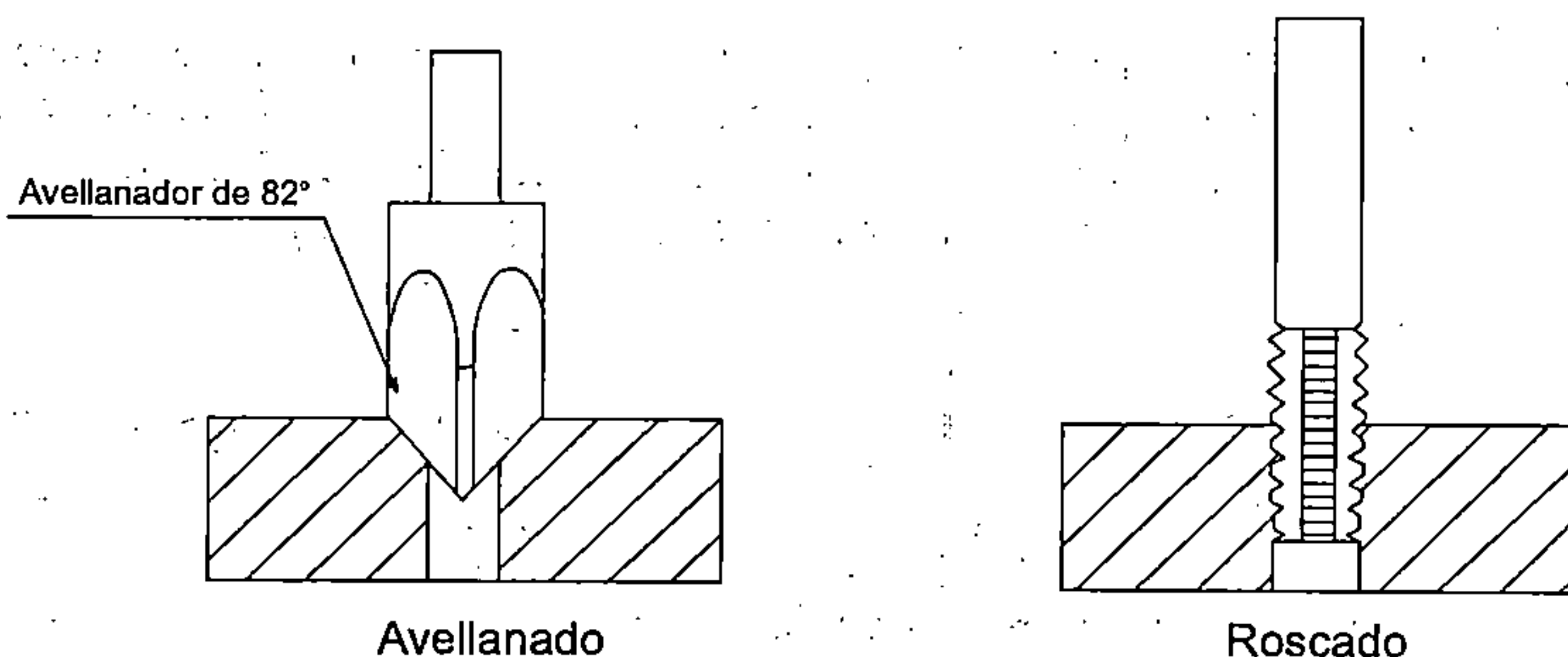


Figura 17. Agujero avellanado y roscado interior de agujero.

3.3 Movimientos de trabajo del taladrado

Movimiento principal o de corte

Este movimiento lo realiza la broca o el útil de corte montado sobre el *chuck*. La velocidad de corte es tangencial:

$$v_c = n \cdot \frac{d}{2}$$

Donde *n* son las rpm del *chuck*, y *d* es el diámetro mayor de la herramienta. Así, la velocidad de giro de la broca es:

$$n = \frac{2 v_c}{d}$$

Algunos valores referenciales de la velocidad de corte y la velocidad de avance para broca de acero rápido se dan en la siguiente tabla.

Material	Velocidad de corte m/min (Avance mm/rev)	
	d ≈ 12mm	d ≈ 25mm
Acero 0,2 % C	20 (0,20)	28 (0,30)
Acero 0,4 % C	18 (0,19)	25 (0,29)
Acero duro	15 (0,15)	20 (0,20)
Fundición gris	24 (0,30)	27 (0,36)
Latón, bronce, aluminio	35 (0,17)	50 (0,29)

Tabla 1. Velocidad de corte y avance para brocas de acero rápido.

Movimiento de avance

El movimiento de avance se realiza en dirección axial al eje de la broca. Este movimiento se puede realizar con la volante de avance manual, según la tabla, o también puede ser accionamiento automático en mm por revolución. El avance es “a” y la velocidad lineal axial de la broca es: $v_L = a.n$, donde *a* se recomienda de tablas, y *n* es las revoluciones, en rpm, del *chuck* del taladro.

3.4 Tiempo de taladrado

El tiempo de taladrado es $t = \frac{L_T}{v_L}$, donde L_T , es la longitud total que recorre la broca al maquinar el agujero. El detalle se observa en la figura 18.

$L_T = L + 0,4 d$. Donde: *d* = diámetro de la broca, *L* = longitud del agujero.
0,4 *d* = retiro de la broca.

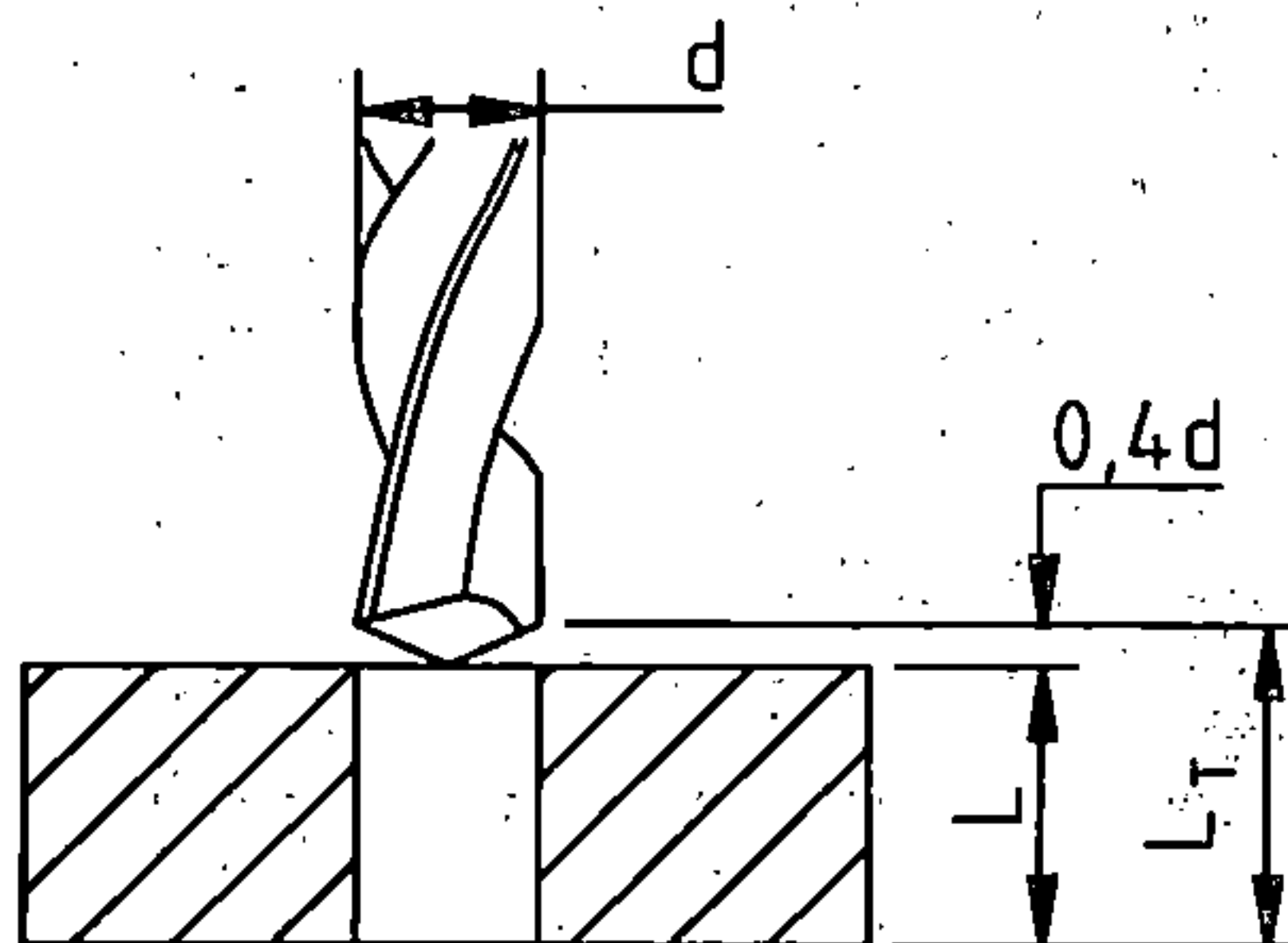


Figura 18. Esquema de la longitud de taladrado de una broca.

4. PROBLEMAS DE APLICACIÓN

Problema 1

Calcular la velocidad de corte, la velocidad de retroceso y la velocidad media del carro de una limadora cuya longitud de carrera es de 360mm. El tiempo invertido en la carrera de trabajo es 0,03 minutos y en la carrera de retorno 0,015 minutos. ¿Cuál puede ser la longitud máxima de la pieza a maquinar para este caso?

Solución:

Velocidad de corte

$$v_c = \frac{L_T}{t_c} = \frac{360 \text{ mm}}{0,03 \text{ min}} = 12 \text{ m/min}$$

Velocidad de retroceso

$$v_r = \frac{L_T}{t_r} = \frac{360 \text{ mm}}{0,015 \text{ min}} = 24 \text{ m/min}$$

Velocidad media

$$v_m = \frac{2 v_c \cdot v_r}{v_c + v_r} = \frac{2(12)(24)}{12 + 24} = 16 \text{ m/min}$$

Asumiendo: $Y = 7,5 \text{ mm}$, tenemos: $360 = 7,5 + L + 2(7,5)$

La longitud máxima puede ser: $L = 337,5 \text{ mm}$

Problema 2

Se debe limar una pieza de acero al 0,3% de carbono con una cuchilla de acero rápido (acero de alta velocidad). La carrera del carro de la limadora es de 145mm. Hallar el número de carreras de trabajo por minuto recomendables.

Solución:

Del acápite 1.2, recomienda $v_m = 22\text{m/min}$. como velocidad media de corte. El número de carreras de trabajo es:

$$N = \frac{v_m}{2L_T} = 22\text{m/min} (1000\text{mm/m}) / 2(145\text{mm/rev}) = 76 \text{ rpm o carreras de trabajo por minuto, o ciclos por minuto.}$$

Problema 3

Calcular el tiempo requerido para limar una superficie de acero 0,3% de 122,5mm de largo, 80mm de ancho y 15mm de alto. El avance lateral de la mesa "a" será 0,4mm por carrera de trabajo. La cuchilla es de acero rápido.

Solución:

Como en el problema 2: $n = 76 \text{ ciclos/min}$ $a = 0,4\text{mm/ciclo}$

$$t_B = \frac{L_B}{v_L} = \frac{L_B}{a \cdot n} = \frac{88 \text{ mm}}{0,4\text{mm / ciclos} \cdot 76\text{ciclos / min}} = 2,9\text{min}$$

Problema 4

Se desea rectificar una superficie plana de 190 x 75mm. La muela tiene un ancho de 30mm. La mesa avanza lateralmente a 7mm por carrera de ida o de vuelta. El trabajo se realiza de ida y de vuelta para el rectificado. La velocidad media de la mesa es 1 m/min. El espesor a eliminar será de 0,2mm y en una sola pasada por nivel.

a. ¿Cuántas carreras son necesarias para cubrir la superficie?

b. ¿Cuál es el tiempo efectivo del rectificado?

Solución:

a. Número de carreras, $NP = \frac{B_T}{a}$, donde $B_T = B + 2y$, observar que: $y < 30\text{mm}$.

Asumiendo $y' = 5\text{mm}$, $B_T = 75 + 10 = 85\text{mm}$.

El avance es $a = 7\text{mm/carrera}$. Luego $NP = \frac{85}{7} = 12 \text{ carreras}$.

b. Tiempo efectivo: $t_{ef} = \frac{L_T \cdot NP}{v_m}$, considerando $y = 5$. Por dato, se tiene:

$v_m = 1\text{m/min}$, $L = 190\text{mm}$, luego $L_T = 200\text{mm}$, y el tiempo efectivo será:

$$t_{ef} = \frac{0,2\text{m}}{1\text{m / min}} \cdot 12 = 2,4 \text{ minutos}$$

Problema 5

Se desea maquinar un agujero de 18mm de diámetro en una masa de latón. Se usará una broca de acero rápido. ¿Qué velocidad angular se recomienda en rpm para el taladrado?

Tablero del taladro de columna a usar:

rpm	450	550	650	750	850	950	1050
	50	100	150	200	250	300	350

Solución:

La velocidad angular es $n = \frac{2 v_c}{d}$

La velocidad de corte según la tabla puede ser: $v_c = 41\text{m/min}$

Luego:
$$n = \frac{2(41\text{m/min})}{18\text{mm}} \cdot \frac{1\text{rev}}{2\pi\text{rad}} \cdot \frac{1000\text{mm}}{1\text{m}} = 725\text{rpm}$$

Se escoge la velocidad inmediata inferior del tablero

$$\underline{n = 650\text{rpm}}$$

Problema 6

Se tiene un bloque de acero al 0,4% de carbono de 120 x 50 x 45mm. Se desea taladrar un agujero pasante de 45mm de longitud y un agujero ciego de 30mm de longitud. Ambos agujeros tienen un diámetro de 12mm y se usará broca de acero rápido.

- ¿Cuál es el tiempo de taladrado del agujero pasante?
- ¿Cuál es el tiempo de taladrado del agujero ciego?

Solución:

Esquema del bloque probable:

De la tabla 1 se obtiene: velocidad de corte $V_c = 18\text{m/min}$, avance $a = 0,19\text{mm/rev}$.

La velocidad angular de la broca será: $n = 2(18) 1000/12(2\pi)$

$$\underline{N = 477\text{rpm}}$$

La velocidad lineal de la broca será: $v_L = a \cdot n = 0,19\text{mm/rev}(477\text{ rev/min})$

$$v_L = 91\text{mm/min}$$

- a. El tiempo para taladrar el agujero pasante es: ($d = 12\text{mm}\phi$)

$$t = L_T / v_L, L_T = 45 + 0,4 d = 49,8 \text{ mm}, t = 0,38 \text{ min} = 33\text{seg}$$

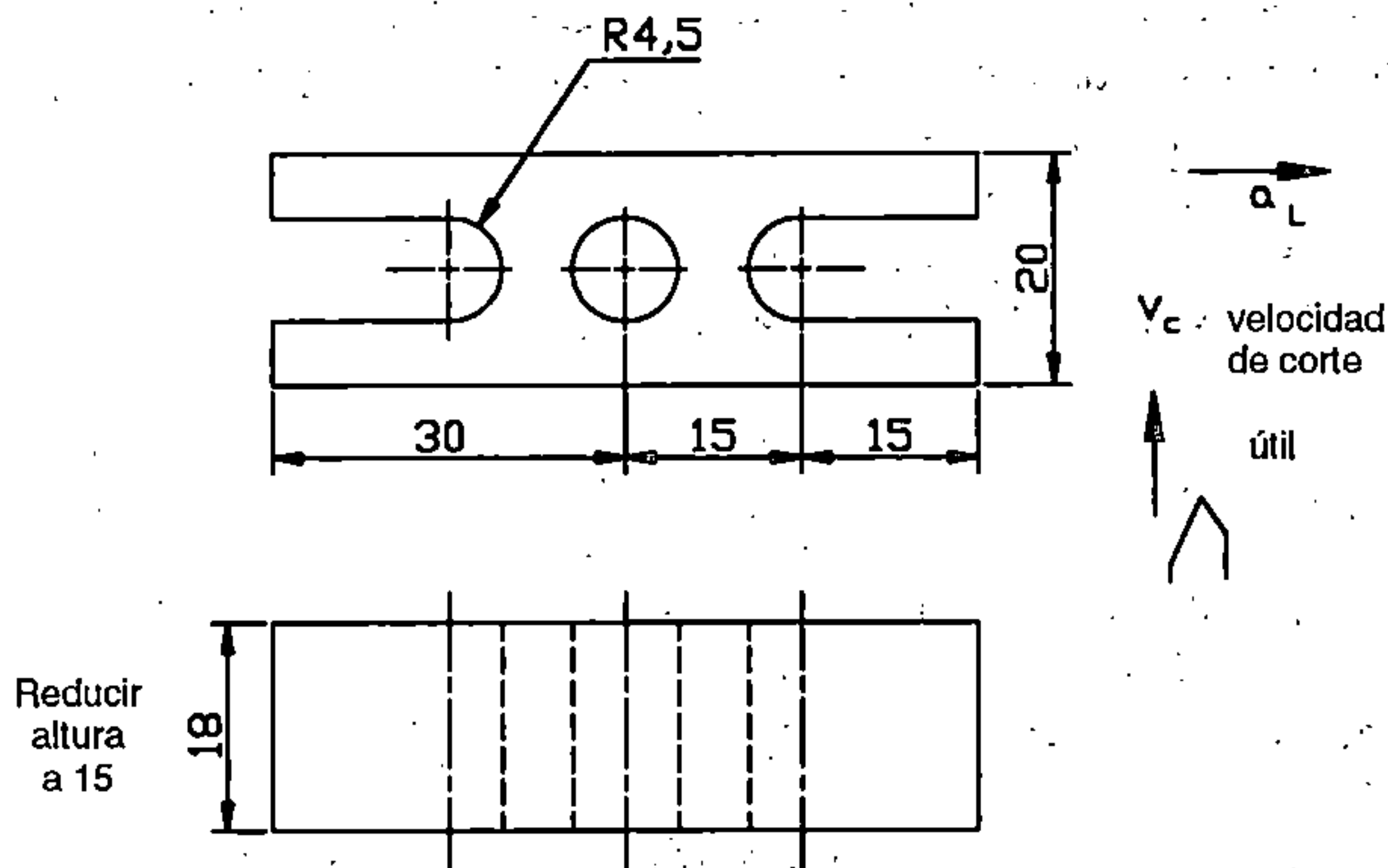
- b. El tiempo para taladrar el agujero ciego es:

$$t = L_T / v_L, L_T = 30 + 0,4 d = 34,8 \text{ mm}, t = 0,38 \text{ min} = 23\text{seg}$$

Problema 7

Se desea rebajar la altura de 18mm de la barra de acero SAE1050 según la figura, en 3mm y en tres pasadas, usando la máquina cepilladora. La velocidad de corte máxima de la cuchilla es de 40m/min; y para el desbaste, la velocidad de avance lateral (a_L) de la pieza es de 0,06mm/rev del brazo (o carrera de trabajo). El vaivén del brazo actúa a 80rpm (80 carreras de trabajo por minuto).

- ¿Cuál puede ser la mínima velocidad de la cuchilla de corte? o ¿es velocidad de corte constante?
- ¿Qué tiempo de corte consideraría para una pasada de desbaste?
- Si el tiempo de instalación de la pieza y puesta en marcha de la máquina toman 15 minutos, y el tiempo muerto entre pasada y pasada es el 150% del tiempo de pasada, ¿qué tiempo total se necesita para realizar la operación completa de maquinado?
- ¿Cuál es el volumen total de viruta extraído?
- ¿Cuál es el caudal de viruta en mm^3/min ?



Solución:

- a. $v = 0$ (en los extremos de las carreras)
 b. $v_a = 80 \text{ rev/min} \times 0,06 \text{ mm/rev} = 4,8 \text{ mm/min}$.

$$L_T = 60 \times 1,2 = 72 \text{ mm} \text{ ó } L_T > 60 \text{ mm}, t = \frac{72}{4,8} = 15 \text{ min} \text{ ó } t > 12,5 \text{ min}.$$

- c. Tiempo total = $15 + 3 \times 15 + 2 \times 15 \times 1,5 = 105 \text{ min}$
 (mínimo)

$$\text{Tiempo total} = 15 + 3 \times 15 + 3 \times 15 \times 1,5 = 127,5 \text{ min}.$$

(máximo)

$$105 \leq t_{\text{total}} \leq 127,5 \text{ min}$$

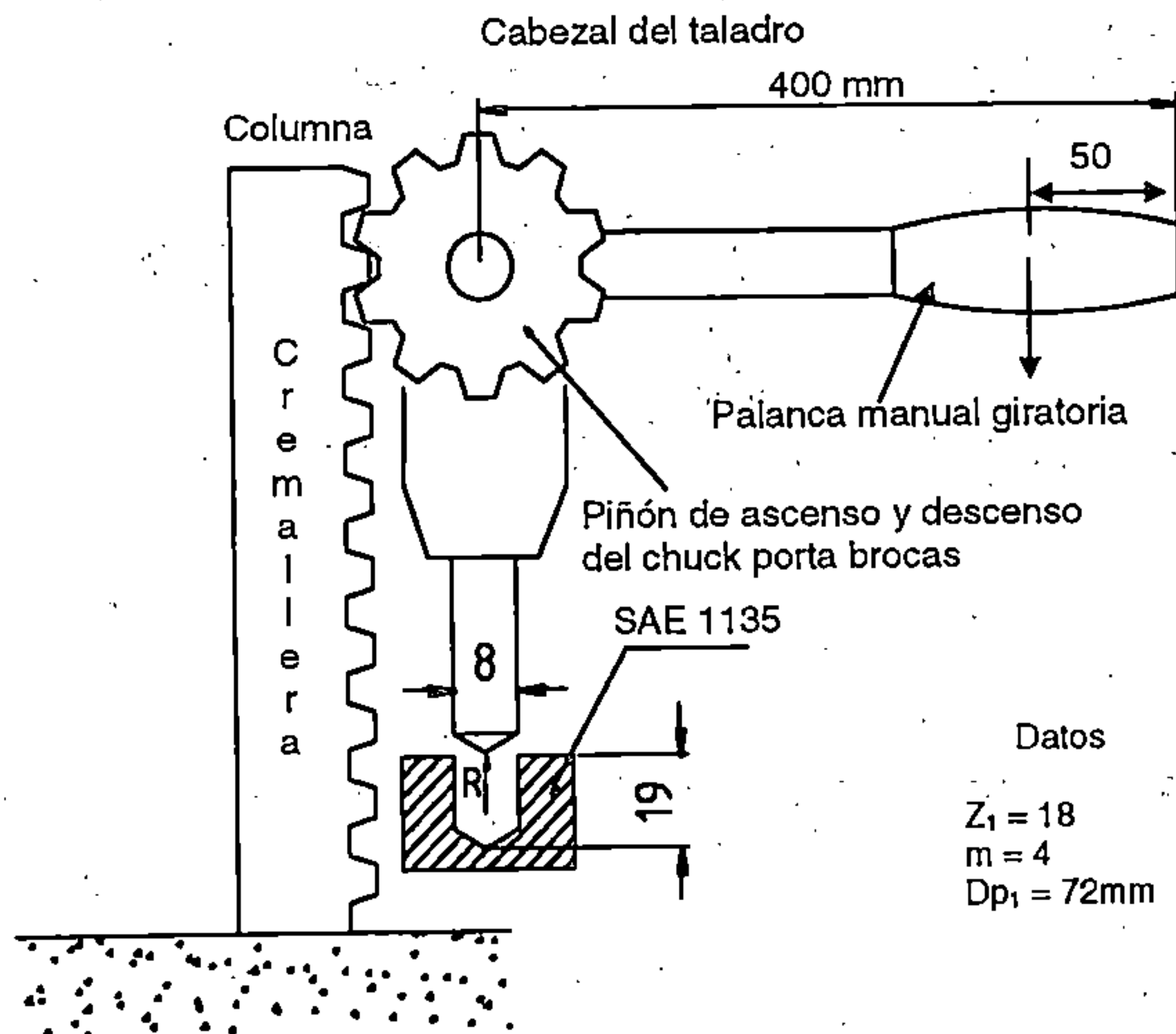
- d. Viruta = $3 \times 1 \left(20 \times 60 - 2 \times 15 \times 9 - 2 \frac{\pi}{4} 9^2 \right) = 3(0,803 \text{ cm}^3) = \underline{2,41 \text{ cm}^3}$

- e. Por pasada: $v = 803 \text{ mm}^3$, $t = \frac{60}{4,8 \text{ mm/min}} = 12,5 \text{ min}$.

$$\text{Caudal promedio } Q = \frac{803 \text{ mm}^3}{12,5 \text{ min}} = \underline{64,24 \text{ mm}^3/\text{min}}$$

Problema 8

Taladro de columna



- ¿Cuál es la altura de los dientes de la cremallera?
- ¿Qué longitud desciende la broca cuando se gira la palanca manual una vuelta?
- Aproximadamente ¿qué ángulo conviene girar la palanca manual, desde que la broca de 8mm, toca la superficie del cubo, hasta perforar el agujero ciego de 19mm de profundidad?
- Si el operador aplica una fuerza W de 13 kg, ¿cuál cree que puede ser la fuerza vertical de reacción del material?
- ¿Qué velocidad de giro en "vueltas por minuto" del piñón se recomienda para realizar el taladrado efectivo de 19mm del caso C en 50 segundos?

Solución:

a. La altura de los dientes es: $h = m + 1,25m = 2,25 = 9\text{mm}$

b. La longitud de recorrido de la broca es:

$$L = \pi \cdot d_p = \pi (72\text{mm}) = 226\text{mm}$$

$$(d_p = m z = 4(18) = 72\text{mm})$$

c. El ángulo será "x"

$$\frac{266}{19} \text{ equivale } \frac{360^\circ}{x}$$

$$X = 30^\circ$$

- d. Pivote es el punto de contacto entre los dientes piñón-cremallera
Por momentos:

$$R(36) = 13(350 + 36)13\text{kg} = 36 \cdot W_F, \quad W_F = 139\text{kg}$$

$$R = 126, W_F = 126 + 13 = 139\text{kg}$$

- e. Velocidad de avance: $V_a = \frac{19\text{mm}}{50\text{seg}} = 0,38\text{mm/seg.} = 22,8\text{mm/min}$

$$n = \frac{v_a}{dp/2} = \frac{22,8\text{mm}}{72/2\text{mm}} \times \frac{1\text{rev}}{2\pi\text{rad}} = 0,1 \text{ rev/min} = 6 \text{ rev/hora}$$

CAPÍTULO VII

ALEACIONES HIERRO-CARBONO

1. INTRODUCCIÓN

Las aleaciones hierro-carbono comprenden tanto los aceros como también las fundiciones, dependiendo del contenido de carbono en la combinación. En el presente capítulo se tratará ampliamente acerca de los aceros, dejando las fundiciones como información de referencia.

Las aleaciones de hierro-carbono pueden llegar hasta un contenido de 6,7% de carbono (C) en una combinación en hierro (Fe).

1.1 Acero. Propiedades del hierro. Estructura atómica del hierro

Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono, partiendo desde el hierro técnicamente puro con 0,008% de carbono y llegando hasta 1,7% de carbono aproximadamente. Con la presencia de otros componentes en la aleación se puede llegar hasta 2,1% de carbono en un acero. (C: carbono; Fe: fierro)

Fe técnicamente puro	< 0,008%C
Acero = Fe + %C	<1,7%C
Acero con otros elementos aleantes	<2,1%C

Niveles de carbono superiores a 1,7% en el hierro son considerados fundiciones, y pueden llegar hasta 6,7% de carbono disuelto en hierro. Cabe indicar que el carbono hasta aproximadamente 4,6% se puede mantener estable en la aleación.

Fundición = Fe + %C	(1,7 - 6,7%C)
Fundición estable	(1,7- 4,6%C aprox.)

En el lenguaje industrial se encuentra, comúnmente, tanto el hierro negro como el hierro galvanizado.

Hierro negro	:	Acero con menos de 10,1% de carbono (C)
Hierro galvanizado	:	Acero al zinc (Zn)

Propiedades del hierro

El hierro (Fe) tiene aproximadamente las siguientes propiedades:

- Punto de fusión $T_F = 1536^\circ\text{C}$
- Punto de ebullición $T_E = 3000^\circ\text{C}$
- Densidad $\rho_{\text{Fe}} = 7,87 \text{ gr/cm}^3$
- Conductividad térmica $k = 0,19 \text{ cal/s cm } ^\circ\text{C}$
- Calor específico a 100°C $c_\theta = 0,12 \text{ cal/gr.k}$
- Calor de fusión $q_F = 3,67 \text{ Kcal/átomo-g}$
- Radio covalente $r = 1,17 \text{ Angstroms}$
- Dureza Brinell $HH = 82 - 100 \text{ HB}$
- Coeficiente de expansión lineal $\alpha = 12,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/k}$

Estructura atómica del hierro

La estructura atómica corresponde a las formas alotrópicas del hierro técnicamente puro.

El siguiente cuadro indica la estructura atómica del hierro de acuerdo a la temperatura del mismo. Se debe notar que la disposición del sistema cristalino de los átomos determina el magnetismo del hierro.

Rango de temperatura	Forma alotrópica	Sistema cristalino	Parámetro	Propiedad magnética
Menor que 788°C	α	BCC	2,86 Å	Muy magnética
$788 - 910^\circ\text{C}$	β	BCC	2,90 Å	Débilmente magnética
$910 - 1400^\circ\text{C}$	γ	FCC	3,60 Å	No magnética
$1400 - 1539^\circ\text{C}$	δ	BCC	2,93 Å	Débilmente magnética

Cuadro 1. Estructura atómica del hierro

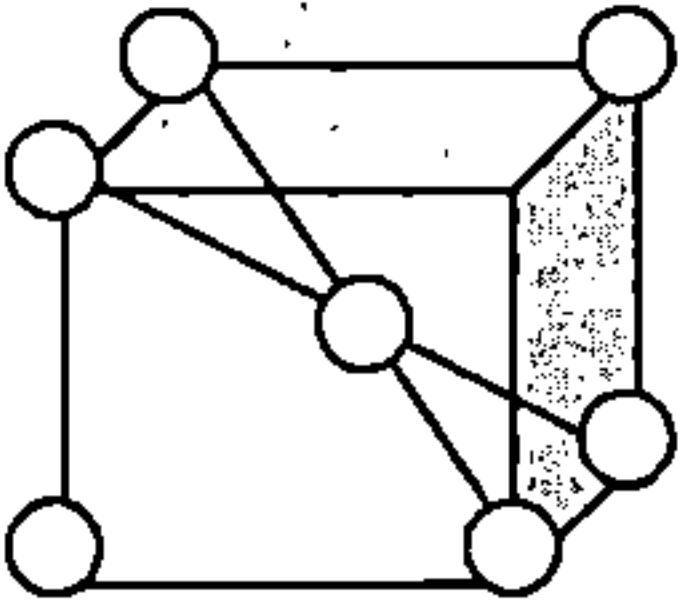
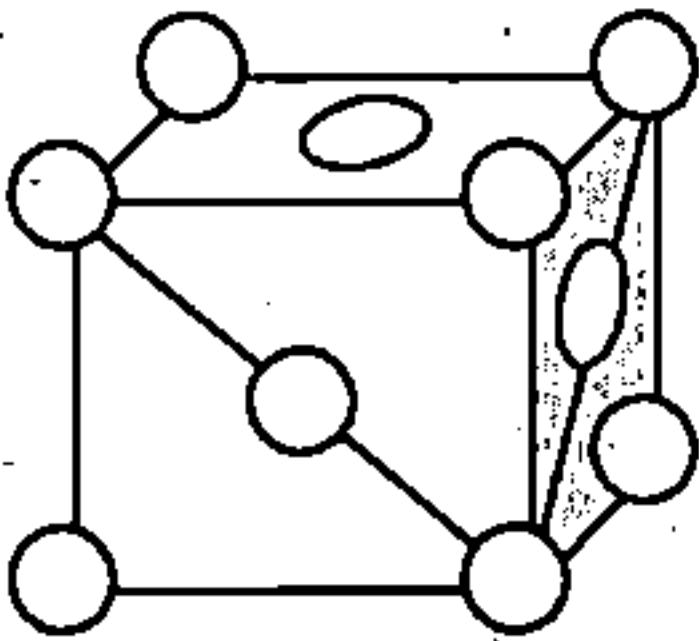
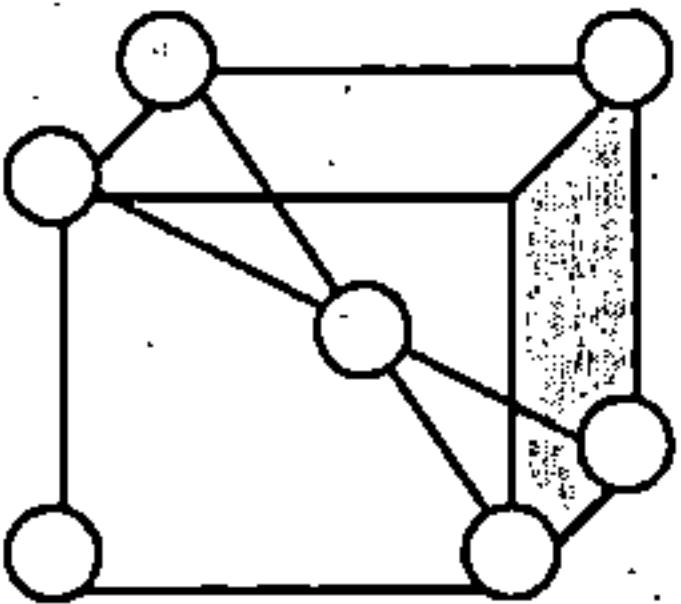
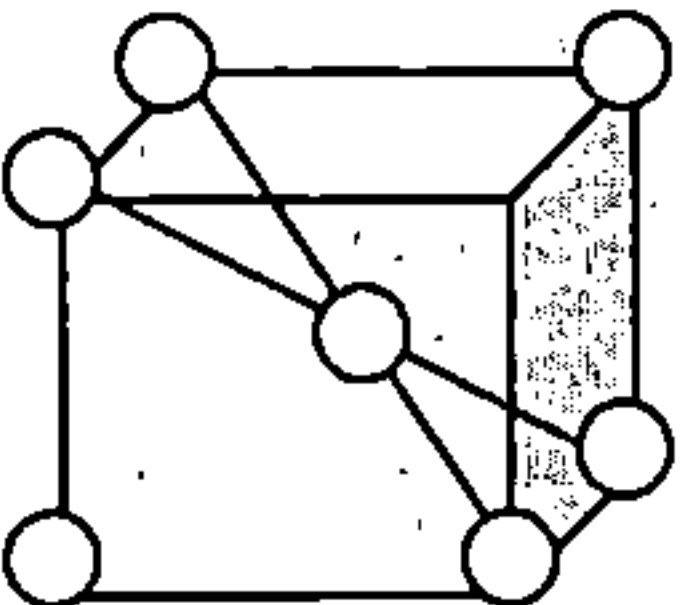
1539°C		
δ		BBC body center cubic cúbica centrada en el cuerpo
1400°C		
γ		FCC face center cubic cúbica centrada en las caras
910°C		
β		BBC body center cubic cúbica centrada en el cuerpo
788°C		
α		BBC body center cubic cúbica centrada en el cuerpo
Temperatura ambiente		

Figura 1. Formas alotrópicas del hierro técnicamente puro.

2. NOMENCLATURA SAE DE LOS ACEROS

La nomenclatura de los aceros se puede presentar de diversas formas. Para especificar un acero existen las normas SAE americanas, las normas AISI, las normas ASTM, las normas alemanas DIN, las normas internacionales ISO, así como también las normas españolas UNE, italianas UNI y algunas otras más.

En esta literatura se explicarán las normas SAE de denominación de materiales, y se hará referencia a las otras normas de acuerdo con los casos donde esto sea conveniente. Cabe indicar que las normas AISI tienen una nomenclatura de especificación de materiales bastante cercana a las normas SAE.

La nomenclatura SAE para los aceros aleados es la siguiente:

SAE 10XXX	acero al carbono	
SAE 11XXX	acero de maquinado fácil	
SAE 12XXX	acero al azufre y fósforo	
SAE 13XXX	acero al manganeso	1,75%Mn
SAE 23XXX	acero al níquel	3,50%Ni
SAE 31XXX	acero al níquel cromo	1,25%Ni-0,60%Cr
SAE 32XXX	acero al níquel cromo	1,75%Ni-1,00%Cr
SAE 33XXX	acero al níquel cromo	3,50%Ni-1,50%Cr
SAE 40XXX	acero al molibdeno	0,35%Mo
SAE 41XXX	acero al cromo molibdeno	1,00%Cr-0,20%Mo
SAE 43XXX	acero al níquel cromo molibdeno	1,80Cr-0,80Ni-0,25Mo
SAE 46XXX	acero al níquel molibdeno	1,75%Ni-0,25%Mo
SAE 47XXX	acero al níquel-cromo molibdeno	1,05Cr-0,45Ni-0,25Mo
SAE 48XXX	acero al níquel molibdeno	3,50%Ni-0,25%Mo
SAE 50XXX	acero al cromo	0,40%Cr
SAE 51XXX	acero al cromo	0,80%Cr-1,00%C
SAE 52XXX	acero al cromo	1,5%Cr
SAE 61XXX	acero al cromo vanadio	0,95%Cr-0,15%V
SAE 86XXX	acero al níquel cromo molibdeno	0,55%Ni-0,50%Cr-0,20%Mo
SAE 87XXX	acero al níquel cromo molibdeno	0,55%Ni-0,50%Cr-0,25%Mo
SAE 92XXX	acero al manganeso silicio	0,80%Mn-2,00% Si
SAE 93XXX	acero al níquel cromo molibdeno	1,00%Ni-1,20%Cr-0,12%Mo
SAE 94XXX	acero al manganeso níquel cromo molibdeno	1,00%Mn-0,45%Ni-0,40%Cr-0,12%Mo
SAE 97XXX	acero al níquel cromo molibdeno	0,55%Ni-0,17%Cr-0,20%Mo
SAE 98XXX	acero al níquel cromo molibdeno	1,00%Ni-0,80%Cr-0,25%Mo

Las tres X (XXX) indican el porcentaje de carbono del acero dividido entre cien (100).

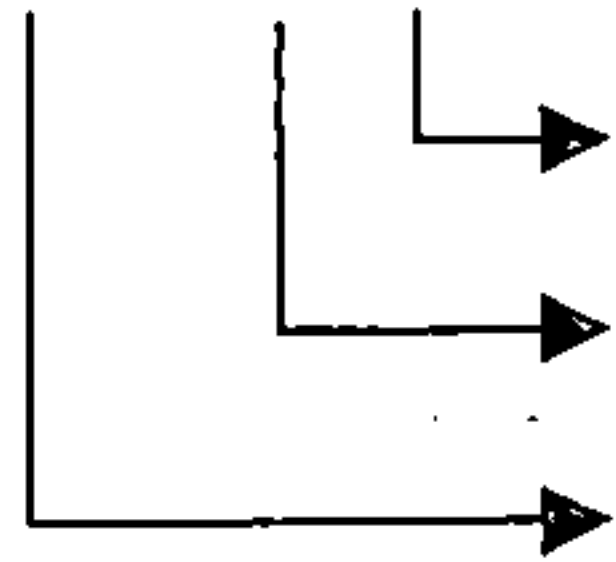
Ejemplo 1

Describir la designación del acero SAE 1020.

Los dos primeros dígitos "10" representan la especificación de un acero al carbono.

Los dos últimos dígitos "20" representan (20/100)% de contenido de carbono aproximadamente, es decir 0,20% C.

SAE 10 20



0,2%C

Acero al carbono

Norma de designación del material

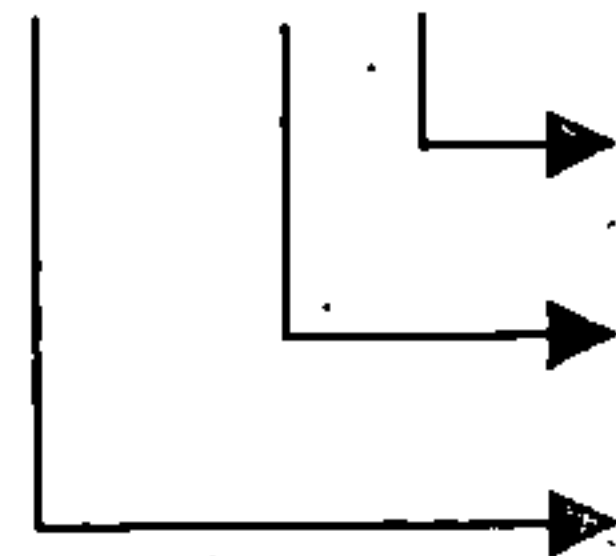
Ejemplo 2

Describir la designación del acero SAE 46110.

Los dos primeros dígitos "46" representan un acero aleado al níquel, molibdeno, con 1,75Ni y 0,25Mo aproximadamente.

Los tres últimos dígitos "110" representan (110/100)% de contenido de carbono aproximadamente, es decir 1,10%C.

SAE 46 110



1,10%C

Acero aleado 1,75Ni, 0,25Mo.

Norma de designación del material.

Si se desea pasar de las normas SAE a las otras normas para aceros, se tiene la tabla de equivalencias (tabla 2), para algunos casos comunes.

UNE		SAE	DIN	UNI	UNE		SAE	DIN	UNI
Numérica	Simbólica				Numérica	Simbólica			
F 1110	Cl5k	1016			F 171			31CrMo12	
F 1131	C32k	1030							
F 1132	C37k		Ck35	C38	F 211			22520	
F 1140	C45k	1046	Ck45	C45	F 221		1020	CK15/CK22	
F 1141	C42k	1042		C43	F 222		4125	25CrMo4	25CrMo4
F 1142	C47k	1046	Ck45	C48					
					F 314		30302		
F 1201	38Cr4	5135	37Cr4						
F 1202	42Cr4	5140			F 6200			ST33-1	Fe33
F 1203	36Mn6	1036			F 6201			ST37-1	Fe37-A
F 1250	35CrMo4	4135	34CrMo4	35CrMo4	F 6202			ST37-2	Fe37-B
F 1251	30CrMo4				F 6203			ST37-3U	Fe37-C
F 1252	40CrMo4	4140			F 6204			ST37-3N	Fe37-D
F 1262	32NiCrMo12				F 6205			ST42-1	Fe42-A
F 1272	40NiCrMo7				F 6206			ST42-2	Fe42-B
F 1282	40NiCrMo4				F 6207			ST42-3U	Fe42-C
					F 6208			ST42-3N	Fe42-D
F 131		52100		100C6	F 6213				Fe52-B
					F 6214			ST52-34	Fe52-C
F 141		1070	CK67	UC70	F 6215			ST52-3N	Fe52-D
F 143			50CrV4	50CV4	F 6216			ST50-1	Fe50-1
F 144		9262	55Si7		F 6217			ST60-1	Fe60-1
					F 6218			ST70-2	Fe70-2
F 1510	C10K	1010 (Sik)	CK10	C10					
F 1511	C17K	1018							
F 1522	20NiCrMo2	8620							
F 1522	20NiCrMo								
F 1525	20NiCrMo5								
F 1550	18CrMo4								
F 1560	14NiCrMo13								

Tabla 2. Equivalencias de los aceros.

2.1 Designación de algunos aceros según las normas DIN

Aceros al carbono (no aleados)

Los aceros al carbono se designan indicando la resistencia a tracción del material, o su porcentaje de carbono.

La subdivisión será:

St:	aceros de construcción
C:	aceros de calidad
Ck:	acero fino con bajo contenido de fósforo (P) y azufre (S)
Cf:	acero para temple
Cm:	acero fino con indicación de rango de contenido de azufre (S)
Cq:	aceros de cementación y bonificados

Ejemplo 1

Describir la designación de los aceros St 37-2; StE36; Cf 55

- 1) Acero St 37 – 2 St = acero de construcción
 Esfuerzo de tracción $\sigma_t = 37 \text{ kg/mm}^2$ (rotura)
 Grado de calidad = 2

Nota: Grado de calidad	1	acabado basto
	2	acabado bueno
	3	acabado de alta calidad

- 2) Acero StE 36 StE = acero de construcción, donde 36 será límite de fluencia.
 Esfuerzo de fluencia: $\sigma_y = 36 \text{ kg/mm}^2$

Los esfuerzos de fluencia y de rotura se pueden observar en el diagrama esfuerzo versus deformación relativa de la figura.

Deformación relativa = $\Delta \text{ long} / \text{long}$

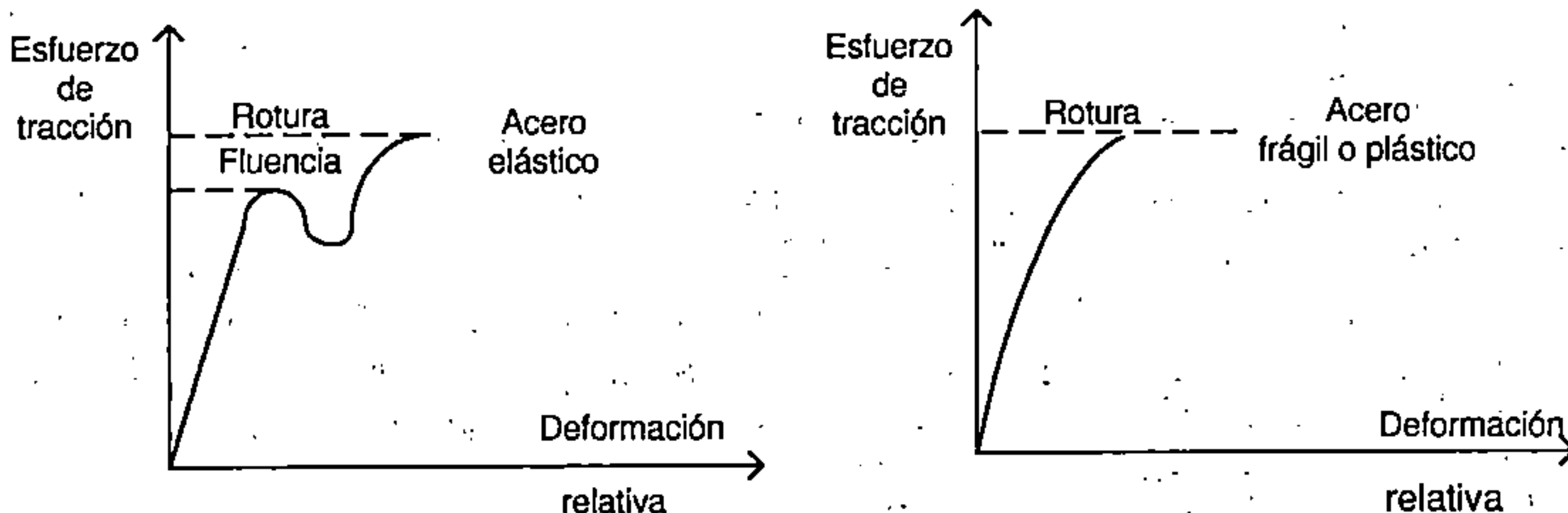


Figura 2. Diagrama del esfuerzo de tracción versus deformación relativa de los aceros. Los aceros elásticos fallan por fluencia y los aceros plásticos por rotura.

- 3) Acero Cf 55 Cf = acero de calidad para temple
 Contenido de carbono 0,55%C

Aceros aleados

Los aceros aleados se designan según su composición química.

En los aceros de baja aleación, la suma de los componentes es menor que 5% del peso.

En los aceros de alta aleación, la suma de los componentes es mayor que 5% del peso.

Ejemplos

Describir la designación de los siguientes aceros: 34 Cr4; X7 Cr 13; 48 Cr Mo V6 7

- 1) 34 Cr 4 acero al cromo, de baja aleación
 $34/\gamma = 0,34\%C$, $4/\gamma = 1\%Cr$

γ es un factor que depende del elemento aleante

$\gamma = 4$	$\gamma = 10$	$\gamma = 100$
Cromo Cr	Aluminio Al	Carbono C
Cobalto Co	Molibdeno Mo	Fósforo P
Manganeso Mn	Titanio Ti	Azufre S
Níquel Ni	Vanadio V	Nitrógeno N
Silicio Si		
Tungsteno W		

Tabla 3. Elementos aleantes.

- 2) X 7 Cr 13 X = acero de alta aleación
 $7/\gamma = 0,07\%C$, $13/\gamma = 3,25\%Cr$
- 3) 48 Cr Mo V 6 7 acero al cromo molibdeno
 $48/\gamma = 0,48\%C$, $6/\gamma = 1,5\%Cr$
 $7/\gamma = 0,7\%Mo$, bajo contenido de vanadio V

2.2 Constituyentes o componentes estructurales de las aleaciones hierro-carbono

Los constituyentes que integran las aleaciones hierro-carbono son once, de los cuales algunos predominan en los aceros y otros en las fundiciones.

Se tienen los siguientes componentes: ferrita, cementita, perlita, austenita, martensita, troostita, sorbita, bainita, ledeburita, steadita y grafito. A continuación se describe cada uno de ellos. Notaremos que HB representa la dureza del constituyente en escala Brinell (ver acápite 4.5).

Ferrita

Fe_α (hierro alfa) dureza 90 HB

Aunque la ferrita es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es tan pequeña que no llega a disolverse a 0,008% de carbono; por eso se le considera como hierro alfa puro. La máxima solubilidad del carbono en el hierro alfa es de 0,2% a 723°C. La ferrita es el más blando y dúctil de los constituyentes de los aceros. Cristaliza en la red cúbica centrada, tiene una dureza de 90HB, con una resistencia a la rotura de 28 kg/mm², y su alargamiento es del 40%. Es magnética.

Cementita

Fe_3C (Carburo de hierro) dureza 700 HB

Contiene 6,67% de carbono y 93,33% de hierro.

Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza Brinell de 700 (aproximadamente 68HRc). Es magnética hasta los 210°C, a partir de los cuales pierde su magnetismo. Cristaliza en la red ortorrómbica.

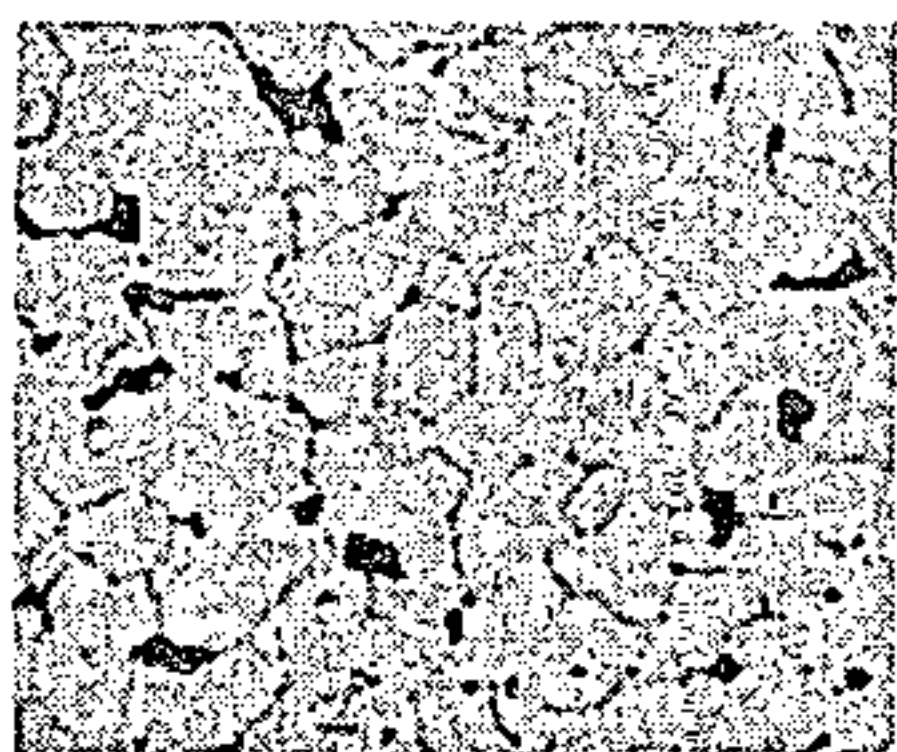
La figura 2 muestra la estructura metalográfica de la ferrita, la perlita y la cementita.

Perlita

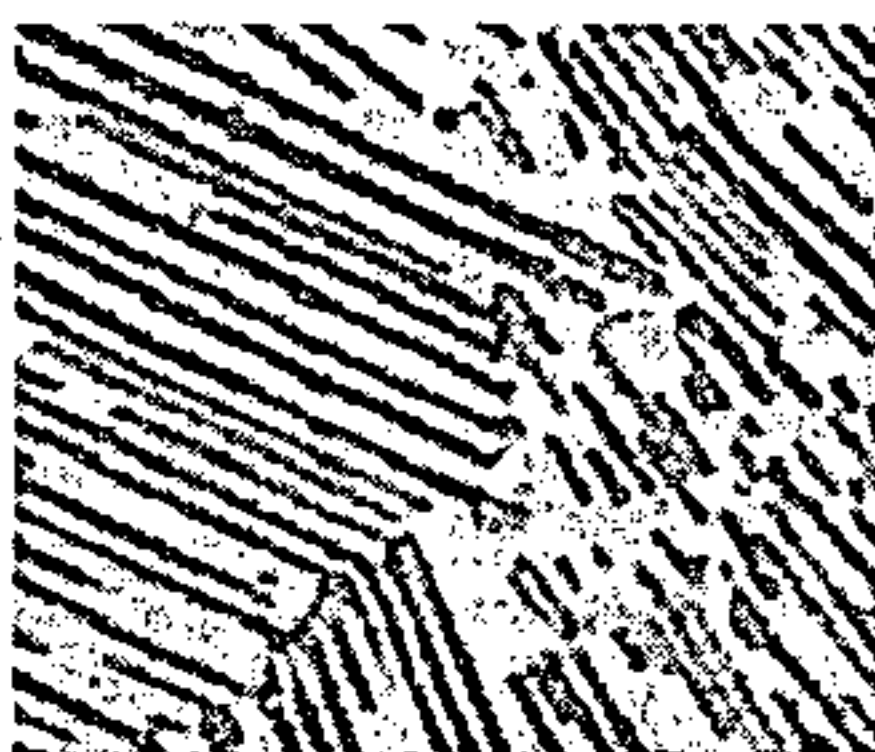
(ferrita + cementita) dureza 200 HB

Contiene 86,5% de Fe_α y 13,5% de Fe_3C

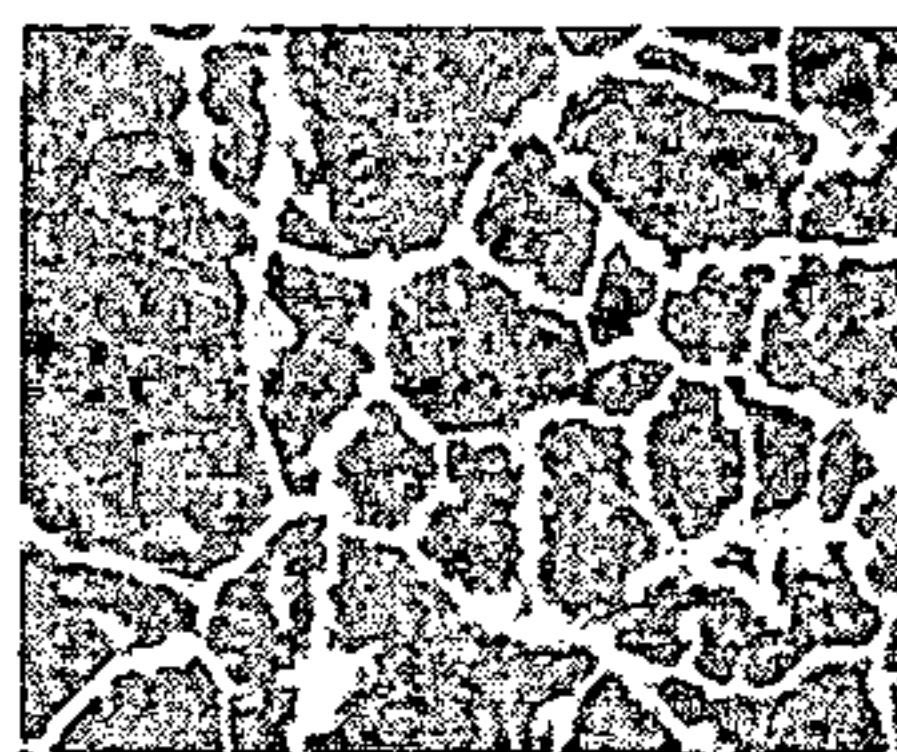
Tiene una resistencia a la rotura de 80kg/mm² y un alargamiento de un 15%. El nombre de la perlita se debe a los colores que adquiere al ser iluminada, como parecidas a las perlas.



ferrita



perlita (0,89%C)



cementita (1,2%C) red blanca de cementita, que rodea los granos de perlita

Figura 3. Estructura metalográfica de los aceros.

Austenita

Fe_γ dureza 300 HB

Puede encontrarse en aceros hasta con 2% de carbono. Este componente es el más buscado para realizar tratamientos térmicos de temple, de recocido y de normalizado de una pieza.

La austenita en los aceros al carbono, es decir, sin ningún otro elemento aleado, empieza a formarse a la temperatura de 723°C; y, a partir de la temperatura crítica superior, la totalidad de la

masa de acero está formada por cristales de austenita. Puede obtenerse en los aceros una estructura austenítica, a la temperatura ambiente, enfriando muy rápidamente la probeta de acero de alto contenido de carbono, desde una temperatura por encima de la crítica superior. Pero como esta austenita no es estable, con el tiempo se transforma en ferrita y perlita, o bien en cementita y perlita. Tiene una dureza Brinell de 300, y una resistencia a la rotura de 100kg/mm^2 y un alargamiento de un 30%. No es magnética.

Martensita

La apariencia de su grano en el microscopio es en forma de agujas de ferrita y cementita, producto del enfriamiento súbito de la austenita en un tratamiento térmico de temple.

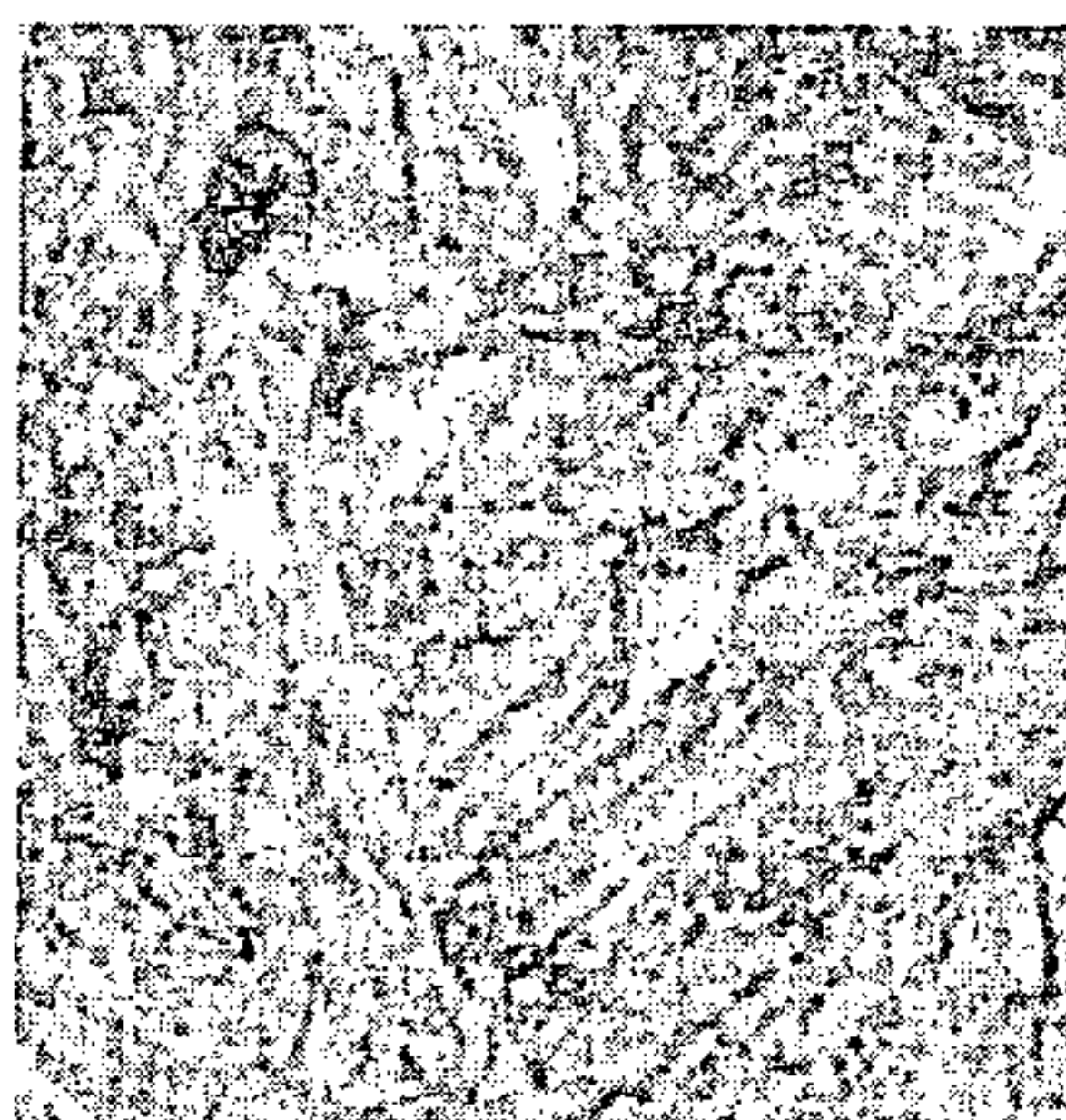
Después de la cementita, es el constituyente más duro de los aceros. La martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa. Se obtiene por enfriamiento muy rápido de los aceros, una vez elevada su temperatura lo suficiente para conseguir su constitución austenítica.

La proporción de carbono no es constante en la martensita, pues varía hasta un máximo del 0,89%, aumentando ésta en dureza, resistencia mecánica y fragilidad con un contenido de carbono. Su dureza varía desde 50 a 68HRc; su resistencia mecánica, de 175 a 250kg/m^2 ; y su alargamiento, del 2,5% al 0,5%. Es magnética.

La austenita y la martensita son formas cristalinas que se presentan en los aceros en el proceso de templado. Los tratamientos térmicos de recocido, normalizado y templado pasan por la estructura de la austenita, y el final de un templado presenta en los aceros la martensita. La figura 4 muestra la forma de los granos de la austenita y la martensita.



(A) Austenita, de un acero inoxidable al 0,15%C



(B) Martensita

Figura 4. Forma de los granos del acero templado.
(A) Austenita, durante el proceso de temple.
(B) Martensita, al final del tratamiento de temple.

Troostita

(Dureza 450 HB).

Es una transformación isotérmica de la austenita a una temperatura aproximada de 500°C a 600°C. Es decir, se enfría la austenita rápidamente a temperaturas de 500 a 600°C, y se mantiene a este nivel la temperatura hasta que toda la austenita se convierta en troostita. Tiene un alargamiento del 7,5% y una resistencia mecánica de 250 kg/mm².

Sorbita

(Dureza 350 HB).

Es una transformación isotérmica de la austenita a una temperatura entre 600 y 650°C. El proceso es similar al de la troostita, pero se obtiene sorbita. Tiene un alargamiento del 15% y una resistencia mecánica de 100 gk/mm².

Bainita

Es una transformación isotérmica de la austenita a una temperatura entre 250 y 500°C. El proceso es similar a la troostita, pero se obtiene bainita.

Ledeburita

Se encuentra en el hierro fundido, no es constituyente de los aceros sino de las fundiciones. Se encuentra en las aleaciones hierro-carbono cuando el porcentaje de carburo de hierro aleado es superior al 25%; es decir, con un contenido total de 1,76% de carbono. Se forma al enfriar la fundición líquida del 4,3% de carbono desde los 1130°C, siendo estable hasta los 723°C y descomponiéndose en ferrita y cementita a partir de esta temperatura. Contiene un 52% de cementita y un 48% de austenita de 1,76% de carbono. El contenido total de carbono en la Ledeburita es de 4,3%.

Steadita

Se encuentra en el hierro fundido. Aparece en las fundiciones de más de 0,15%P. Una fundición con 0,15%P contiene aproximadamente 1,5% de steadita, pues la ésta se compone de aproximadamente de 10% de fósforo. La steadita funde a 960°C, y es muy dura y frágil.

Grafito

(Carbono sólido)

Se encuentra en el hierro fundido. Es uno de los tres estados alotrópicos en que se encuentra el carbono libre en la naturaleza, siendo los otros dos el diamante y el carbono amorfo. El grafito es blando, de color gris oscuro y de peso específico 2,35.

Las funciones que lo contienen tienen la dureza, la resistencia mecánica, la elasticidad al desgaste y la corrosión y sirve de lubricante en los rozamientos.

3. PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO

Los hierros y aceros deben pasar por dos etapas. Por un lado se tiene el alto horno para obtener el arrabio o proceso primario de obtención del acero. Por otro lado, se tiene el proceso secundario o de refinación de los aceros y fundiciones, a través del convertidor Bessemer, o el horno Siemens-Martin.

3.1 Producción de hierro. Minerales. Producción del lingote. Preparación previa de los minerales

Producción de hierro

La producción del hierro necesita de los minerales para su fundición, producir los lingotes y la preparación previa de los minerales.

Minerales

Para obtener la fundición de hierro, arrabio o lingote, los minerales de importancia metalúrgica son, en primer lugar los óxidos, en segundo lugar el carbono de hierro o siderita, y en tercer lugar las piritas calcinadas. Los óxidos son: hematita u óxido férrico, que contiene hasta 70% de hierro, limonita u óxido hidratado, que contiene hasta 60% del metal, magnetita u óxido magnético, que contiene hasta 72,4%. El carbono de hierro o siderita contiene hasta 48% de hierro. Finalmente, se tienen las piritas calcinadas, que han servido para la extracción del ácido sulfúrico y que todavía pueden contener hasta 4% de azufre. Aquí el hierro se encuentran en estado de óxido férrico.

Por supuesto que en los yacimientos industriales no se encuentran las especies minerales en estado de pureza, están acompañadas con una cierta proporción de gangas que rebajan su contenido de hierro en el mineral. Las gangas más comunes son las terrosas tales como cuarzo, silicatos diversos, entre otros.

Producción del lingote

El procedimiento para producir el lingote es la fusión de los minerales oxidados ya citados, mezclándolos con un agente reductor, el cual es comúnmente coque u otro combustible carbonoso, para que así se descompongan los óxidos de hierro cediendo su oxígeno al carbono y liberando metal.

El proceso se complica por el hecho de que los minerales de hierro se presentan acompañados por cierta proporción de gangas silicosas o terrosas, las que tienen que ser eliminadas como escorias y para esto se requiere a veces agregar fundentes y siempre elevar la temperatura; pero, a temperatura elevada, el hierro absorbe carbono, silicio y fósforo; y, resulta que el producto final es el lingote o fundición de hierro.

Además, a veces exige que se someta el mineral a una preparación previa. De esta manera, el proceso total para obtener el lingote comprende dos partes que son:

- Preparación previa de los minerales
- Fusión en los altos hornos

Preparación previa de los minerales

La preparación de los minerales antes de proceder a su fusión puede consistir en alguna o varias de las siguientes operaciones:

- *Molienda.*- Esta operación se lleva a cabo con el objeto de poner el mineral en tamaño tal que facilite la reducción completa de los óxidos al contacto del aire dentro de los altos hornos, antes de que alcancen la zona de fusión pues, de otra manera, el metal oxidado pasaría a la escoria. Para practicar la molienda se emplean las trituradoras corrientes de diversos tipos.

- *Lavado.*- Se practica con el objeto de eliminar la arcilla, arena y además materiales similares. Se efectúa echando el mineral sobre parrillas de hierro bajo la acción de una corriente de agua y agitando el mineral con rastrillos.
- *Concentración magnética.*- Se usa para concentrar aquellos minerales cuya base es el óxido magnético.

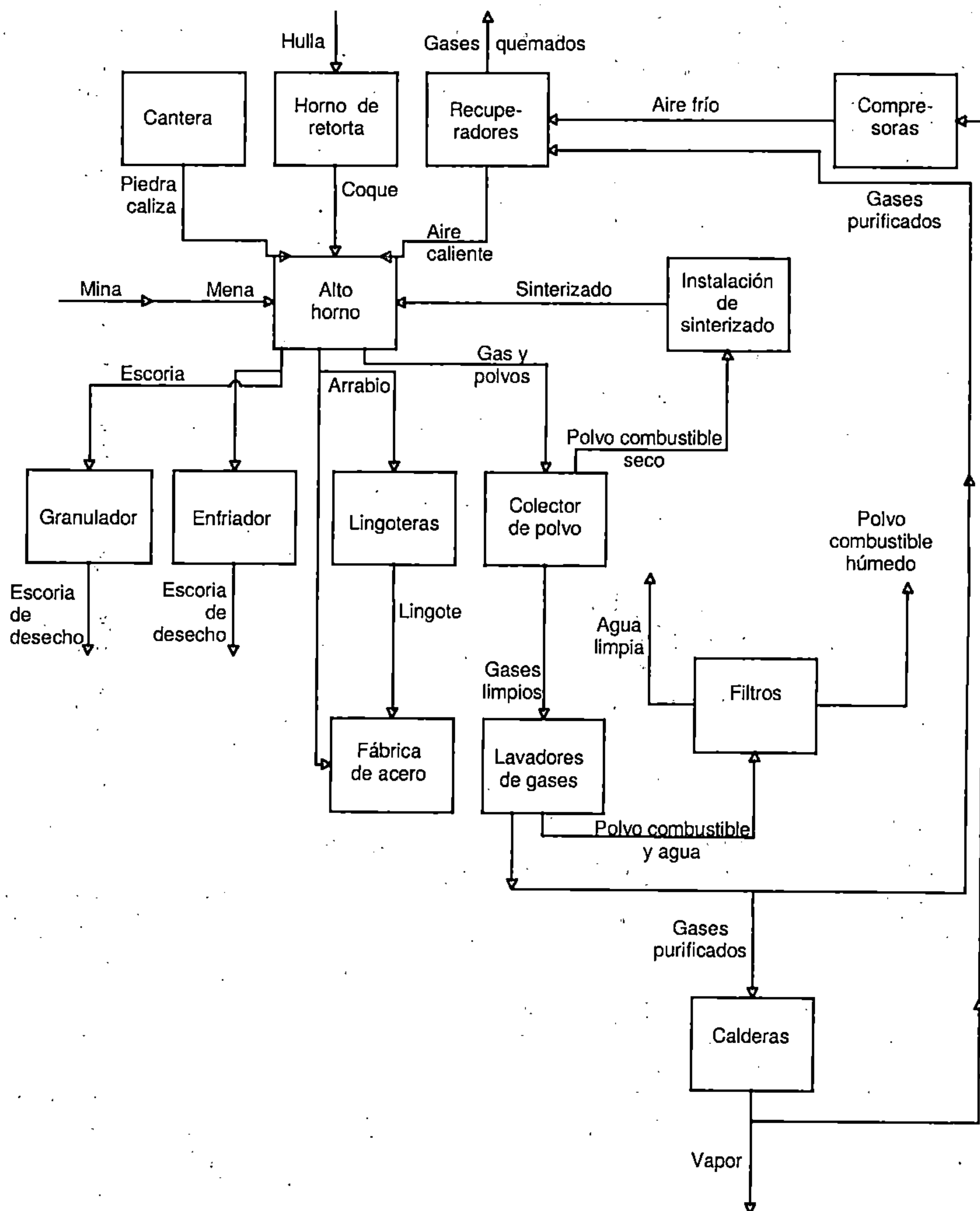


Figura 5. Diagrama de operaciones de trabajos en el alto horno.

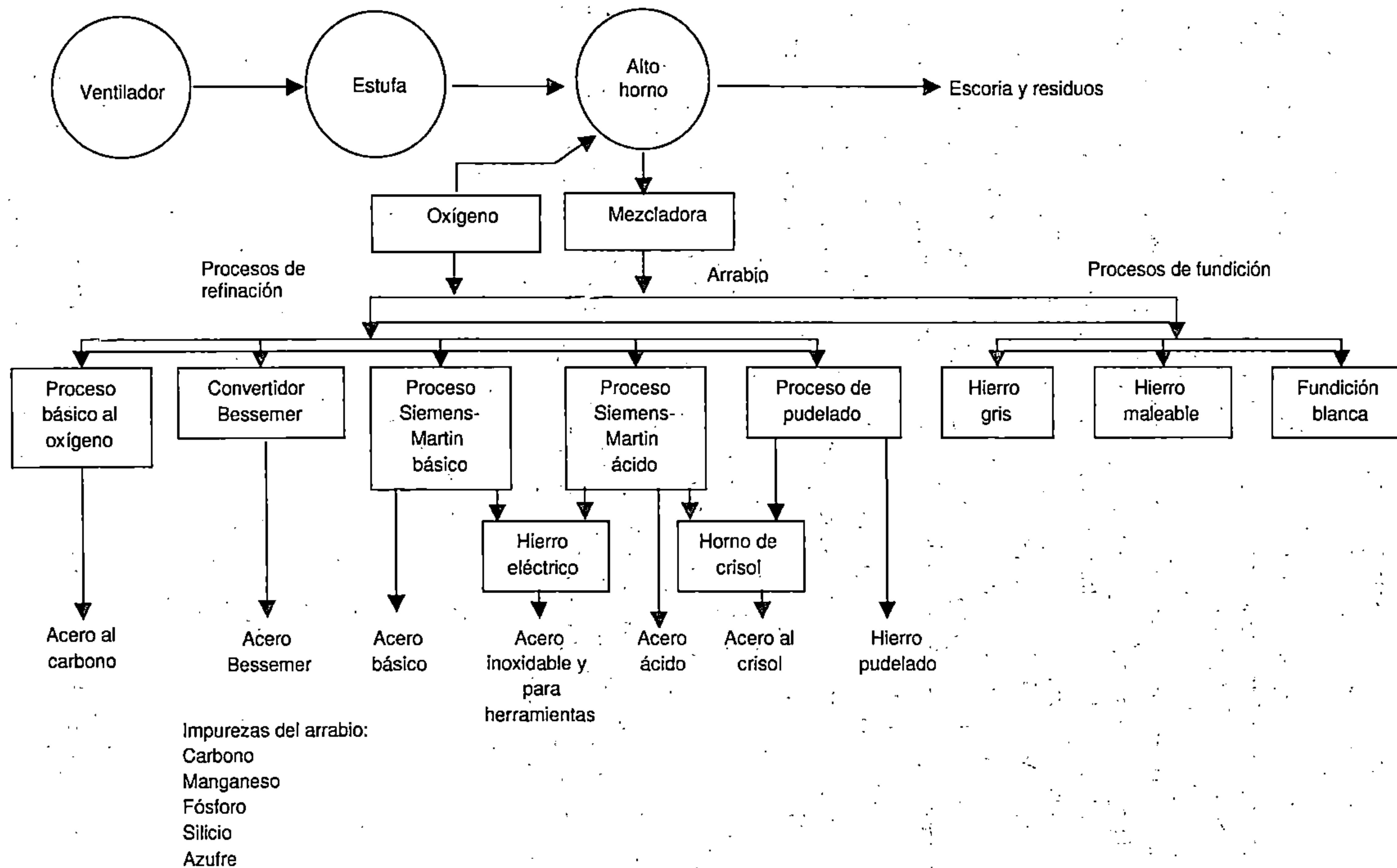


Figura 6. Diagrama de producción del hierro (arrabio) y el acero (la carga del alto horno es mineral de hierro, coque, caliza, chatarra).

3.2 El alto horno y los hornos de refinación del acero. Carga del alto horno. Los hornos de refinación. El horno de oxígeno

El alto horno

El alto horno es un gran tubo de acero, de unos 8 a 10 metros de diámetro, sobre una base de ladrillos. El recipiente de acero está revestido interiormente con ladrillo refractario, que es recambiable.

Las regiones más importantes del alto horno son: crisol, etalaje, vientre, cuba y tragante.

- *El crisol.*- Es la región donde se encuentran el metal y la escoria fundidos. La escoria flota sobre el metal por el efecto de diferencia de densidades. El escoriadero permite descargar la escoria, y por la piquera de colada fluye el metal fundido, que, a través de las cucharas de colada, es transportado a los mezcladores (tanques de almacenamiento o a los moldes) (lingoteros) para solidificar en lingotes.
- *El etalaje.*- Se encuentra sobre el crisol y corresponde a la zona de combustión y fusión respectivamente, se llega a temperatura del orden de los 1700°C, para garantizar la fusión del hierro (Fe) cuyo valor es de 1536°C aproximadamente. La combustión se logra mantener con el oxígeno de un flujo de aire de aproximadamente 2bar de presión, que ingresa alrededor del horno a través de unas 18 toberas.
- *El vientre y la cuba.*- Se ubican encima del etalaje. Esto corresponde a la zona de absorción de calor y reducción. En la zona superior —de reducción— se tiene temperaturas de 150°C, hasta llegar a la zona inferior, —de absorción— con temperaturas de 1200°C. Ya que la temperatura va aumentando de arriba hacia abajo en forma continua, no se puede establecer el paso de la región cuba (reducción) a la región vientre (absorción de calor).
La zona de absorción de calor logra precalentar la carga para garantizar una fusión continua en la región de etalaje. La zona de reducción, a pesar de que precalienta la carga, tiene como función principal quemar el contenido de oxígeno de la carga.
- *La región del tragante.*- Contiene una campana de alimentación y una campana de distribución. Con las campanas se logra una distribución uniforme de la carga, y los gases de la combustión son liberados a través de los ductos a su alrededor.

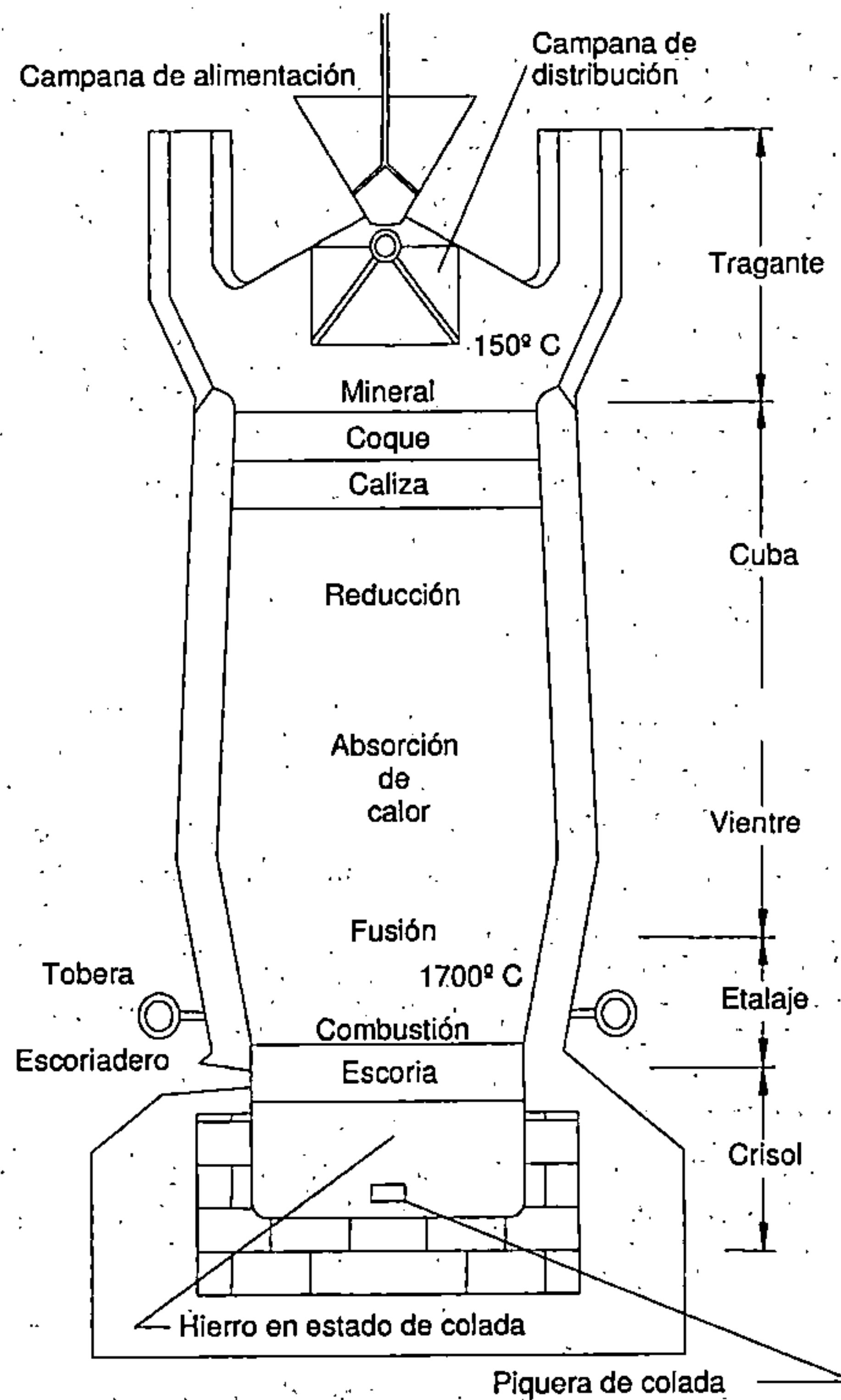


Figura 7. El alto horno.

Carga del alto horno

La carga del alto horno está compuesta por cuatro materiales:

- Mineral de hierro
- Coque
- Caliza
- Chatarra de acero

Mineral de hierro

Es un agregado de compuestos con contenido de hierro Fe. Los agregados son óxidos de hierro (FeO), llamados hematitas (70%Fe), limonita (60%Fe) y magnetita (72% Fe). El mineral contiene las siguientes impurezas: Silicio (Si), Azufre (S), Fósforo (P), Manganeseo (Mn), Calcio (Ca), Titanio (Ti), Aluminio (Al), Magnesio (Mg), que mediante análisis, preparan la mezcla para la carga del horno.

Coque

Se obtiene del carbón. El coque produce el calor necesario para la reducción y fusión del hierro. El hierro Fe toma el carbono C del coque y las impurezas del mineral, y la cantidad que toma el hierro es mayor que la necesaria para producir el acero, por lo que será necesario un proceso de refinación en una segunda etapa, independiente del alto horno, llamado proceso de oxidación o de conversión.

Existen dos procesos para producir coque:

- Proceso de horno de colmena
 - Se carga el carbón
 - Se enciende el horno y los gases se encienden y queman
 - El carbón pasa a estado de semifusión
 - La masa caliente se rocía con agua, se controla y fragmenta irregularmente
 - Finalmente se obtienen briquetas de coque altamente resistentes a cargas
- Proceso recuperativo
 - Se calienta el carbón y se desprenden sus gases
 - Los gases se recolectan, separan, y el gas retorna al horno para ser utilizado en el calentamiento
 - El proceso se cumple cuando el carbón se funde

En general, lo que se busca al pasar del carbón a una masa de coque en briquetas es eliminar la humedad, para aumentar el poder calorífico del carbón y eliminar el material volátil que contiene dicho carbón. Además, se eliminan las impurezas.

Caliza

Es el carbonato de calcio (CaC). Se requiere de aproximadamente 200 kilogramos de caliza para producir una tonelada de arrabio. La caliza se combina fácilmente con las impurezas, las remueve y forma la escoria.

Chatarra de acero

Esta chatarra ocupa aproximadamente el 7% de la carga total del horno. La chatarra de acero permite controlar la calidad del arrabio como producto final del alto horno.

Finalmente, se obtiene el arrabio, donde:

Una tonelada de arrabio necesita:

1,60 toneladas de mineral de hierro

0,65 toneladas de coque

0,20 toneladas de caliza

0,50 toneladas de chatarra de acero

4,00 toneladas de aire

El arrabio

Tiene aproximadamente 90% de hierro (Fe) y 10% de impurezas. Las impurezas representan 4 a 5% de carbono (C), 1,25% de silicio (Si), 1,0 a 2,5% de manganeso (Mn), 0,64% de azufre (S) y 0,06 a 3% de fósforo (P). Luego se requiere de un proceso secundario de refinación o conversión para producir del arrabio el acero deseado.

Los hornos de refinación del acero

El horno Siemens- Martin

Después de obtenido el arrabio, se pasa al proceso de refinación, para obtener un acero Siemens-Martin. El horno Siemens-Martin tiene una cámara de recuperación de calor que permite precalentar el aire y el combustible a utilizar en el proceso.

Las cámaras de recuperación son calentadas por los gases producto de la combustión, que luego de ceder calor se retiran al exterior a través de su chimenea.

El calentamiento o fusión del arrabio, o del acero, es por contacto directo de los gases de la combustión con la carga.

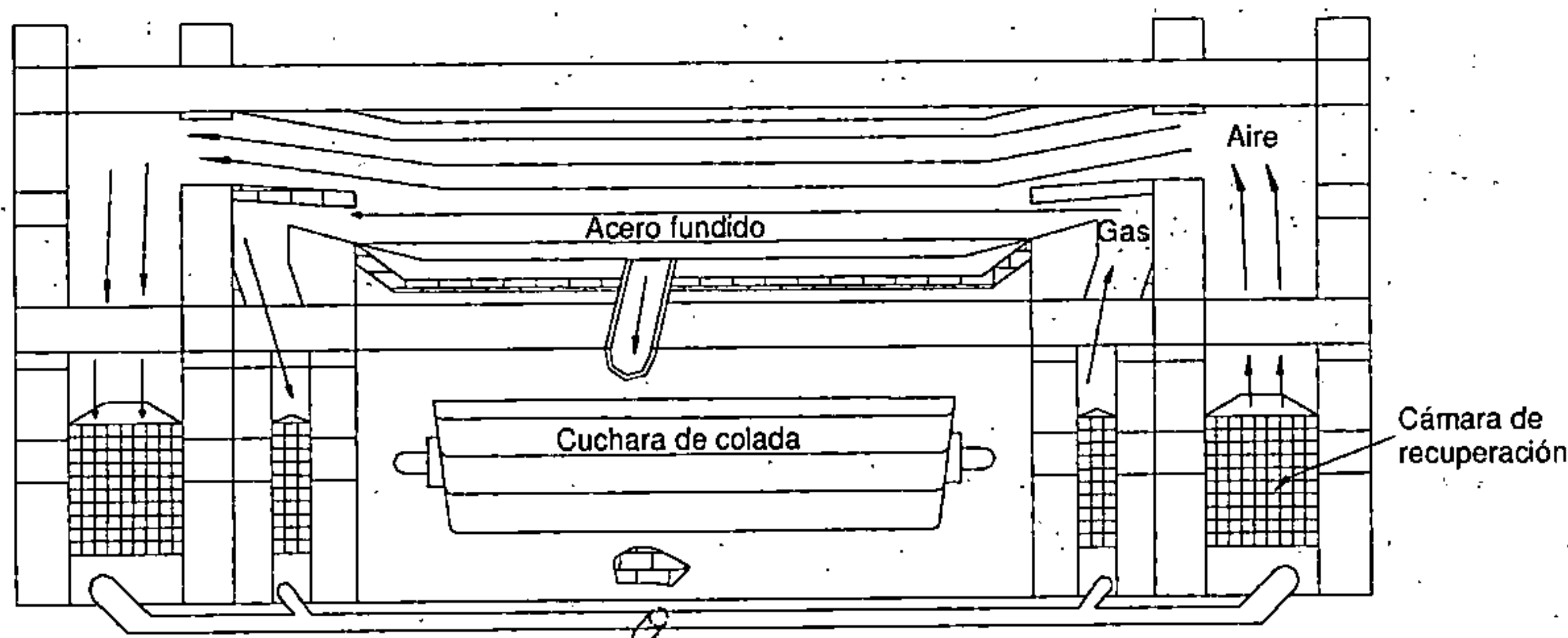


Figura 8. El horno Siemens-Martin.

El convertidor Bessemer

Es otro proceso utilizado en la producción de acero. Se trata de un recipiente cilíndrico, que a través de chumaceras puede ser inclinado. Una chumacera del accionamiento de giro del horno, y la otra chumacera (o apoyo) es hueca, para dejar pasar el aire a presión y por debajo, cuando el horno está en posición vertical. La inclinación horizontal es para cargar el horno con el arrabio que viene de los mezcladores. El aire ingresa a 1,8bar de presión y un caudal aproximado de mil metros cúbicos por minuto.

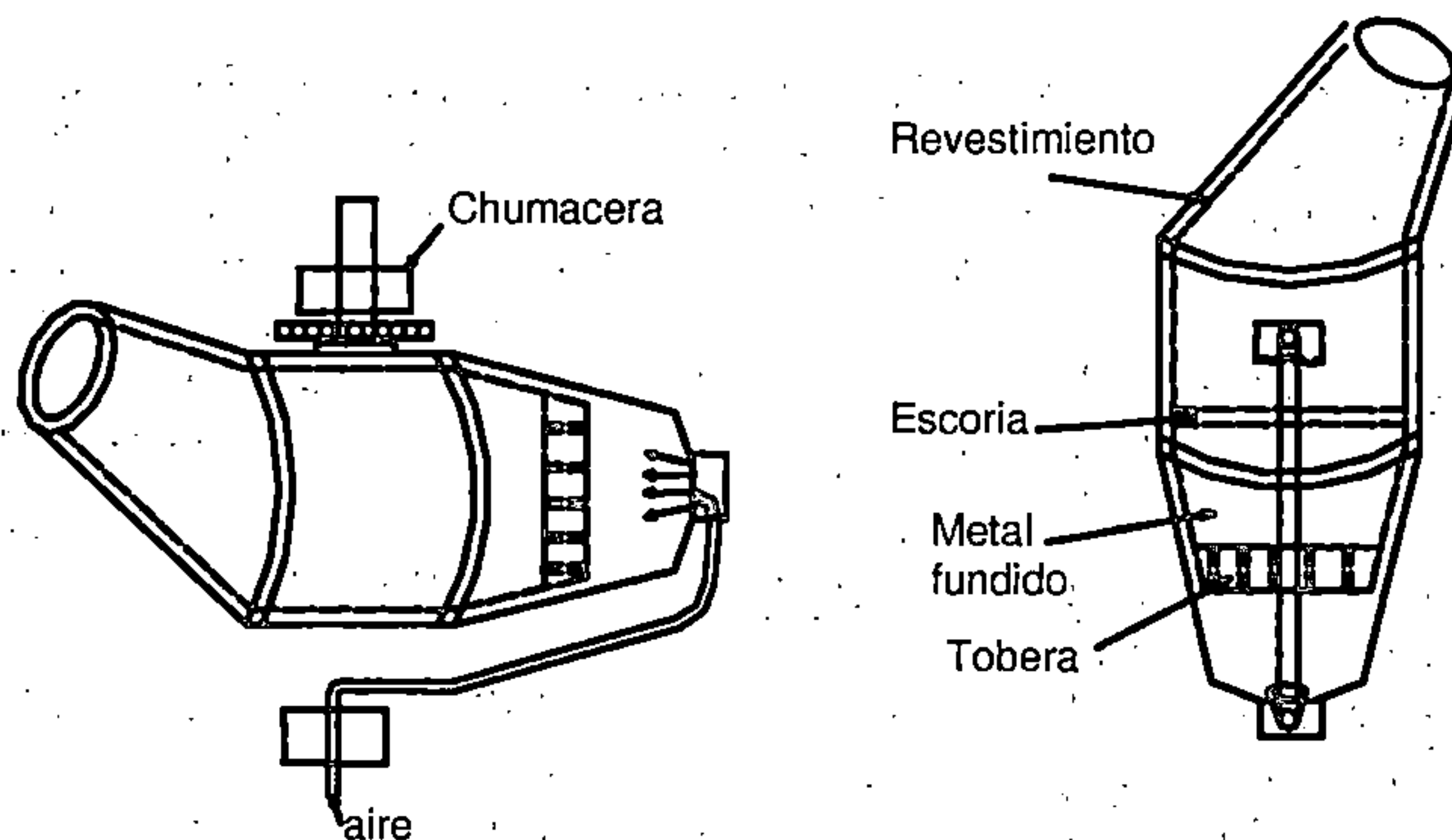


Figura 9. El convertidor Bessemer.

El horno de oxígeno

El horno de oxígeno es un proceso de producción de acero que utiliza oxígeno inyectado en el baño de arrabio y chatarra fundida.

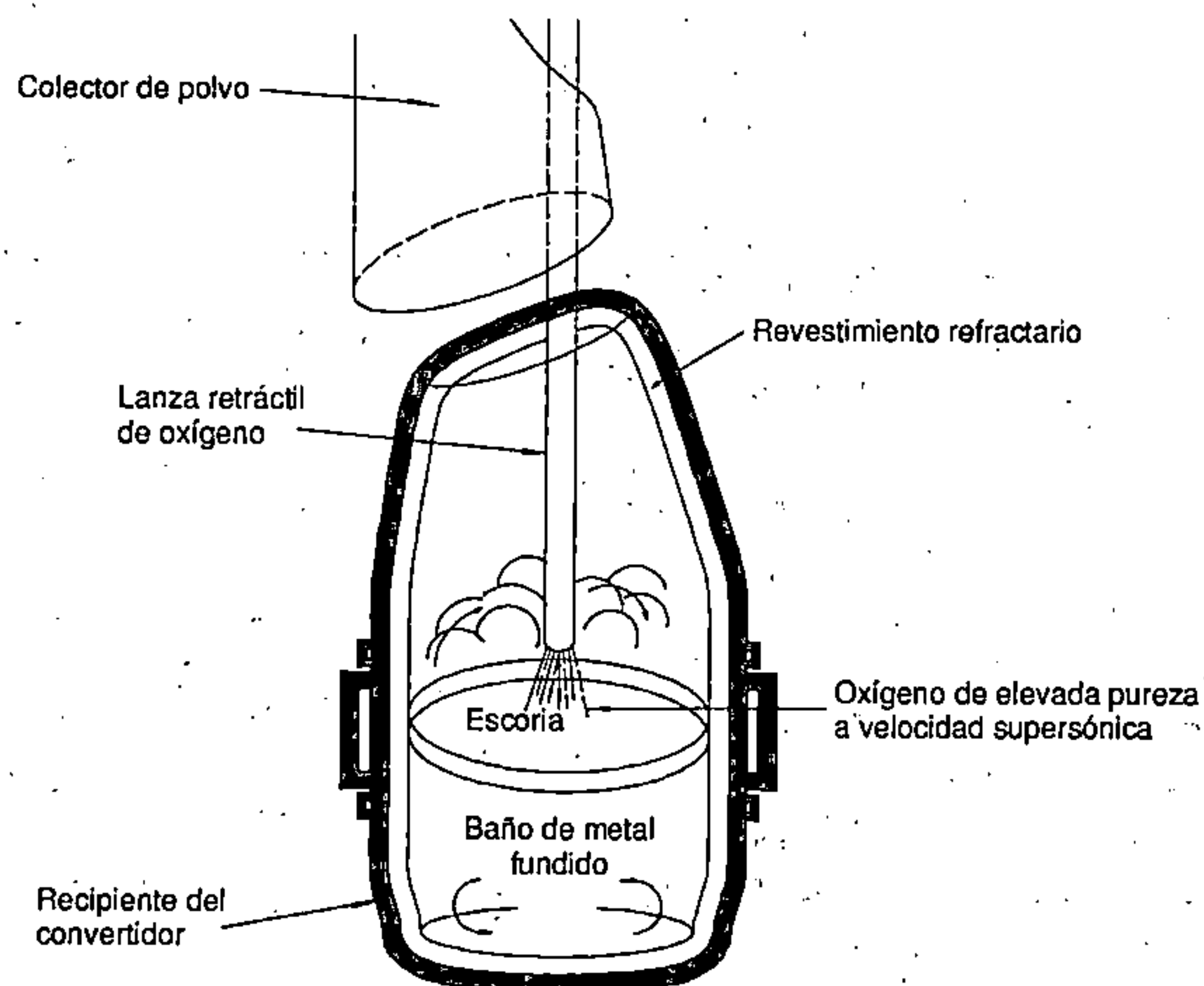


Figura 10. El horno de oxígeno con revestimiento básico.

El horno eléctrico

El horno eléctrico está formado por un recipiente circular de acero que puede ser inclinado con accionamiento mecánico. La piquera de colada se encuentra en la parte frontal del horno y la compuerta de carga en la parte superior del recipiente. Los electrodos de carbón o grafito entran por dos agujeros de la tapa del horno, y se ubican muy cerca de la capa de escoria, aproximadamente 20 milímetros. Se produce un arco eléctrico por un electrodo y la corriente fluye por la escoria, luego por el acero fundido, sigue otra vez a la escoria y cierra el circuito; en el electrodo crea el arco, que genera el calor necesario para la combustión. Este calor se regula con la altura de los electrodos respecto de la escoria.

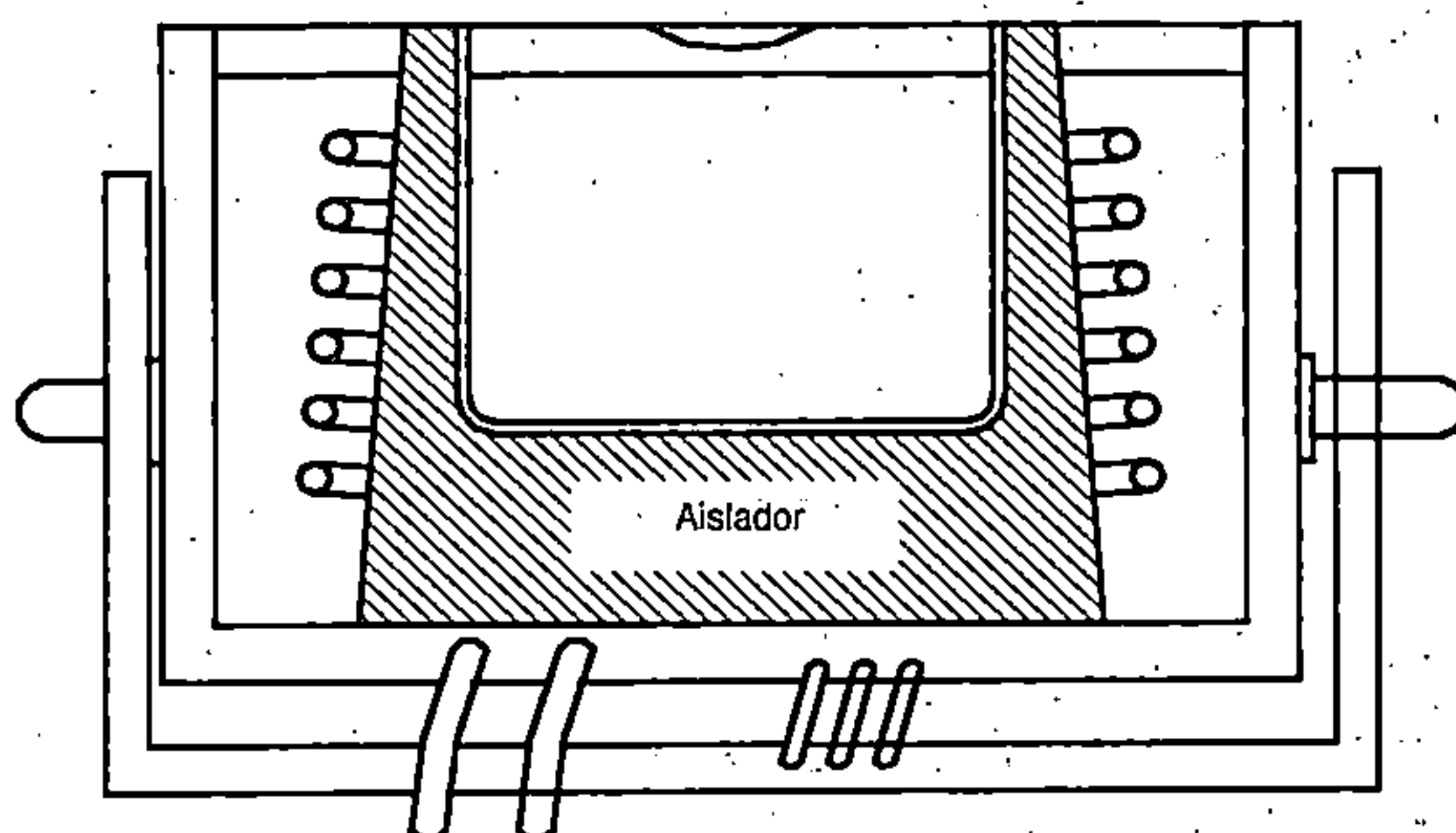


Figura 11. Esquema de sección de un horno eléctrico.

4. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

4.1 Clasificación de los aceros atendiendo a su procedimiento de fabricación

El cuadro siguiente da una referencia de la producción de los aceros con convertidor Bessemer, Siemens-Martin, y hornos eléctricos.

Aceros	Fósforo (P)	Azufre (S)	Oxígeno (O ₂)	Usos
Bessemer	< 0.07%	< 0.06%	0.035 - 0.150	Aceros comunes
Siemens-Martin	< 0.04%	< 0.06%	0.020 - 0.100	Aceros comunes
Hornos eléctricos	<0.035%	<0.035%	0.000 - 0.050	Aceros al carbono y aleados

Tabla 4. Clasificación por procedimiento de fabricación.

4.2 Clasificación de los aceros según su porcentaje de carbono. Clasificación de las fundiciones: blanca, gris

Los aceros se pueden clasificar de acuerdo con su porcentaje de carbono, atendiendo al grado de desoxidación, a su constitución y a su composición, entre otros. En este texto se tratará sobre los aceros según su porcentaje de carbono, así mismo, las fundiciones se clasificarán en blancas y grises.

Según su porcentaje de carbono

Aceros de bajo carbono

Aceros con 0,008 – 0,3% carbono

El hierro negro contiene menos de 0,1% de carbono

El reconocimiento con el esmeril es una chispa azulina

Los usos se dan en perfiles, aceros de construcción, hojalatas, aceros forjados, rieles, entre otros

Aceros de medio carbono

Aceros con 0,3 – 0,7% carbono

El reconocimiento con el esmeril es una chispa amarillenta

Los usos se dan en ejes, resortes, cigüeñales, tecles, ganchos, y en general, partes de máquinas

Aceros de alto carbono

Son aceros con 0,7 – 1,7% carbono

En aleaciones puede llegarse a 2,1% carbono

El punto crítico, punto eutectoide (PCs) se presenta para 0,89% de carbono

El reconocimiento con el esmeril es una chispa blanquecina

Sus usos se dan especialmente en herramientas, útiles de corte, útiles de torno, brocas, fresas, entre otros

Clasificación de las fundiciones

El rango de carbono está entre 2 y 4,5%.

Fundición blanca

Se obtiene por enfriamiento súbito de la aleación hierro-carbono. No escapa el carbono. Su composición corresponde a la perlita más la cementita.

Fundición gris

Se obtiene por enfriamiento lento de la aleación hierro-carbono. Se generan escamas de grafito o carbono puro en la superficie. Su composición contiene fundamentalmente grafito. A 4,3% de carbono se presenta un nuevo punto crítico (PCc) llamado punto eutéctico.

Las fundiciones en la práctica contienen:

- Carbono 2,5 – 4,5%
- Silicio 0,5 – 4,0%
- Manganeso 0,3 – 2,0%
- Azufre 0,0 – 0,2%
- Fósforo 0,0 – 1,5%

La figura 12 muestra la clasificación de los aceros y fundiciones según su porcentaje de carbono y su porcentaje de silicio.

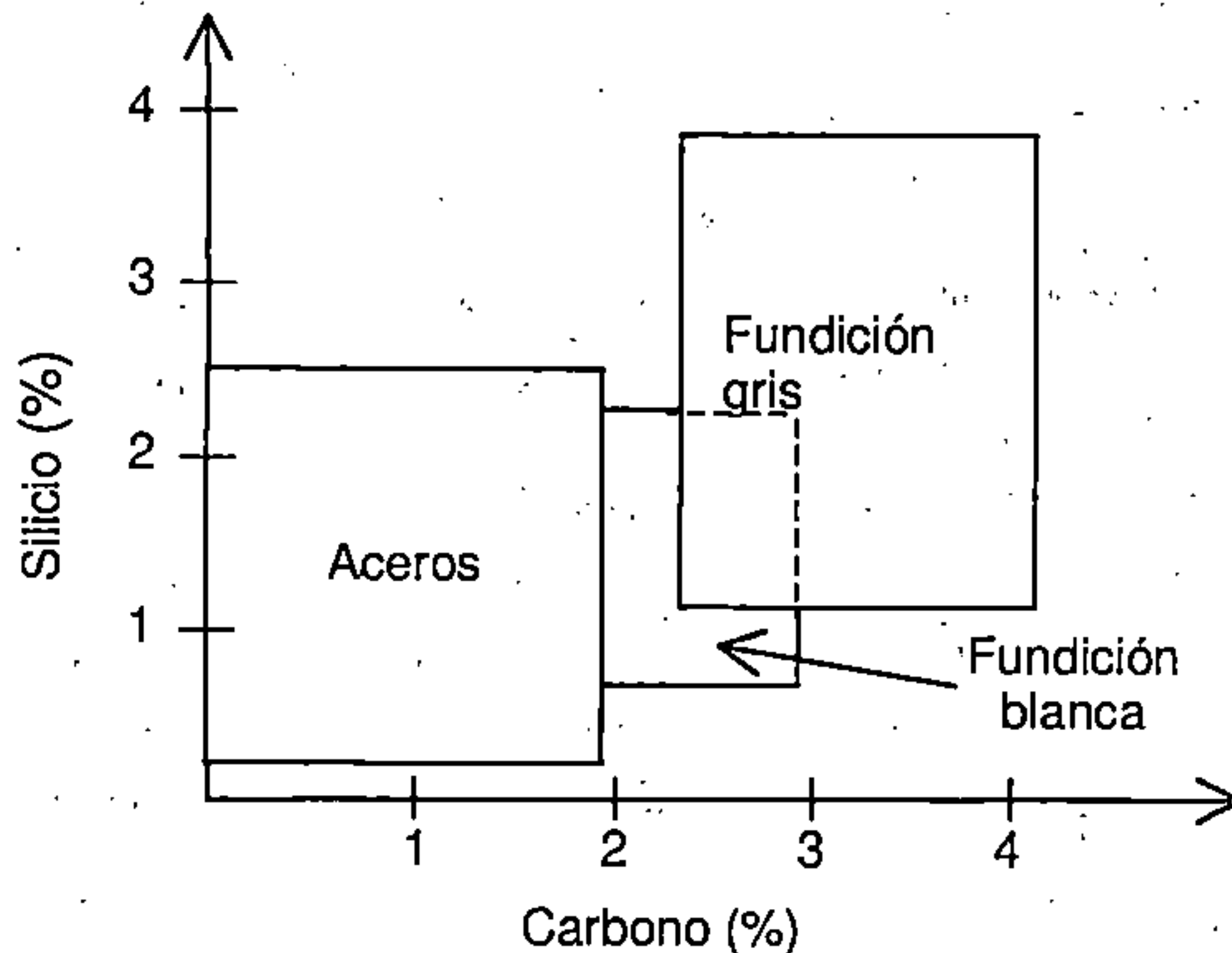


Figura 12. Aceros y fundiciones con respecto a su composición de carbono y silicio.

4.3 Diagrama de las aleaciones hierro-carbono. Temperatura-porcentaje de carbono

Para poder determinar los constituyentes de un acero o una fundición a diferentes temperaturas, se tiene el diagrama hierro-carbono.

La figura 13 muestra las aleaciones hierro-carbono, donde los aceros se ubican de 0,008 hasta aproximadamente 1,76% de carbono. De 1,76 hasta 6,7% de carbono se tienen las fundiciones.

Los puntos críticos importantes son:

- Punto eutectoide (PCs) 0,89%C, 721°C
Hay presencia de ferrita, cementita y austenita
- Punto eutéctico (PCc) 4,3%C, 1145°C
Hay presencia de líquido, cementita, grafito, solución sólida δ

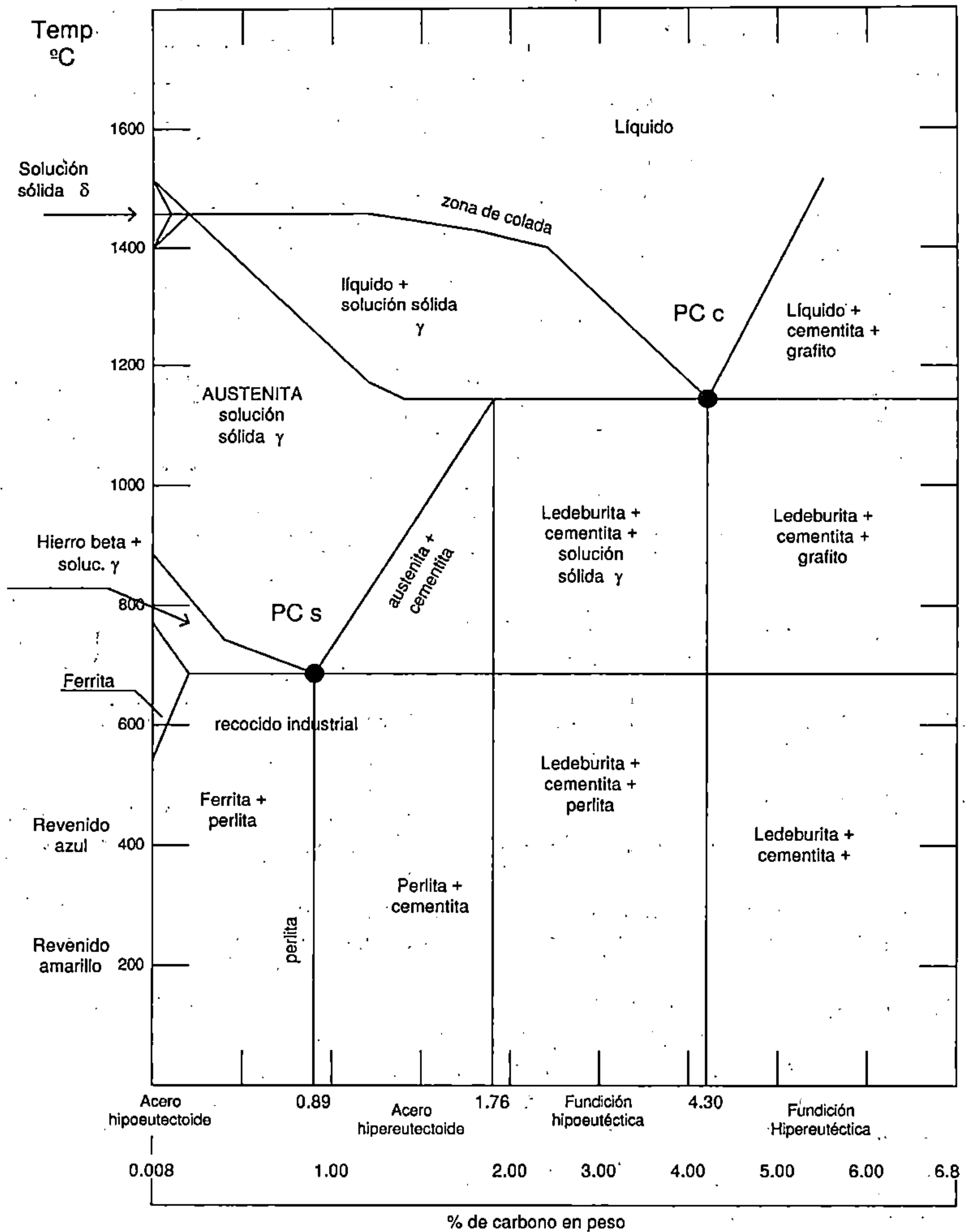


Figura 13. Diagrama de las aleaciones hierro-carbono. La abscisa indica el porcentaje de carbono en el hierro y la ordenada el nivel de temperatura.

4.4 Tratamientos térmicos de las aleaciones hierro-carbono. Recocido, Normalizado. Templado en agua, en aceite, hielo, salmuera. Revenido. Diagrama temperatura-tiempo de los tratamientos térmicos

Tratamientos térmicos de las aleaciones hierro-carbono

Los tratamientos térmicos de las aleaciones hierro-carbono son operaciones de calentamiento y enfriamiento mediante las cuales se modifican la constitución y la estructura de los metales o aleaciones.

Los tratamientos térmicos varían las características y propiedades del material, logrando mejores condiciones de resistencia, desgaste, dureza y otros.

- En todo tratamiento térmico hay tres fases importantes:
 - Calentamiento hasta una temperatura determinada
 - Tiempo de permanencia a la temperatura determinada
 - Enfriamiento hasta la temperatura ambiente
- Los factores que intervienen en este proceso son:
 - Velocidad de calentamiento
 - Temperatura alcanzada y tiempo de permanencia en ella
 - Velocidad de enfriamiento y medio de enfriamiento
 - Efecto de la masa, por espesor y/o diámetro de la pieza
- Los tratamientos térmicos fundamentales
 - Recocido
 - Normalizado
 - Temple
 - Revenido

Recocido

Al realizar trabajos de forja, doblado, o enderezado, en los aceros, se producen tensiones internas que deben eliminarse, pues si no darían origen a la formación de grietas. Para eliminar estas tensiones internas se procede al recocido de las piezas, que consiste en calentarlas y enfriarlas lentamente con ayuda de un horno, hasta su temperatura austenítica (figura 4).

En general, un acero en estado de colada o en bruto, debe pasar por un recocido para garantizar la homogeneidad del material (figura 14).

Normalizado

Es un tratamiento térmico que se da a los aceros de construcción al carbono. Este tratamiento también se utiliza en piezas fundidas, forjadas, laminadas, mecanizadas y, en general, siempre que se trate de eliminar las tensiones producidas por cualquier método de conformación (deformación en frío o en caliente).

El normalizado sirve también para destruir los efectos de un sobrecalentamiento o un tratamiento térmico anterior, pues afina el grano o la estructura interna del material.

El normalizado consiste en calentar el acero a la temperatura de la austenita, y una vez transformado completamente el acero en austenita, se deja enfriar al aire libre lentamente. El buen resultado del tratamiento depende del espesor de la pieza, pues las velocidades de enfriamiento son más rápidas cuanto menores dimensiones tenga la pieza, porque el núcleo del material es el último punto en enfriar.

Templado

El temple consiste en calentar el acero por encima de la temperatura crítica superior, es decir, hasta la zona-austenítica, darle un tiempo de permanencia y luego enfriar súbitamente, de tal manera que se forme internamente una estructura martensítica.

Con este tratamiento térmico se mejoran las características mecánicas del acero, aumentando:

- la resistencia a la tracción
- la dureza

Así mismo, disminuye:

- el alargamiento
- la resiliencia

Por otro lado, también se modifican las propiedades físicas: aumento del magnetismo remanente y la resistencia eléctrica; y las propiedades químicas: aumento de la resistencia a la acción de ciertos ácidos.

Los factores que influyen en el tratamiento térmico de temple del acero son:

- la composición
- el tamaño del grano
- la estructura
- la forma y tamaño de las piezas
- el estado superficial
- el medio de enfriamiento

Debido al aumento de la dureza, y al incremento de la fragilidad del material templado, el acero es muy difícil de trabajar con las máquinas-herramientas, como el torno o la fresadora. Para hacer maquinable la pieza templada que se desea rectificar, debe pasar por un tratamiento de recocido con enfriamiento lento en el horno, luego se maquina y, finalmente, se devuelve a su estado de templado.

Revenido

El revenido consiste en calentar el acero en el horno a una temperatura inferior a la de austenización, para luego someterlo a un enfriamiento, generalmente en aire, aunque puede ser para algunos aceros, en agua o en aceite. El revenido es un tratamiento posterior al temple.

Con este tratamiento, complementario al temple, se desea conseguir algunos de los fines siguientes:

- Mejorar los efectos del temple.
- Disminuir las tensiones internas originadas por el temple.
- Modificar las características mecánicas, disminuyendo la dureza y la resistencia a la rotura, pero por otro lado mejorando la tenacidad y la plasticidad.

„ Cuanto mayor sea la dureza del acero templado, es decir, cuanto mayor sea el contenido de martensita, tanto mejores resultados se obtendrán en el cambio de propiedades con el revenido. Por lo tanto, disminuirá la dureza del acero hasta un valor conveniente, pero en cambio mejorará la tenacidad.



Acero sin ningún
tratamiento térmico



Acero recocido

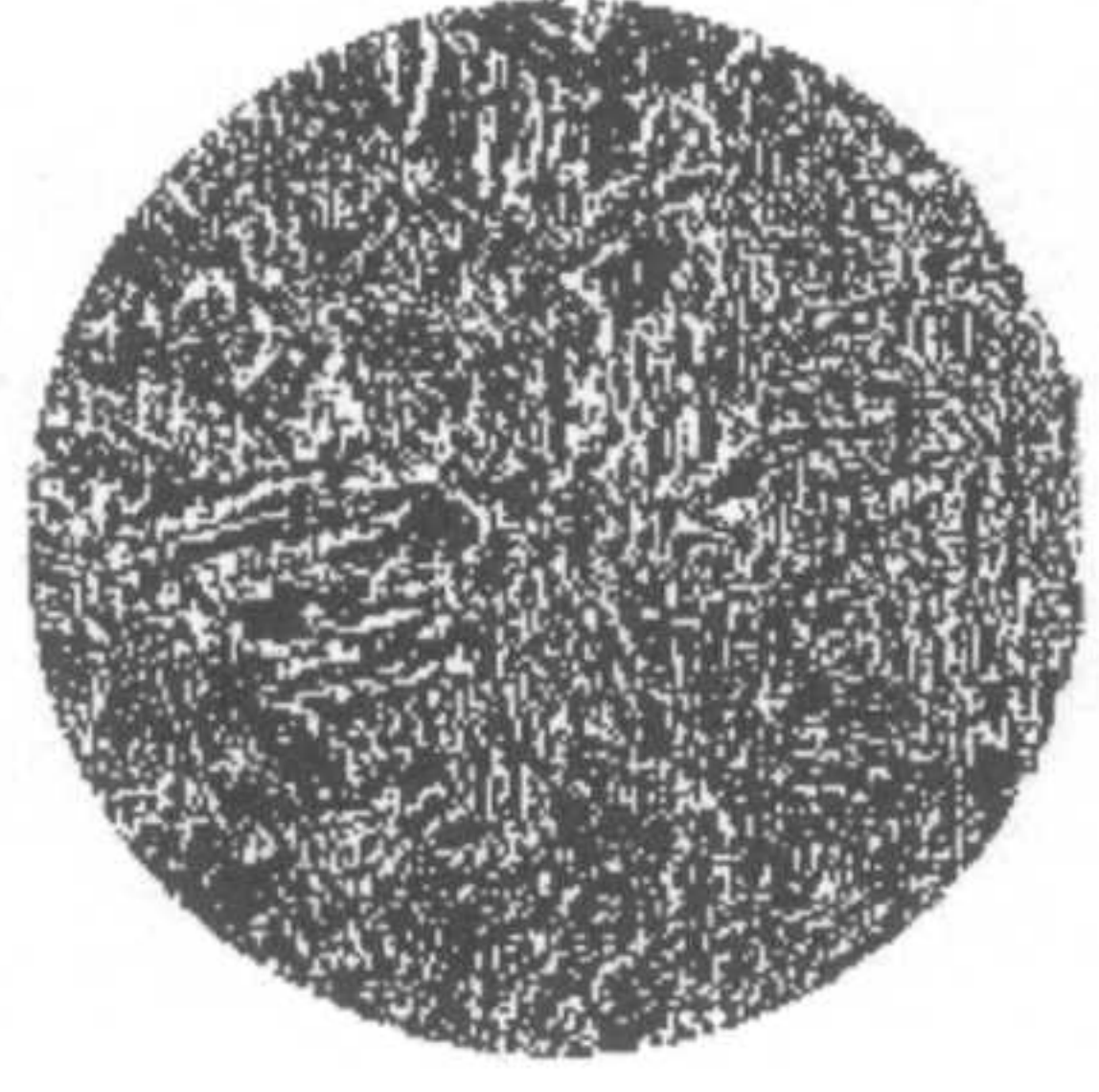
Figura 14. Estructura metalográfica del acero sin tratamiento térmico y en estado de recocido.



Acero normalizado



Acero templado
en aceite



Acero templado
en agua

Figura 15. Estructura metalográfica de los aceros con tratamiento térmico de normalizado, templado en agua y templado en aceite.

Diagrama temperatura-tiempo de los tratamientos térmicos

La figura 16 muestra un caso general de la variación de la temperatura con respecto al tiempo para la operación de los diferentes tratamientos térmicos que se realizan en un acero determinado. Los valores de la temperatura y de los tiempos son de carácter referencial, y se pueden acercar a los datos que se obtienen con un acero no aleado al 0,3% de carbono.

Para el tratamiento térmico de templeado, los medios de enfriamiento pueden ser: agua, aceite, hielo o salmuera, entre otros.

En todos los tratamientos térmicos existen tres etapas:

- Precalentamiento en el horno hasta la temperatura de permanencia en el horno
- Tiempo de permanencia en el horno
- Período de enfriamiento en un determinado medio

Los tratamientos de recocido, normalizado y templeado tienen que llevar el material hasta una temperatura encima de la línea crítica superior, es decir, donde se alcanza la temperatura austenítica. Esto se logra con el precalentamiento en el horno.

El tratamiento de revenido tiene temperaturas distintas que alcanzar, dependiendo si se desea un recocido amarillo o un recocido azul u otro. Las temperaturas son, en cualquiera de los casos, inferiores a la línea crítica superior, que es la que separa la estructura austenítica de los otros constituyentes de las aleaciones hierro carbono.

El tiempo de permanencia en el horno depende fundamentalmente del tamaño de la pieza. Una pieza de 3 pulgadas de largo por $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro necesita menor tiempo de permanencia que una de 3 pulgadas de largo por 1 pulgada de diámetro. Asimismo, dos piezas a la vez necesitan mayor tiempo de permanencia en el horno que una individualmente.

El tiempo de enfriamiento es bastante lento para el caso del recocido, pues se desea restablecer la estructura original de un acero tratado. En cambio, un temple se da con enfriamiento súbito, para mejorar sobre todo la dureza del material. El temple deja una pieza inestable y con tensiones internas, por lo tanto es recomendable el revenido, para estabilizar la pieza y eliminar al máximo las tensiones residuales. El revenido puede ser con enfriamiento en aire, o en algunos casos, agua o aceite. Finalmente, el normalizado se da con enfriamiento en el aire y mejora ligeramente algunas propiedades del material, como son homogeneidad del material y dureza.

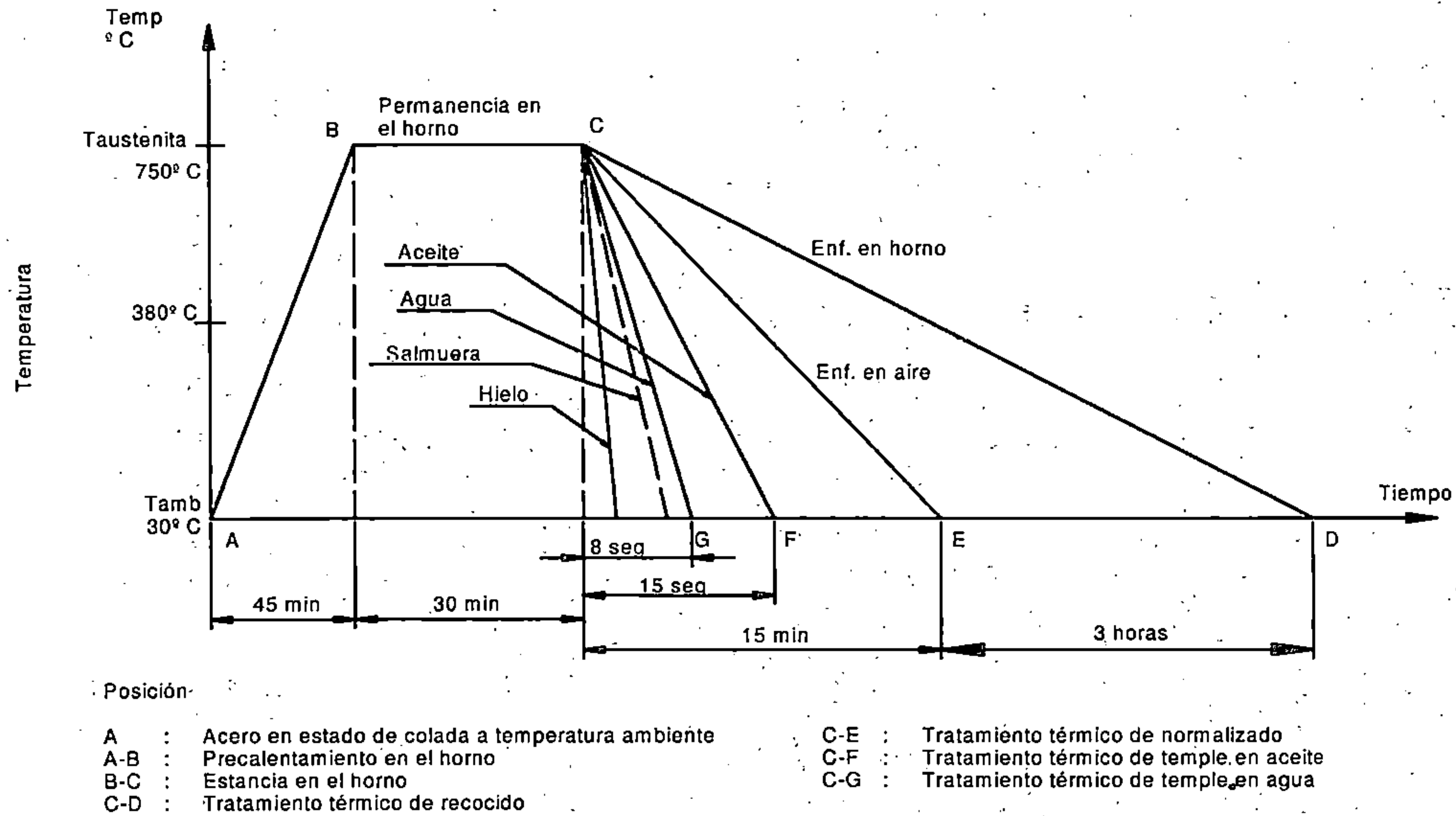


Figura 16. Diagrama temperatura-tiempo de los tratamientos térmicos.

4.5 Corrosión y oxidación. Propiedades tecnológicas. Propiedades mecánicas

La corrosión

Es la destrucción lenta y progresiva de los metales por efecto de agentes exteriores. La corrosión atmosférica es la producida por el efecto combinado entre el aire y la humedad. Mientras que el proceso para la destrucción de un metal es provocado y rápido, el de la corrosión es un efecto natural y lento.

Cuando un metal se halla en un ambiente corrosivo, las partículas que reaccionan se encuentran en cantidades limitadas, pues su contacto es superficial; por lo tanto, la reacción será lenta, y si se obstaculiza la superficie recubriéndola, la reacción se puede hacer aún más lenta.

Como la atmósfera es siempre húmeda, a la temperatura ambiente los metales se destruyen más por corrosión que por oxidación.

La oxidación

Es la reacción fundamental derivada de la corrosión de los metales y se define como el efecto producido por el oxígeno en la superficie de un metal como consecuencia de factores externos que facilitan su desarrollo (aumento de temperatura).

La oxidación directa por el oxígeno es muy débil, pues la finísima película de óxido que se forma en la superficie del metal impide el contacto del resto de la pieza con el oxígeno de la atmósfera, por lo cual no progresa la oxidación. Pero al variar algún factor exterior (elevada temperatura, vapores acuosos, presencia de ácidos o alcalis, etc.) la oxidación puede progresar a través de la capa de óxido. La oxidación debería detenerse hasta alcanzar la capa de óxido un determinado espesor, pero no sucede así, ya que la capa acaba por agrietarse y se desprende en forma de cascarilla quedando así el metal nuevamente expuesto a la oxidación.

Propiedades tecnológicas

Son las relativas al grado de adaptación del material frente a distintos procesos de trabajo a los que puede estar sometido. Las más importantes son:

- *Maquinabilidad.*- Mayor o menor facilidad de ser labrado por herramientas o cuchillas de corte.
- *Colabilidad.*- Mayor o menor facilidad de llenar bien un molde cuando está en estado líquido.
- *Soldabilidad.*- Posibilidad de ser soldado por soldadura autógena o de baja temperatura.
- *Ductibilidad.*- Aptitud para la deformación de un metal dúctil en forma de hilo.
- *Maleabilidad.*- Capacidad de un metal maleable para ser deformado en láminas. El oro es el más maleable de los metales.
- *Templabilidad.*- Aptitud que tienen los cuerpos (los aceros) para dejarse penetrar por el temple.
- *Fusibilidad.*- Propiedad de fundirse bajo la acción del calor. Esa temperatura precisa se llama temperatura de fusión, y es una constante bien definida para los metales puros.

Propiedades mecánicas

Son aquéllas que expresan el comportamiento de los metales frente a esfuerzos o cargas tendientes a alterar su forma.

- **Resistencia.**- Es la capacidad de soportar una carga externa. Si el metal debe soportarla sin romperse, se denomina carga de rotura. Como la rotura de un metal puede producirse por tracción, compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura para cada uno de estos esfuerzos. La resistencia a la rotura se valora en kg/mm^2 .
- **Dureza.**- Es la propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada.

Hay dos clases de dureza:

- La física que es la resistencia que opone un cuerpo a ser rayado por otro más duro.
- La técnica que es la resistencia que se opone a ser penetrado por otro más duro.

La dureza se valora por varios métodos: Brinell, Rockwell, Vickers.

- **Elasticidad.**- Es la capacidad de un cuerpo elástico para recobrar su forma al cesar la causa que lo ha deformado. Se le llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un metal sin sufrir una deformación permanente. Se expresa en kg/mm^2 .
- **Plasticidad.**- Es la capacidad de deformación de un metal sin que llegue a romperse. Si la deformación se produce por alargamiento mediante un esfuerzo de tracción, esta propiedad se llama ductilidad; cuando lo es por aplastamiento, mediante un esfuerzo de compresión, se llama maleabilidad.
- **Tenacidad.**- Se define como la resistencia a la rotura por esfuerzos que deforman el metal. La tenacidad requiere de la existencia de resistencia y plasticidad. Así pues, son materiales tenaces los que son elásticos y plásticos.
- **Fragilidad.**- Es la propiedad que expresa falta de plasticidad y, por lo tanto, de tenacidad. Los materiales frágiles se rompen en el límite elástico, es decir, su rotura se produce bruscamente al rebasar la carga el límite elástico.
- **Resiliencia.**- Expresa la resistencia de un metal a su rotura por choque. Los valores de la resiliencia son mayores en la medida en que aumenta la tenacidad de un material.
- **Fluencia.**- Es la propiedad que tienen algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. Esta deformación lenta se denomina también *creep* o *creeping*. Se presenta con más intensidad en los metales con temperatura de fusión baja, como el plomo.
- **Fatiga.**- Si se somete a una pieza a la acción de cargas periódicas (alternativas o intermitentes), se puede llegar a producir su rotura incluso con cargas que, si actuasen de manera continua, no producirían deformaciones. Este efecto de desfallecimiento del metal por cargas periódicas se llama fatiga.

4.6 Durómetros: Rockwell, Brinell, Shore, Vickers. Tabla de escalas de dureza

Durómetros

Los durómetros son aparatos que permiten medir la dureza superficial de los materiales ferrosos y no ferrosos.

La dureza, como definición común, es la resistencia de un cuerpo a dejarse rayar por otro. Se usan las escalas de Mohs.

La escala de dureza de Mohs está compuesta por 10 minerales diversos que rayan el material; éstos son:

- Talco
- Yeso
- Espato calcáreo
- Fluorita
- Apatita
- Fildespato
- Cuarzo
- Topacio
- Zafiro
- Diamante

La dureza como definición industrial es la resistencia que un cuerpo opone a ser penetrado por otro de forma y dimensiones normalizadas. Este otro cuerpo será el indentador o penetrador que tienen los durómetros. El penetrador puede ser una esfera, un cono o una pirámide, entre otros.

Los métodos más comunes para medir la dureza de los materiales se dan en la escala Rockwell, Brinell, Shore y Vickers.

ESCALA	SÍMBOLO	ESCALA	SÍMBOLO
ROCKWELL	HR	BRINELL	HB

ESCALA	SÍMBOLO	ESCALA	SÍMBOLO
SHORE	HS	VICKERS	HV

Rockwell

En el durómetro Rockwell se deforma la superficie a medir por medio de un penetrador compuesto de una bola de acero de 1/16" de diámetro, o un cono de diamante sometido a la acción de una carga preestablecida, midiendo la profundidad alcanzada por el propio penetrador. Su valor se expresa en unidades convencionales referidas a la profundidad de la penetración. Se aplica para medir la dureza del acero y materiales blandos.

La designación Rockwell puede estar en escala A, B, C, E o M, indicándose como HRA, HRB, HRC, HRE o HRM, de acuerdo con la dureza del material.

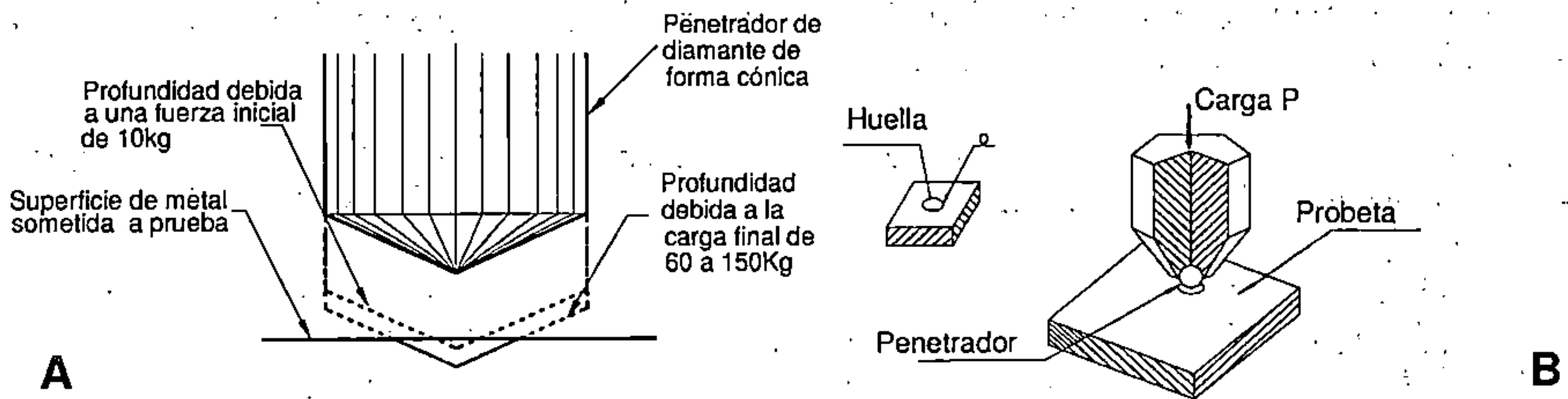


Figura 17. Penetrador cónico y penetrador esférico del durómetro Rockwell.
 Se observa las profundidades de las huellas en las diferentes cargas de penetración:
 A) Diamante cónico llamado Brale, 120° y punta de 0,2mm de radio (escala C) 150kg.
 B) Esfera de acero extraduro de diámetro 1/16" (escala B) 100kg.

La figura 17 muestra la forma de medición de la escala C. La escala "C" usa como penetrador el cono de diamante. Se procede así:

- Fase 1: Se aplica una carga previa de 10kg y se pone a cero la escala del aparato
- Fase 2: Se aplica una carga adicional de 140kg durante 3 a 6 seg
- Fase 3: se retira la carga adicional y se lee la dureza en la escala del aparato para medir la profundidad.

Brinell

En el durómetro Brinell se indenta el material con un penetrador compuesto de una bola de acero que puede variar desde 2,5 a 10mm de diámetro.

Se comprueba la profundidad de la huella o se comprueba el diámetro de la huella.

La medida obtenida se convierte, por medio de una tabla, en el número de dureza Brinell.

Se aplica para medir la dureza de materiales semiduros y blandos. En aceros de gran dureza, la impresión es tan pequeña que resulta difícil la lectura, por lo que se emplea con mayor frecuencia la prueba Rockwell para tales materiales.

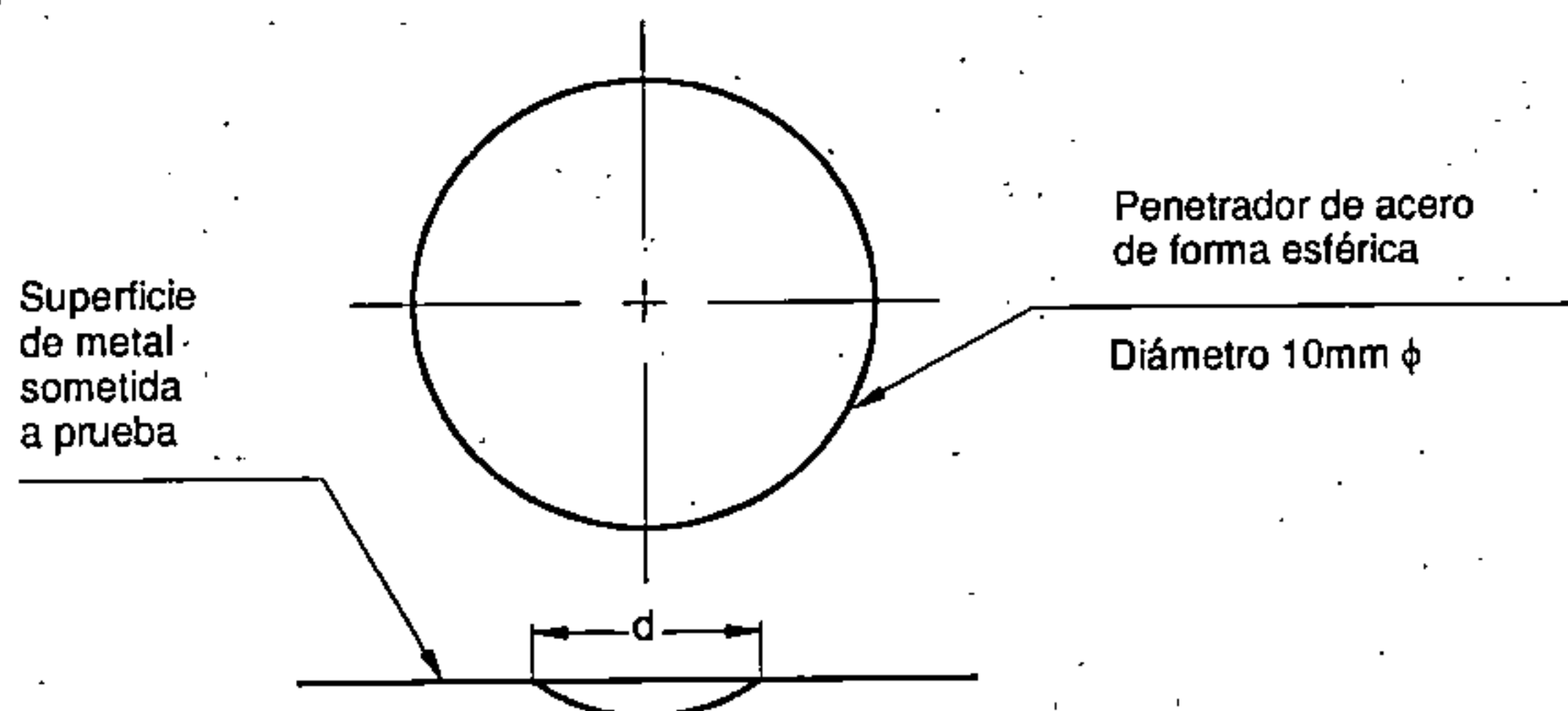


Figura 18. Penetrador esférico de la escala Brinell. La huella deja una abertura de diámetro "d" y un casquillo esférico.

La dureza Brinell se mide produciendo una huella con un penetrador normalizado (bola de acero extraduro), como se observa en la figura 18.

La carga de penetración será: $P=kD^2$, donde k es una constante, y "D" es el diámetro de la bola. k es una constante que depende del material a indentar.

Así se tiene:

Dureza Brinell $HB = \frac{P}{S}$,

Donde S: es el área del casquete esférico de la huella (figura 12).

$S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$,

- D : diámetro de la esfera (D = 10mm)
- d : diámetro de la huella
- P : carga de penetración

- Para aceros: $P = 30 D^2$, P = 3000kg
- Para latón, bronce y metales blandos: $P = 5D^2$, P = 500kg
- Para metales muy blandos: $P = D^2$, P = 100kg
- El tiempo de indentación es: 10seg., materiales ferrosos
30seg., materiales no ferrosos

Algunos valores de referencia de la escala Brinell con Rockwell son:

Escala Brinell HB		Escala Rockwell HR		
5 D ²	30D ²	A	B	C
	487	76,0		50
	299	65,0		30
201	240	61,5	100	21
130	150	49,5	80	
89	100	37,5	55	
79		33,0	45	

Algunos valores de referencia para aceros pueden ser:

- Acero muy duro : 500 HB
- Acero poco duro : 110 HB
- Bronce : 100 HB
- Aluminio : 25 HB

Shore

El durómetro Shore consiste en dejar caer un "martillo" o bola desde una altura determinada sobre la superficie de una probeta y medir la altura alcanzada al rebotar. Ejemplo: si la bola rebota 70 unidades, la dureza será 70Hs. La medida final se obtiene después de por lo menos seis ensayos realizados.

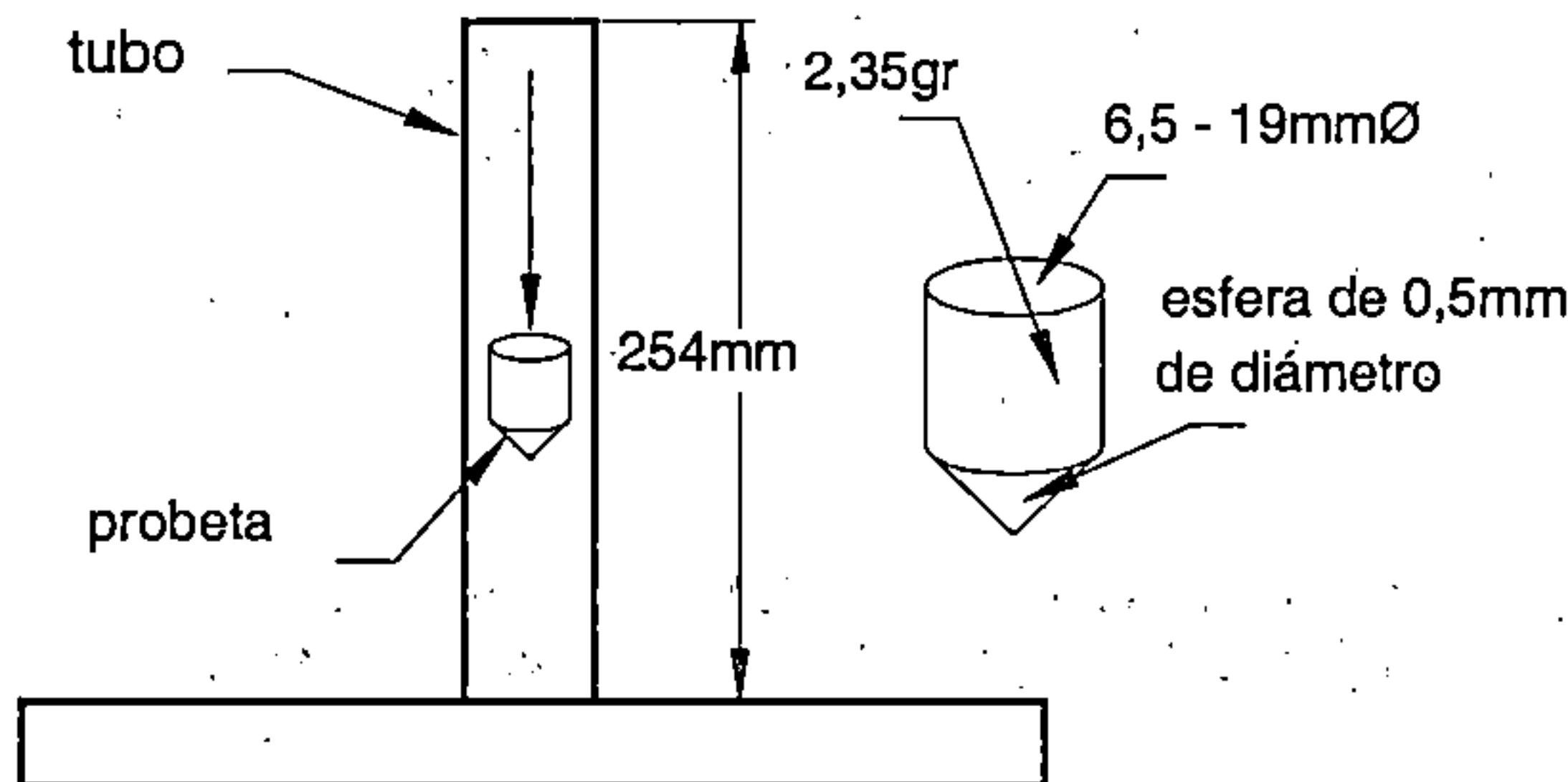


Figura 19. Durómetro y escala Shore.

Vickers

El durómetro Vickers es aplicable para medir la dureza de piezas nitruradas o piezas ligeras.

Se comprime la superficie del material a ensayar por medio de un penetrador con punta de diamante en forma de pirámide recta y base cuadrada y se mide la longitud media de las dos diagonales de la huella dejada por el penetrador después de tres ensayos.

$$HV = \frac{P}{0,5393 d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

P = carga aplicada sobre el penetrador
d = diámetro de las diagonales de la huella en mm

Algunos ejemplos de especificación Vickers son:

- HV₃₀ 620 : dureza Vickers de 620kg/mm² con carga aplicada de 30kg durante 15 segundos (duración normal).
- HV_{30/20} 620 : dureza Vickers de 620kg/mm² con carga aplicada de 30kg durante 20 segundos.

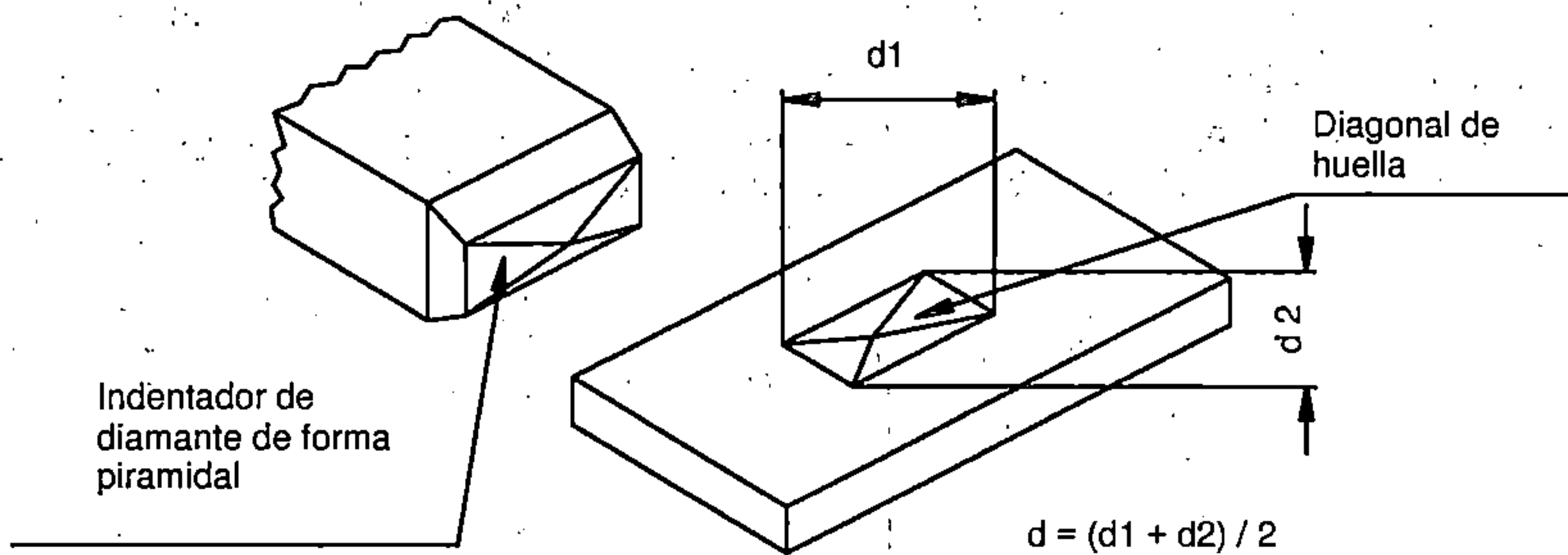


Figura 20. Penetrador de la Escala Vickers. Escala Vickers. Se observa la huella piramidal sobre la probeta. Indentador de diamante, en forma de pirámide de base cuadrada.

Tabla de escalas de dureza

La presente tabla compara las escalas Rockwell A, B y C (HRA, HRB, HRC) con las escalas Vickers, Shore y Brinell respectivamente (HV, HS, HB). Asimismo, se muestra en la figura 21, las curvas de comparación entre las diferentes escalas de dureza.

Rockwell		Vickers HV	Brinell HB	Shore HS
HRC 150 KG	HRA 60 kg			
67		900	775	106
66	83.9	870	752	101
65	83.4	840	735	99
64	82.8	815	710	96
63	82.3	790	690	93
62	81.8	760	670	91
61	81.2	730	652	88
60	80.7	700	635	85
59	80.2	690	620	83
58	79.6	670	600	80
57	79.1	650	580	78
56	78.6	630	571	75
55	78.1	610	555	73
54	77.5	590	540	72
53	77.0	575	530	71

Rockwell		Vickers HV	Brinell HB	Shore HS
HRC 150KG	HRA 60kg			
52	76.5	560	515	69
51	76.0	540	500	68
50	75.4	525	487	67
49	74.9	510	475	66
48	74.4	490	462	65
47	73.8	480	447	64
46	73.3	465	436	62
45	72.8	450	424	60
44	72.3	440	413	59
43	71.7	425	406	57
42	71.2	415	398	55
41	70.7	400	382	54
40	70.2	390	377	53
39	69.7	380	369	52
38	69.1	370	353	51

Rockwell		Vickers HV	Brinell HB	Shore HS
HRC 150KG	HRA 60kg			
37	68.6	360	345	50
36	68.1	350	339	49
35	67.6	345	331	48.5
34	67.0	330	323	48
33	66.5	320	316	47
32	66.0	315	310	46
31	65.6	310	305	45.5
30	65.0	305	299	44
29		295	290	43
28		285	282	42
27		280	276	41
26		270	268	40
25	HR B 100 kg	265	262	39
24		260	257	38
23		255	252	37
22		245	245	36
21	100.0	240	240	35.5
20	99.0	235	234	35

Rockwell		Vickers HV	Brinell HB	Shore HS
HRC 150KG	HRB 100kg			
19	98.0	230	229	34.5
18	97.0	225	223	34
17	96.0	220	218	33.5
16	95.0	215	213	33
15	94.0	210	209	32
14	93.5	205	204	31
13	93.0	200	199	30.5
12	92.0	195	195	30
11	91.0	190	190	29.5
10	90.0	185	186	29
9	89.5	182,5	182,5	28.5
8	89.0	180	180	28
7	88.0	176	176	27
	87		172	
	86		169	
	85		165	

Rockwell		Vickers HV	Brinell HB	Shore HS
HRC 150KG	HR B 100kg			
	84		162	
	83		159	
	82		156	
	81		153	
	80		150	
	79		147	
	78		144	
	77		141	
	76		139	
	75		137	
	74		135	
	73		132	
	72		130	
	71		127	

Rockwell		Vickers HV	Brinell HB	Shore HS
HRC 150KG	HR B 100KG			
	70		125	
	69		123	
	68		121	
	67		119	
	66		117	
	65		116	
	64		114	
	63		112	
	62		110	
	61		109	
	60		107	
	59		106	
	58		104	
	57		103	
	56		101	
	55		100	

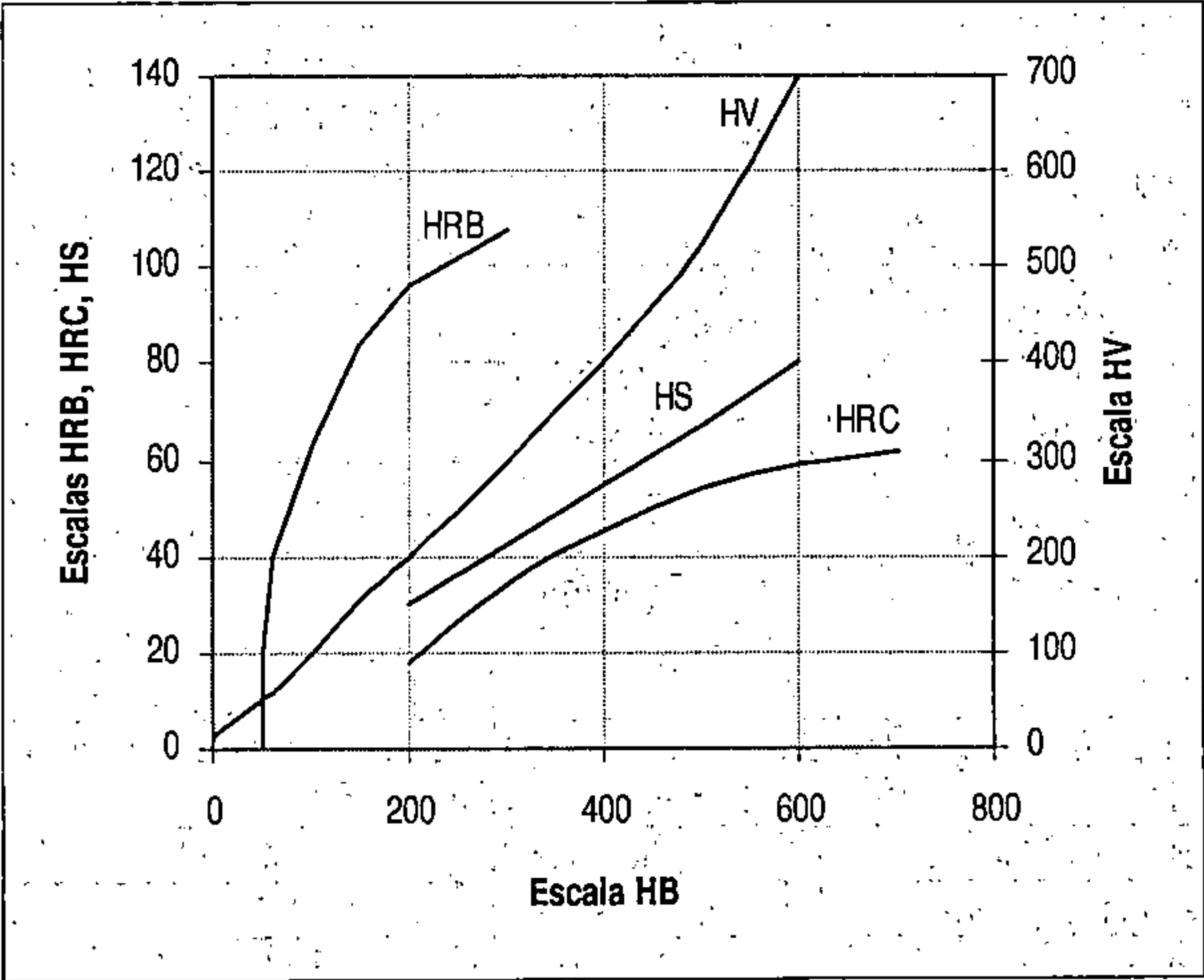


Figura 21. Ábaco de comparación de las escalas de dureza Rockwell (HRB, HRC), Shore (HS) y Vickers (HV) con la escala Brinell (HB).

5. DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS ACEROS COMERCIALES

5.1 Acero de transmisión. Características. Aplicaciones

Designación	:	SAE 1020; DIN CK 15
Tipo de aleación	:	0,17%C 0,25%Si 0,40%Mn
Longitud estándar	:	6 metros.

Características

Aceros de cementación no aleados para piezas pequeñas, exigidas principalmente al desgaste y donde la dureza del núcleo no sea importante. Buena soldabilidad.

Aplicaciones

Levas, uniones, bujes, pines, pivotes, partes prensadas o troqueladas, pernos grado 3, ejes de transmisión con baja exigencia al torque.

Datos para el tratamiento térmico o superficial

Forjado	:	1150-850°C
Normalizado	:	890-920°C
Recocido	:	650-700°C
Cementado	:	880-950°C
Templado después de cementado en agua	:	770-800°C
Dureza obtenible en la capa	:	
Cementado	:	58-60HRC
Revenido	:	150-200°C
Soldadura	:	Acero fácilmente soldable

Propiedades mecánicas en estado recocido:

— Dureza en escala Brinell	143HB
— Límite de fluencia	$\sigma_y = 235\text{N/mm}^2$
— Resistencia a la tracción	$\sigma_R = 470\text{N/mm}^2$
— Elongación	$\Delta L = 25\%$
— Resistencia a la tracción en estado de templado	$\sigma = 560\text{N/mm}^2$

Velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada en el torneado			
Con pastilla carburada			
Velocidad de corte (m/min)	60 - 70	45 - 55	35 - 40
Profundidad de pasada (mm)	0,5 - 1,0	1,0 - 4,0	4,0 - 8,0
Avance (mm/rev)	0,1 - 0,3	0,2 - 0,4	0,3 - 0,6

5.2 Acero aleado al cromo-níquel-molibdeno. Características. Aplicaciones. Profundidad de pasada, avance y velocidad de corte en el torneado con pastillas carburadas

Designación : SAE 4340; din 34 Cr Ni Mo 6
 Tipo de aleación : 0,34%C 0,30%Si 0,50%Mn 1,5%Ni 0,2%Mo
 Longitud estándar : 3,5 a 5 metros

Características

Acero especial de bonificación al cromo-níquel-molibdeno altamente resistente a la tracción, a la torsión, y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a fragilidad de revenido. Por su estado de suministro permite, en la mayoría de los casos, su aplicación sin necesidad de tratamiento térmico adicional.

Aplicaciones

Partes de maquinaria y repuestos de mayores dimensiones sometidas a muy altos esfuerzos dinámicos y otras exigencias mecánicas. Cigüeñales, ejes de leva, árboles de transmisión, barras de torsión, ejes cardán, ejes de bombas, ejes para hélice de aviones, pernos y tuercas de alta tensión, rodillos de transportadora, vástagos y pines, muñones; brazos de dirección, ciertos engranajes, discos de embrague, etc.

Datos para el tratamiento térmico o superficial

Forjado : 850 - 1050°C
 Recocido : 650 - 700°C
 Templado en aceite : 830 - 860°C
 Revenido : 540 - 680°C
 Normalizado : 850 - 880°C
 Nitrurado : 580°C

Propiedades mecánicas

Resistencia en estado recocido $\sigma = 800 \text{ N/mm}^2$

Dureza en escala Brinell 248 HB

Propiedades mecánicas en estado bonificado					
Diámetro		Límite de fluencia N/mm ² σ_y	Resistencia a la tracción N/mm ² σ_R	Elongación $\Delta L\%$	Estricción $\Delta e\%$
Desde	Hasta				
	16	980	1180-1380	9	40
16	40	885	1080-1280	10	45
40	100	785	980-1180	11	50
100	160	685	880-1080	12	55
160	250	590	780-930	13	55

Profundidad de pasada, avance y velocidad de corte en el torneado con pastillas carburadas

Estado	Prof. de pasada (mm)	Avance (mm/rev)	Velocidad de corte (m/min)
Bonificado	1 a 4	0,2 a 0,4	210 - 100
	4 a 8	0,3 a 0,6	130 - 85
Templado	1 a 4	0,2 a 0,4	100 - 60
	4 a 8	0,3 a 0,6	70 - 40

5.3 Acero aleado para cementación. Características. Aplicaciones

Designación : SAE 8620; DIN 21 Ni Cr Mo 2
 Tipo de aleación : 0,2% C; 0,6% Cr; 0,6% Ni
 0,2% Mo; 0,8% Mn; 0,2% Si

Características

Acero de grano fino para cementación. Alta resistencia al desgaste de la capa cementada y buena tenacidad en su núcleo.

Aplicaciones

Para piezas altamente exigidas en la industria metalmecánica y automotriz. Para engranajes de caja de cambios, o sistema planetario, corona diferencial, sistema de engranaje piñón, terminales de dirección, crucetas, pines, bulones, ejes de transmisión de potencia.

Datos para tratamiento térmico o superficial

Forjado	850 – 1150°C
Recocido	650 – 700°C
Cementado	900 – 950°C
Templado profundo	840 – 870°C
Templado superficial	800 – 830°C
Enfriamiento	Agua o salmuera
Revenido	170 – 210°C

Dureza en la superficie cementada

Soldadura difícil : 60HRC

Propiedades mecánicas en el núcleo: (referencial)

Límite de elasticidad	$\sigma_y = 540 \text{ N/mm}^2$
Resistencia a la tracción	$\sigma_R = 800 \text{ N/mm}^2$
Elongación	$\Delta L = 10\%$
Estricción	$\Delta e = 38\%$

6. PREGUNTAS SOBRE ACEROS Y MATERIALES*Pregunta 1*

El constituyente básico que se obtiene al final del templado en agua es _____ y luego la propiedad que se recupera al realizar el tratamiento de recocido en esta pieza es _____.

- a. Austenita / la mecanizabilidad
- b. Austenita / la fragilidad
- c. Martensita / la fragilidad
- d. Martensita / la maquinabilidad
- e. Cementita / la dureza

Respuesta:

- Al final del templado en agua o aceite se obtiene una estructura martensística.
- El recorrido de una pieza de acero, permite que esta sea maquinable fácilmente en el torno, o fresadora u otro.

Alternativa (d)

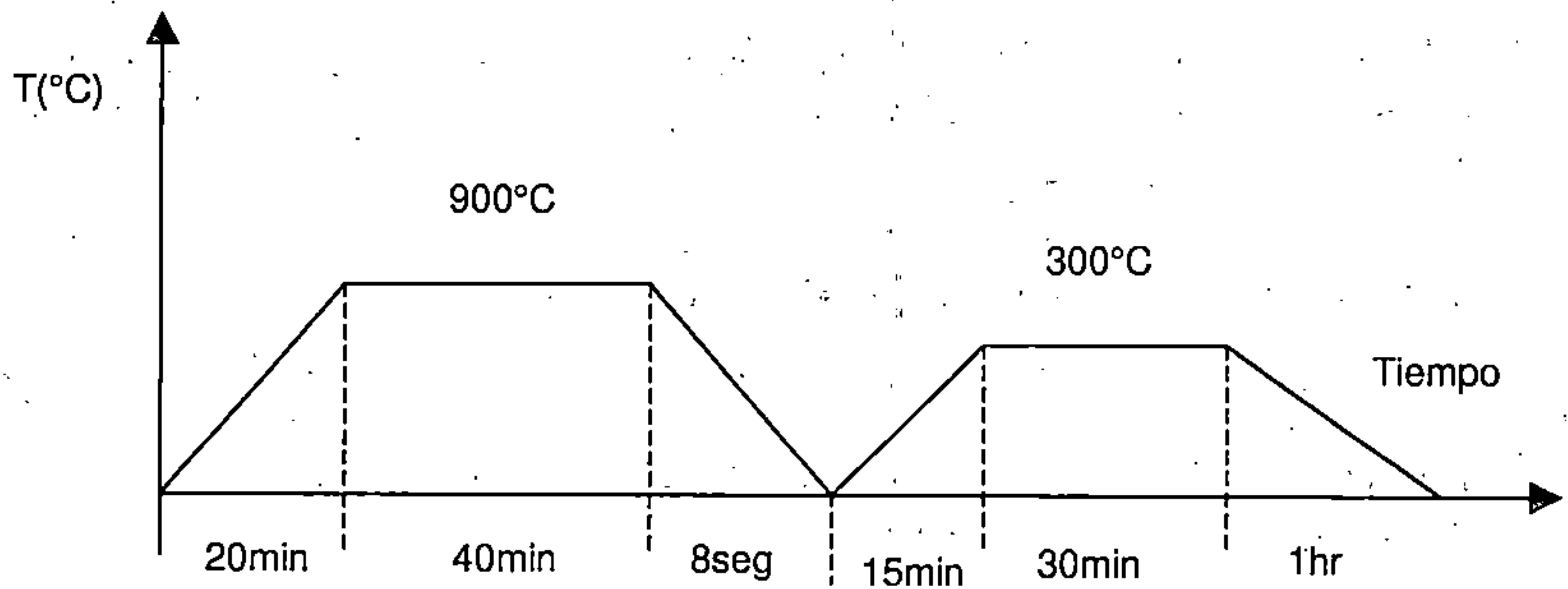
Pregunta 2

Se tiene un acero 4119 al cromo níquel, y se desea realizar un tratamiento térmico de temple en aceite, y luego un revenido.

- a. ¿Qué estructura metalográfica podría haber en el acero antes de realizar el tratamiento de temple?
- b. En un diagrama temperatura-tiempo, mostrar el proceso de temple y revenido, indicando temperatura y tiempo estimados.

Respuesta:

- a. De acuerdo con el diagrama de las aleaciones hierro-carbono (ítem 4.3), para un acero al 0,19% de carbono, se encuentran los constituyentes ferrita y perlita.
- b. Con ayuda del diagrama anterior, la temperatura de la austenita a la que se debe calentar la pieza en el horno es de aproximadamente 900°C, y posteriormente, para el revenido se puede considerar 300°C, para eliminar las tensiones residuales.



Pregunta 3

¿Qué estructura metalográfica se encuentra presente en una pieza SAE 1030 cuando está en pleno proceso de templado en aceite a 910°C ? (antes de ser enfriado). Además, ¿Qué tratamiento térmico recomienda para maquinar dicha pieza en la limadora o cepillo de codo?

Respuesta:

De acuerdo con las condiciones de templabilidad, sin observar el diagrama de aleaciones hierro-carbono, tiene que ser la estructura de la austenita.

Para poder maquinar la pieza se debe realizar un recocido.

Pregunta 4

De los siguientes medios de temple ¿Cuál de ellos produce la máxima velocidad de enfriamiento?

- a. Aire b. Salmuera c. Aceite d. Agua pura e. Grasa

Respuesta:

El orden de velocidad de enfriamiento del más lento al más rápido puede ser:

- a. Aire b. Grasa c. Aceite d. Agua pura e. Salmuera

Alternativa (b)

Pregunta 5

Para fundir una brida de 1,2% de carbono, que fue previamente templada en agua, se debe calentar la pieza aproximadamente a:

- a. 220°C b. 505°C c. 4522°C d. 1620°C e. 3890°C

Respuesta:

Del diagrama de las aleaciones hierro carbono (ítem 4.3) para aceros al 1,2% de carbono, se observa que la temperatura de fusión puede ser 1620°C

Alternativa (d)

Pregunta 6

La microestructura básica que se obtiene al final del templado en agua de una probeta de acero es:

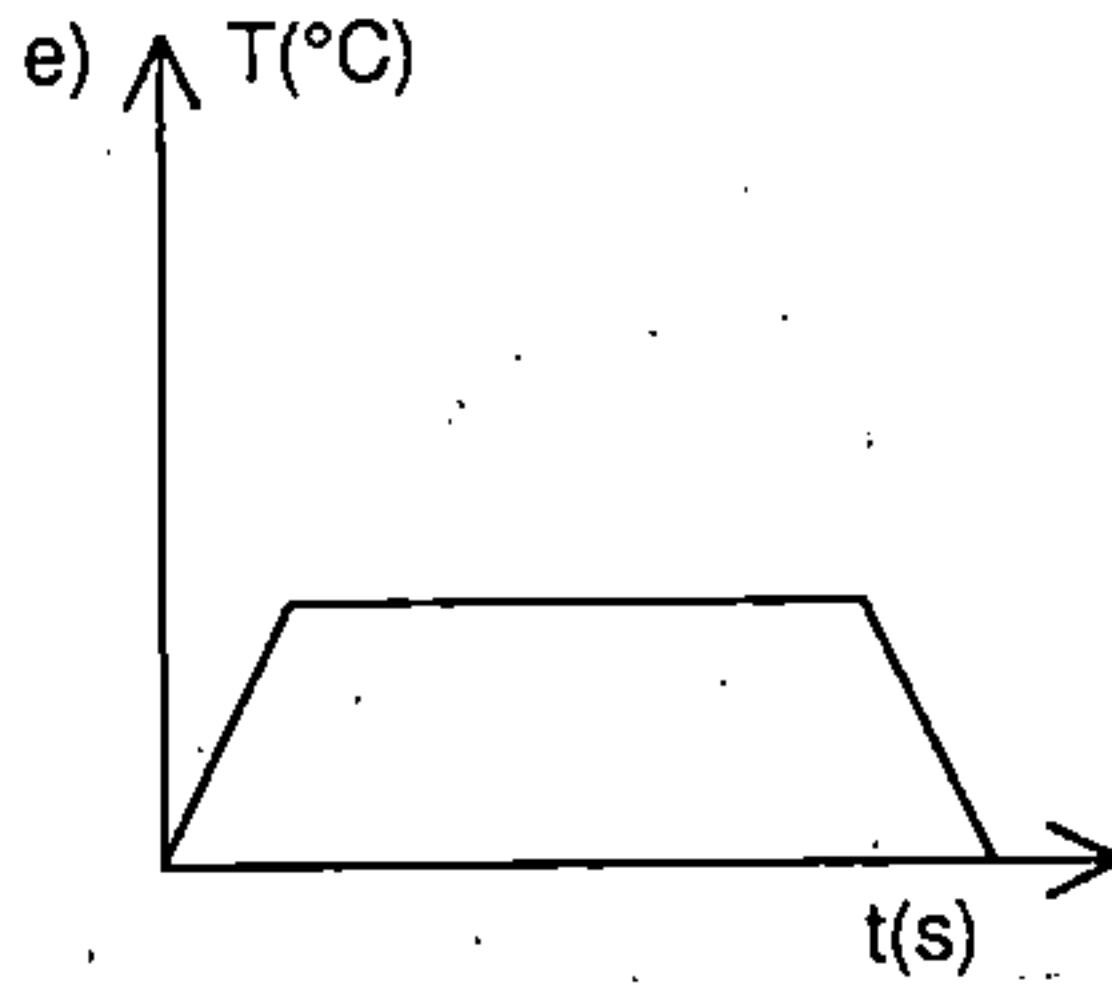
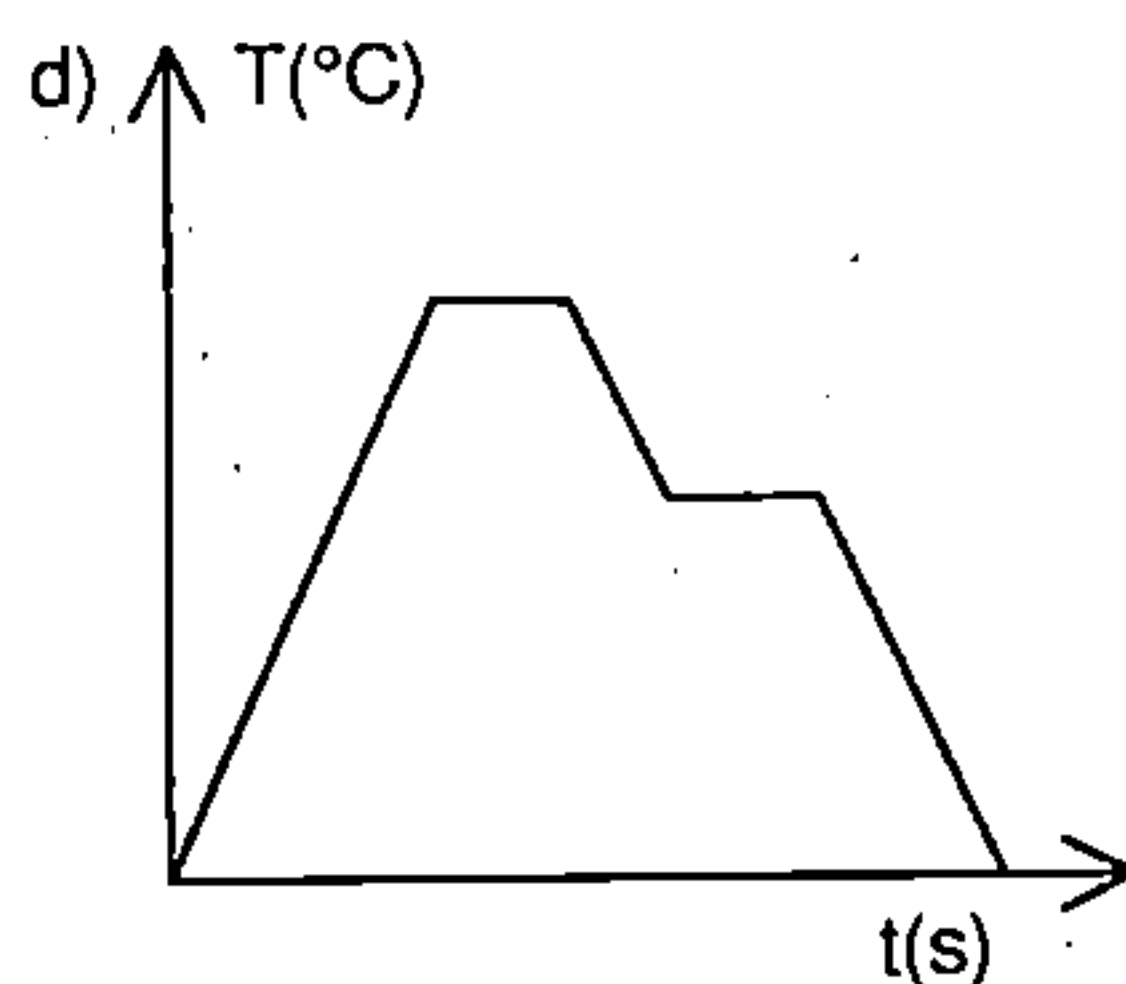
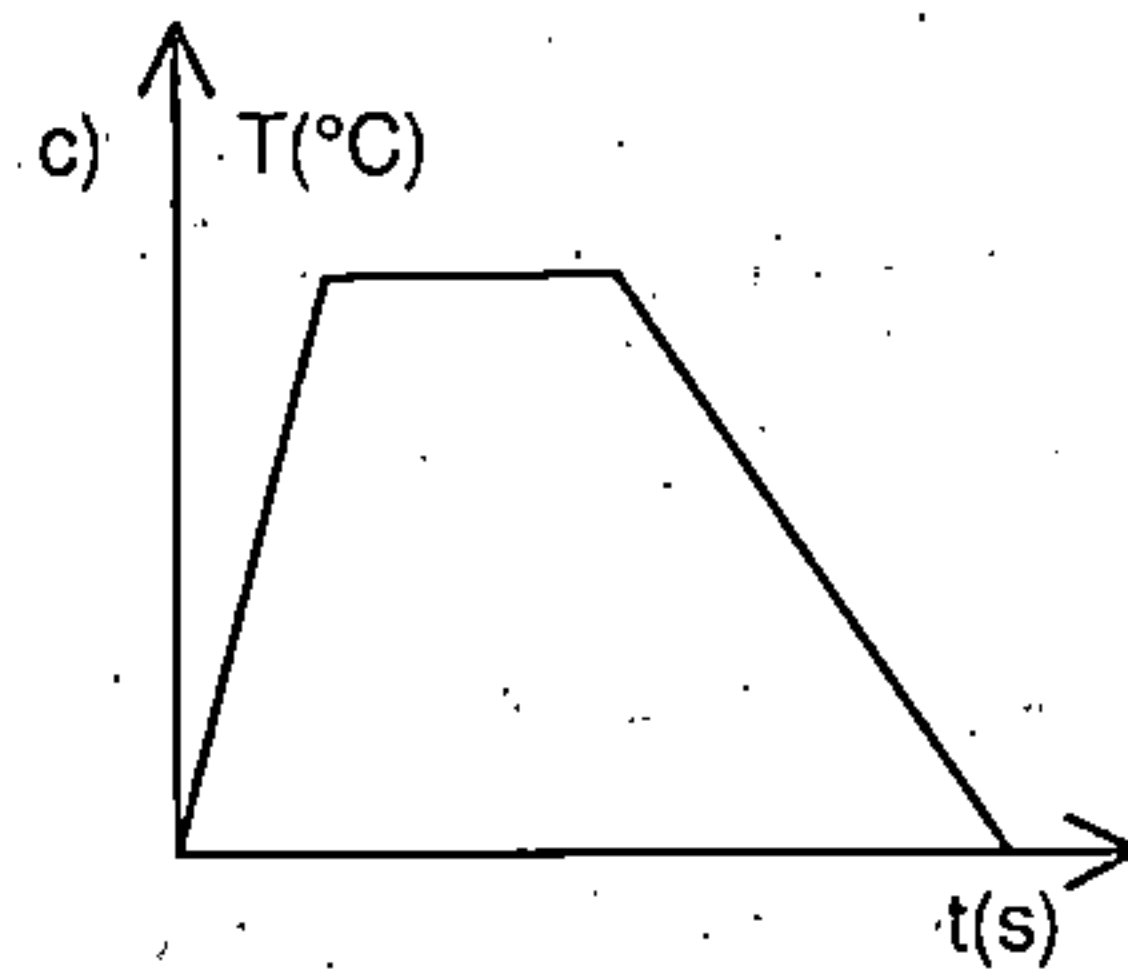
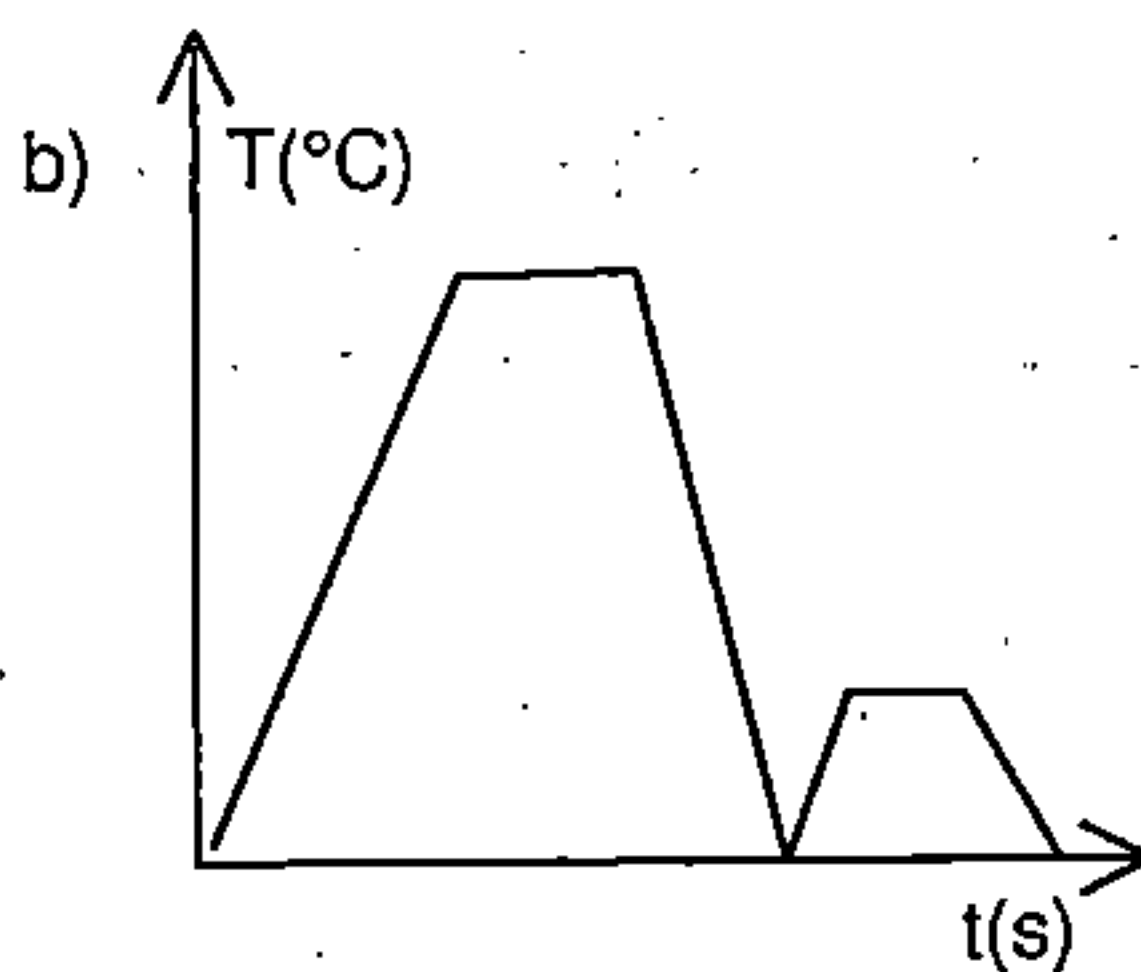
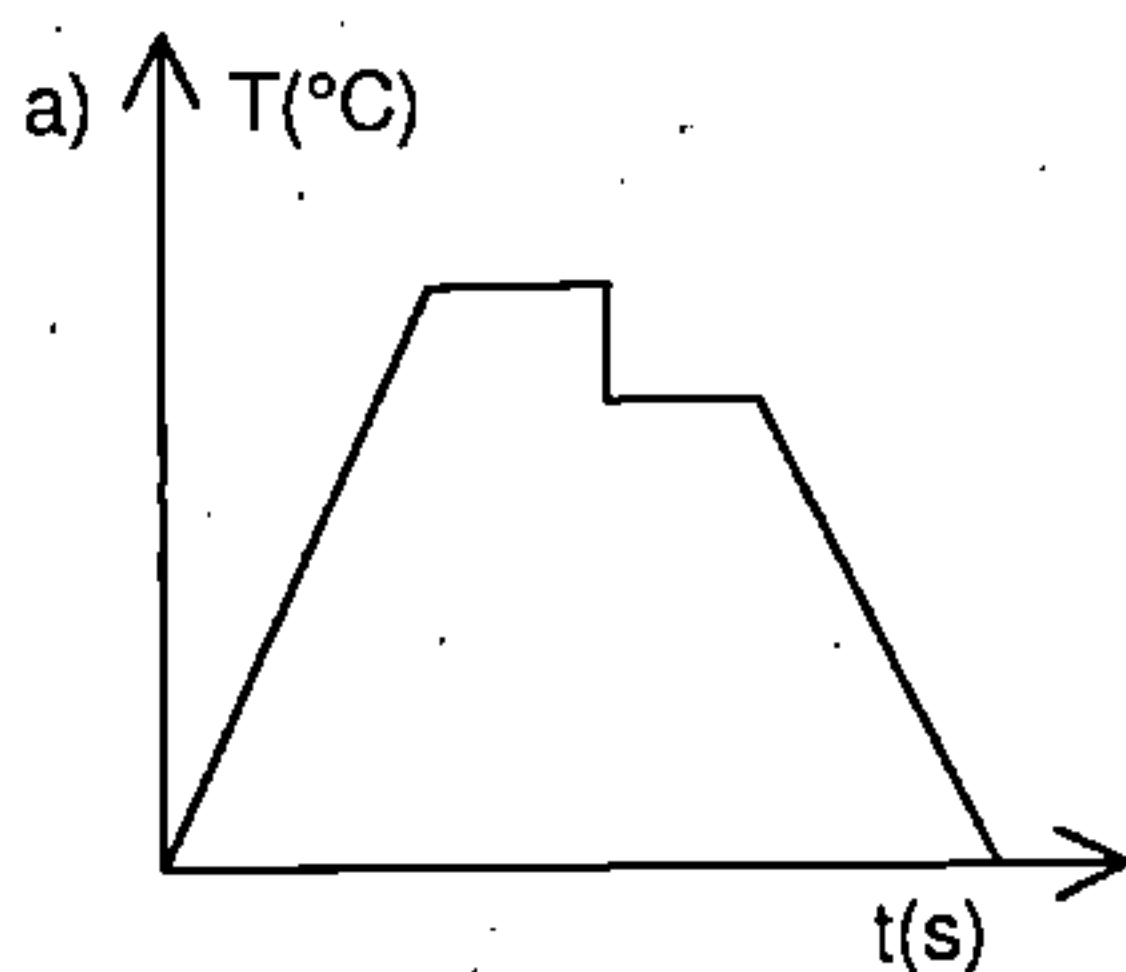
- a. Austenita b. Perlita c. Martensita d. Cementita e. Ninguna

Respuesta:

Alternativa (c)

Pregunta 7

El diagrama más probable de temperatura vs. tiempo del tratamiento térmico de revenido, luego haber sido templado en aceite, de un acero al vanadio SAE A6117, con temperatura de precalentamiento recomendado entre 390° y 425°C para soldar, es:



Respuesta:

Alternativa e

CAPÍTULO VIII

LA SOLDADURA

La soldadura es la unión de piezas metálicas o no metálicas en forma permanente. Si se desea separar la unión será necesario analizar la misma, para evitar el maltrato o inutilización de la parte o accesorio en cuestión.

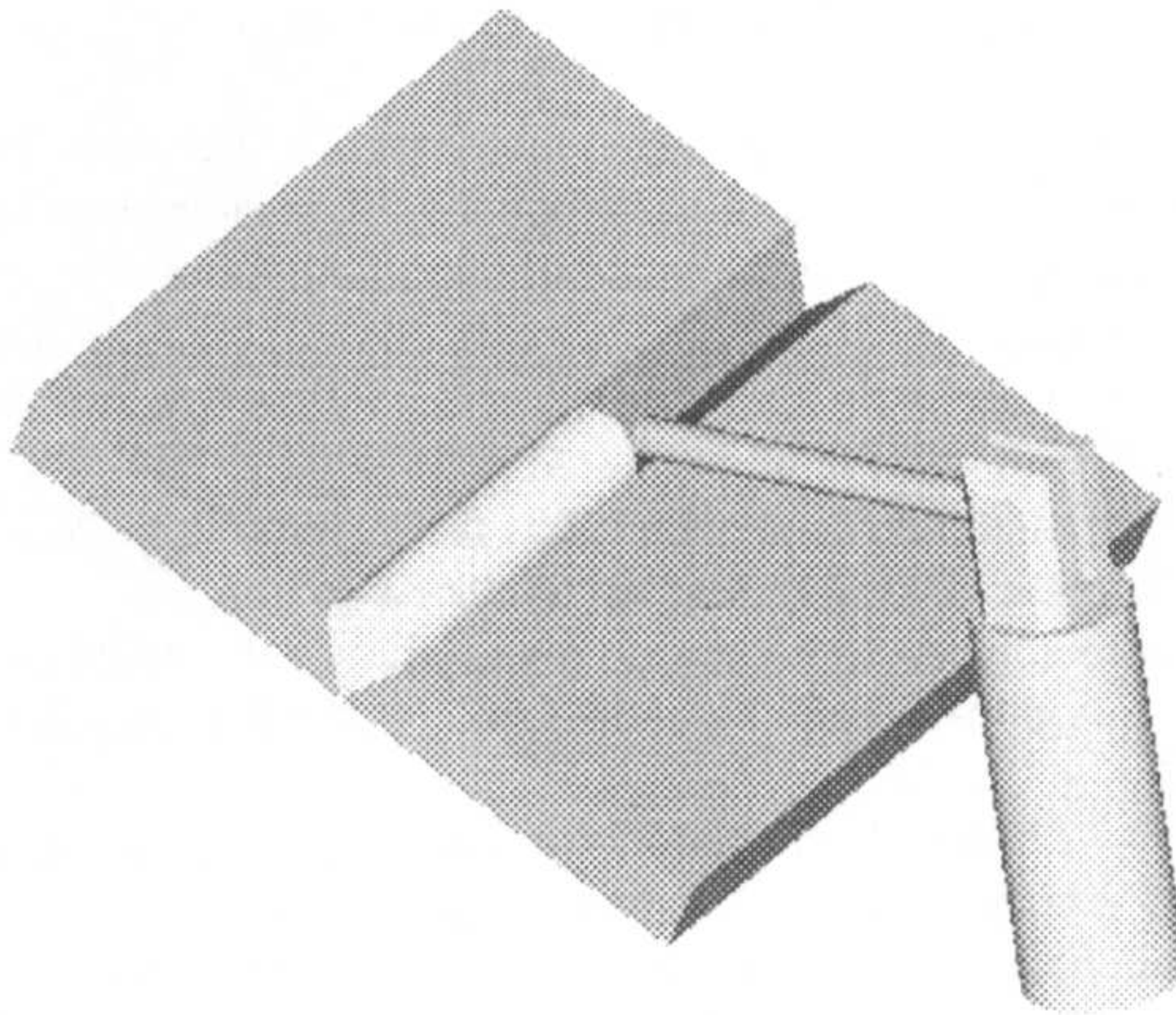


Figura 1. Proceso de soldadura eléctrica en posición plana.

1. SOLDADURA DE METALES

La soldadura no es un elemento de máquina, es más bien un proceso de fabricación para unir dos partes, generalmente metálicas, en forma permanente.

1.1 Elementos de una unión soldada. Simbología de los cordones de soldadura

Los elementos de una unión soldada pueden variar entre un proceso de soldeo y otro, no obstante, existen elementos comunes que se presentan en la mayor parte de los casos.

En toda unión soldada hay seis elementos importantes (figura 2).

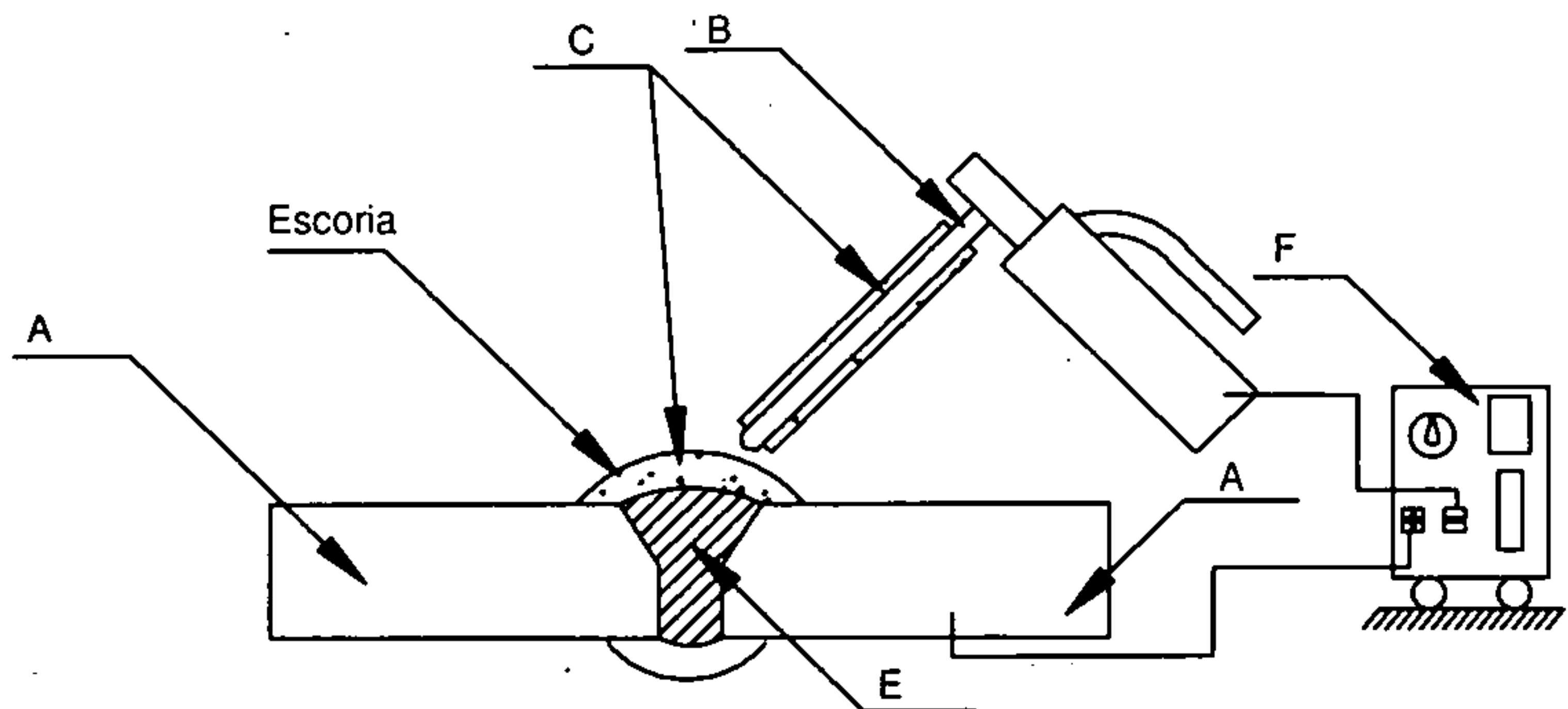


Figura 2. Elementos de unión soldada.

- **Metal base.**- El metal base puede ser el mismo material para soldadura homogénea o la unión de dos materiales distintos para soldadura heterogénea. El metal base es la pieza a soldar.
- **Metal aporte.**- El metal de aporte es el material adicional de una soldadura, la cual llena la cavidad o junta de soldeo. El metal de aporte puede ser el núcleo de un electrodo de soldadura, o también una varilla de aporte de material. Puede o no haber metal de aporte en una unión soldada.
- **Fundente.**- Es el complemento de la soldadura que facilita el proceso de unión. Puede quedar en forma de escoria sobre el cordón, o disiparse en forma de gases.
- **Junta soldada.**- La junta soldada es la cavidad o vacío previo que debe existir entre las piezas a ser soldadas. En esta junta soldada se debe depositar el metal de aporte, el cual formará el cordón de soldadura.
- **Cordón de soldadura.**- Es la costura que permite la unión de los metales y puede estar formado por el metal de aporte o también, por los mismos metales base.
- **Fuente de calor.**- Es la potencia producida por un transformador de corriente, para la soldadura eléctrica, o por quema de un combustible, para la soldadura a gas. Esta fuente de calor garantiza la fusión del metal de aporte y de la zona de soldeo y la adherencia entre las partes a unir.

Simbología de los cordones de soldadura

La información principal de la costura que señala la flecha indicadora de simbología se coloca debajo de la línea indicadora de soldadura.

La forma básica de la designación de soldadura comprende la siguiente simbología (figuras 3 y 4).

- F símbolo de acabado superficial
- contorno de la cara de la soldadura, convexa $\cap$ o al ras -
- A ángulo de chaflán, incluyendo ángulo de avellanado para soldaduras de tapón
- R luz en la raíz. Profundidad del relleno para soldadura de tapón y ranura
- S tamaño del cordón de soldadura
- T especificación, procedimiento u otra referencia
- L longitud de la soldadura intermitente
- P paso, separación o intermitencia entre cordón y cordón
- N cantidad de puntos de soldadura
- lc cordón al lado contrario de la flecha
- lf cordón al lado de la flecha
- O soldar todo alrededor
- a soldar en obra
- > cola, solamente si existe especificación u otro procedimiento

El símbolo F puede indicar el acabado superficial por pintura, lijado, torneado, fresado u otro.

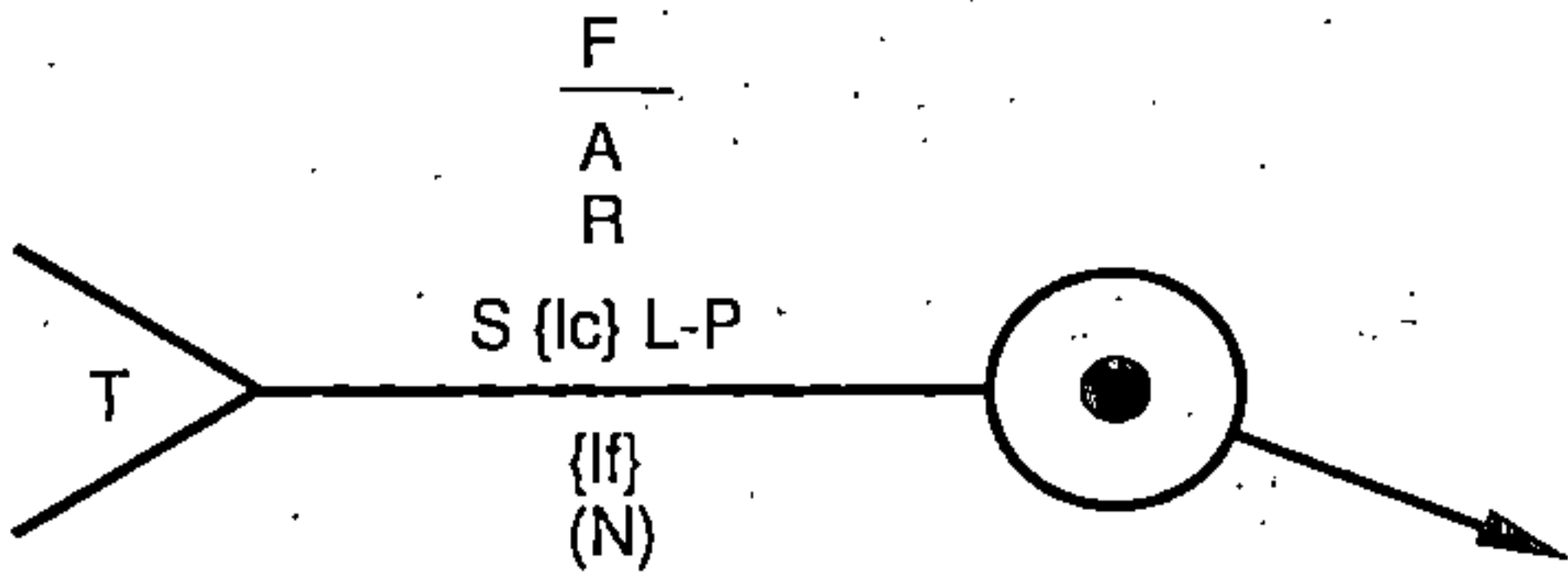


Figura 3. Forma básica del símbolo de soldadura. Línea horizontal indicadora de soldadura y flecha indicadora.

Los tipos de junta de soldeo (lc, lf) pueden ser de filete, tapón, o chaflán. La tabla de la figura 4 muestra los tipos de junta más comunes.

Filete	Tapón o ranura	Chaflán				
		A tope	En V	Bisel	En U	En J

Figura 4. Tabla de tipos de junta de una unión soldada.

La figura 5 muestra el esquema con los símbolos que caracterizan y definen un cordón de soldadura.

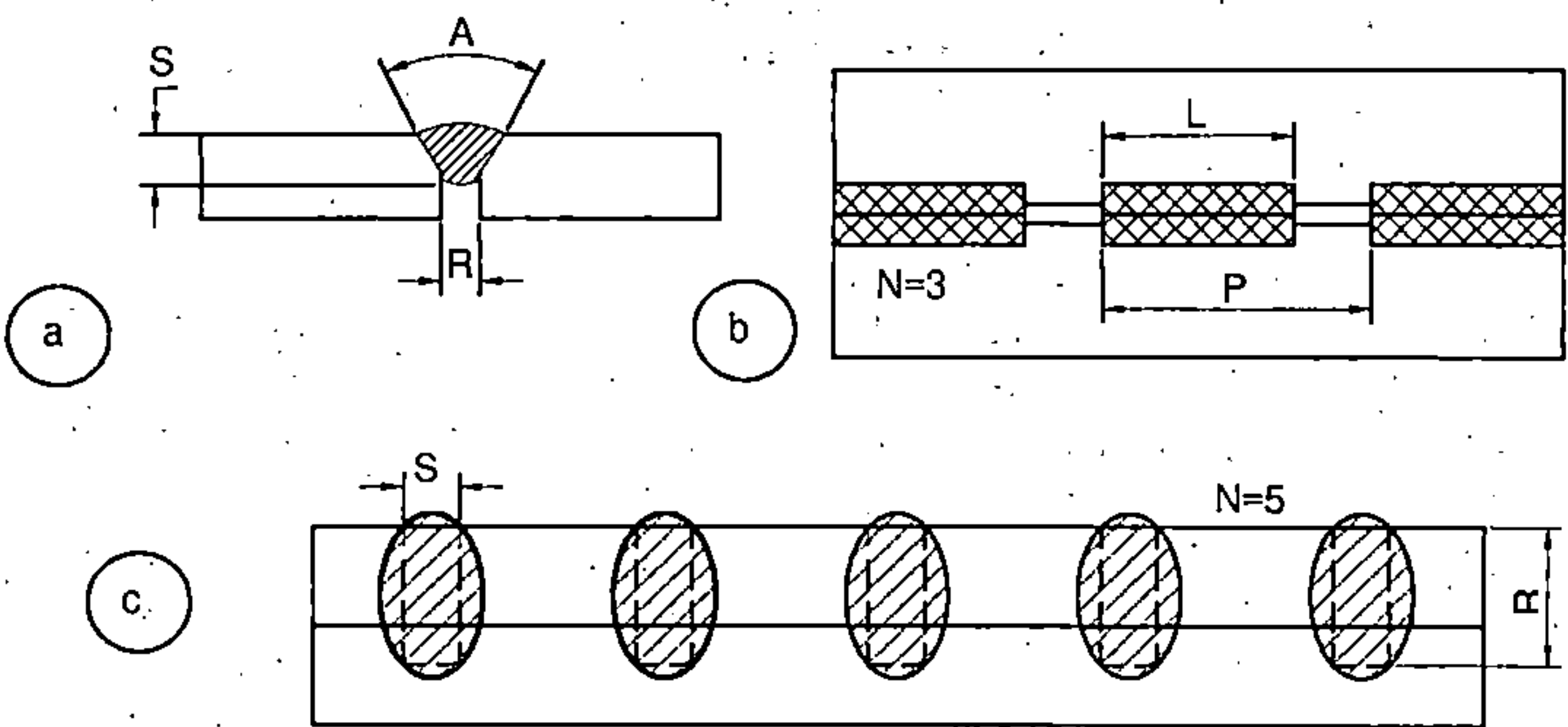


Figura 5. Esquema de los símbolos de la soldadura:
a) Soldadura en V.
b) Soldadura intermitente.
c) Soldadura de tapón.

En la figura 6, se presentan algunos ejemplos de soldadura deseada y el símbolo de soldadura.

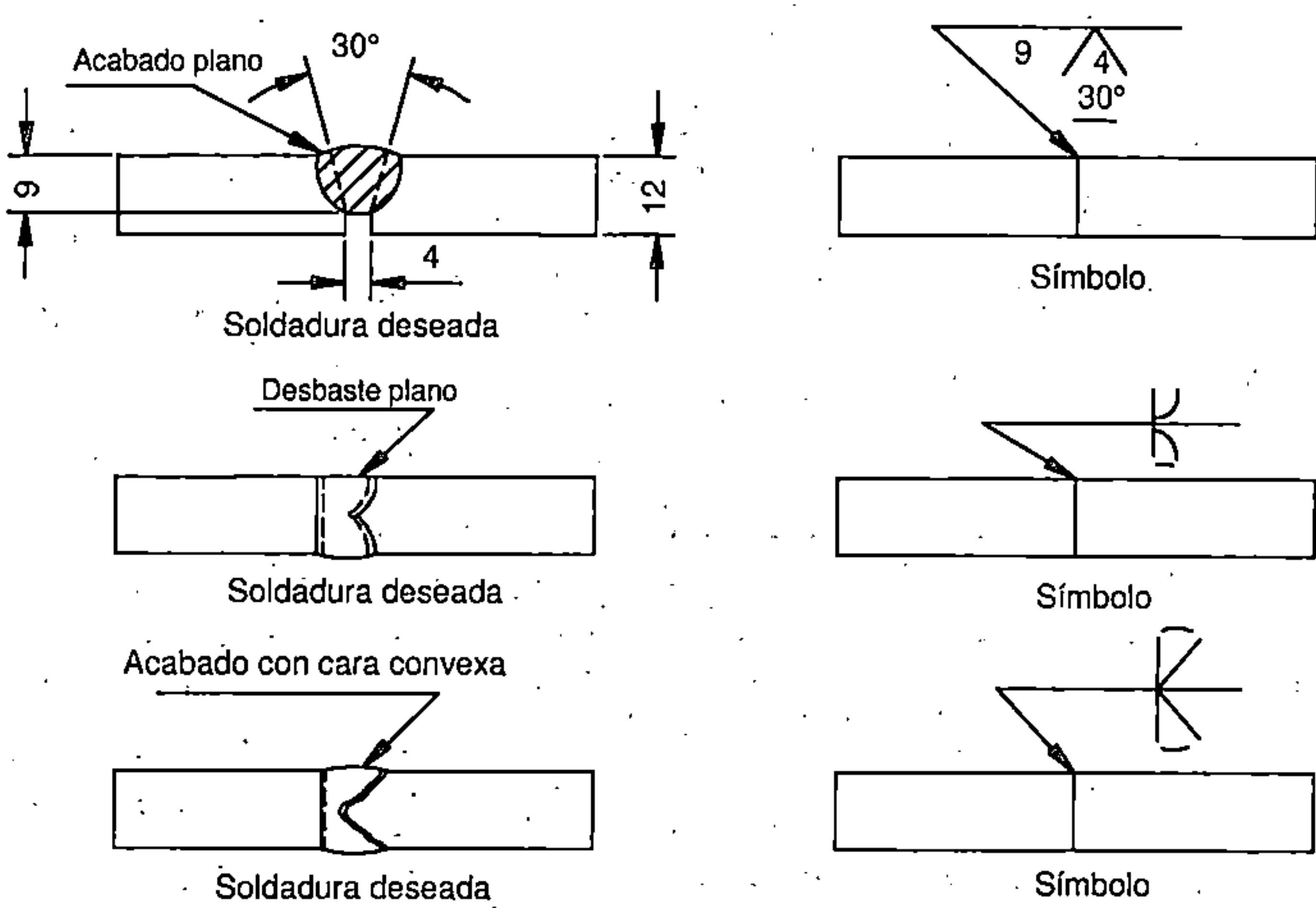


Figura 6. Soldadura deseada y símbolo de soldadura.

2. SOLDADURA DE MATERIALES

2.1 Características de soldadura. Metalurgia de algunos materiales de aleación. Temperatura de fusión de algunos metales. Procedimientos de soldadura de materiales

Características de soldadura

Se puede describir cuatro características de soldadura de materiales, como son: soldadura homogénea, heterogénea, autógena y heterógena.

- *Homogénea*.- Consiste en unir dos metales base del mismo material, y el metal de aporte deberá ser del mismo material que los metales base.
- *Heterogénea*.- Presenta una unión soldada por dos metales base y el material de aporte, donde por lo menos uno de los tres metales que forman parte de la unión soldada es de distinto material que los otros.
- *Autógena*.- Es un soldeo con o sin material de aporte. Se puede presentar este caso en la soldadura a gas o por puntos, entre otros.
- *Heterógena*.- Es un tipo de soldeo generalmente de soldadura blanda, donde el metal de aporte ni funde ni forma parte de la junta soldada. Un caso común se presenta en la soldadura plomo-estaño de terminales eléctricos.

Metalurgia de algunos materiales de aleación

En el proceso de soldadura es importante conocer las características de los Metales y No Metales más comunes en una aleación.

- Características de los metales y no metales

Componente	Símbolo	Eleva	Disminuye
Manganeso	Mn	-Templabilidad a fondo Resistencia al choque y desgaste	-Facilidad de mecanización
Níquel	Ni	-Tenacidad, resistencia a la corrosión, resistencia eléctrica, resistencia al calor, templabilidad a fondo	-Dilatación térmica
Cromo	Cr	-Dureza, resistencia en caliente, temperatura de temple, resistencia al desgaste y la corrosión	-Alargamiento en grado reducido
Vanadio	V	-Resistencia a la fatiga, dureza, tenacidad, resistencia en caliente	-Sensibilidad ante el recalentamiento
Molibdeno	Mo	-Dureza, resistencia en caliente, resistencia a la fatiga	-Alargamiento, forjabilidad
Cobalto	Co	-Dureza, resistencia en caliente	-Sensibilidad al recalentamiento, tenacidad

Tabla 1. Características de los metales.

Componente	Símbolo	Eleva	Disminuye
Carbón	C	-Resistencia, dureza, templabilidad	-Punto de fusión, tenacidad, alargamiento
Silicio	Si	-Elasticidad, resistencia a la corrosión	-Soldabilidad
Fósforo	P	-Fluidez, resistencia en caliente	-Alargamiento, resistencia al choque

Tabla 2. Características de los no metales.

Temperatura de fusión de algunos metales

Para realizar la unión de soldadura entre metales es necesario conocer la temperatura de fusión, y así poder escoger el sistema de soldeo más conveniente. La tabla 3. muestra algunos valores de referencia de la temperatura de fusión correspondiente a algunos materiales.

METAL	TEMPERATURA°C
Acero	1400-1600
Hierro (Fe)	1539
Níquel (Ni)	1455
Cobre (Cu)	1083
Latón (Cu-Zn)	Aprox.900
Bronce (Cu-Sn)	Aprox.920
Aluminio (Al)	660
Zinc (Zn)	419
Plomo (Pb)	327
Estaño (Sn)	232

Tabla 3. Temperatura de fusión de algunos metales.

Procedimientos de soldadura de materiales

Existe un gran número de procesos de soldadura. Por lo tanto, mencionaremos muchos de ellos y luego se seleccionarán los más importantes a nivel industrial, para ser tratados con amplitud.

La clasificación de los procedimientos de soldadura de materiales según la American Welding Society (AWS) es la siguiente:

- Soldadura por arco
 - Soldadura con electrodos eléctricos revestidos
 - Soldadura con carbón
 - Soldadura con núcleo de flujo
 - Soldadura MIG/MAG

- Soldadura TIG
- Soldadura por arco sumergido
- Soldadura por arco de plasma
- Soldadura por arco de espárragos
- Soldadura por resistencia
 - Soldadura de puntos
 - Soldadura de costura
 - Soldadura de proyección
 - Soldadura por arco con presión
 - Soldadura con recalado
 - Soldadura por percusión
- Soldadura a gas
 - Soldadura oxiacetilénica
 - Soldadura oxihídrica
 - Soldadura a gas con presión
- Soldadura fuerte
 - Soldadura por inmersión
 - Soldadura por resistencia
 - Soldadura por inducción
 - Soldadura al horno
 - Soldadura por soplete
 - Soldadura por infrarrojo
- Soldadura al estado sólido
 - Soldadura en frío
 - Soldadura por difusión
 - Soldadura por explosión
 - Soldadura por forja
 - Soldadura por fricción
 - Soldadura por ultrasonido
- Otros procedimientos de soldadura
 - Soldadura por haz de electrones
 - Soldadura por electroescoria
 - Soldadura por inducción
 - Soldadura por rayo láser
 - Soldadura aluminotérmica

3. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO CON ELECTRODO REVESTIDO

La soldadura eléctrica por arco es un proceso de soldadura donde la unión se da por el calor generado por un arco voltaico, con o sin aplicación de presión y con o sin metal de aporte.

La soldadura eléctrica con electrodo revestido no utiliza presión, el núcleo del electrodo es el metal de aporte y el revestimiento es el fundente.

La figura 7 muestra el diagrama del circuito de soldadura por arco eléctrico. La energía eléctrica se transforma en calor, llegando hasta 4000°C.

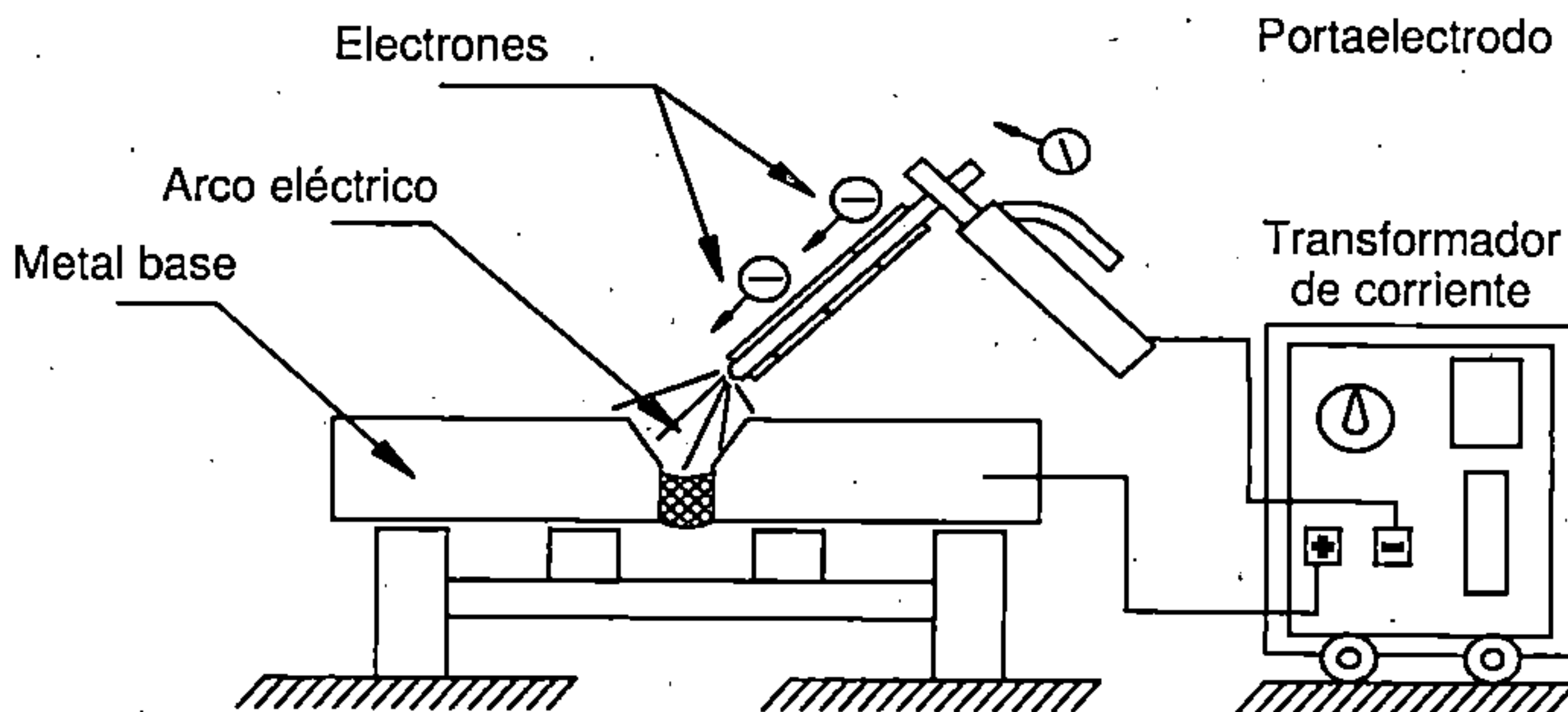


Figura 7. Diagrama del circuito de soldadura eléctrica por arco con electrodo revestido.

Se produce un flujo de electrones cuando se cierra el circuito. Si el electrodo va al polo negativo del circuito, entonces los electrones fluyen del electrodo al metal base y es el metal base el que más calienta. Si va el electrodo al polo positivo, entonces el flujo de electrones es del metal base hacia el electrodo y es el electrodo el que más calienta.

Por lo tanto, el arco eléctrico es un flujo continuo de electrones que circulan a través de un medio gaseoso, que genera luz y calor.

3.1 Electrodo eléctrico revestido. Funciones del revestimiento de un electrodo eléctrico. Sistema AWS de electrodos eléctricos revestidos

Electrodos eléctricos revestidos

Los electrodos eléctricos de soldadura se basan en sus partes para la selección de los mismos. El electrodo consta del recubrimiento y el núcleo (figura 8).

En la selección del electrodo se debe considerar:

- El recubrimiento
- La composición del núcleo o alma
- El diámetro de la varilla o núcleo

La corriente en amperios que debe fluir por el alma del electrodo es 30 a 40 veces el valor de su diámetro en milímetros.

$$I = (30 - 40) d, \quad d = \text{diámetro en mm. de la varilla o alma}$$

$$I = \text{corriente en amperios}$$

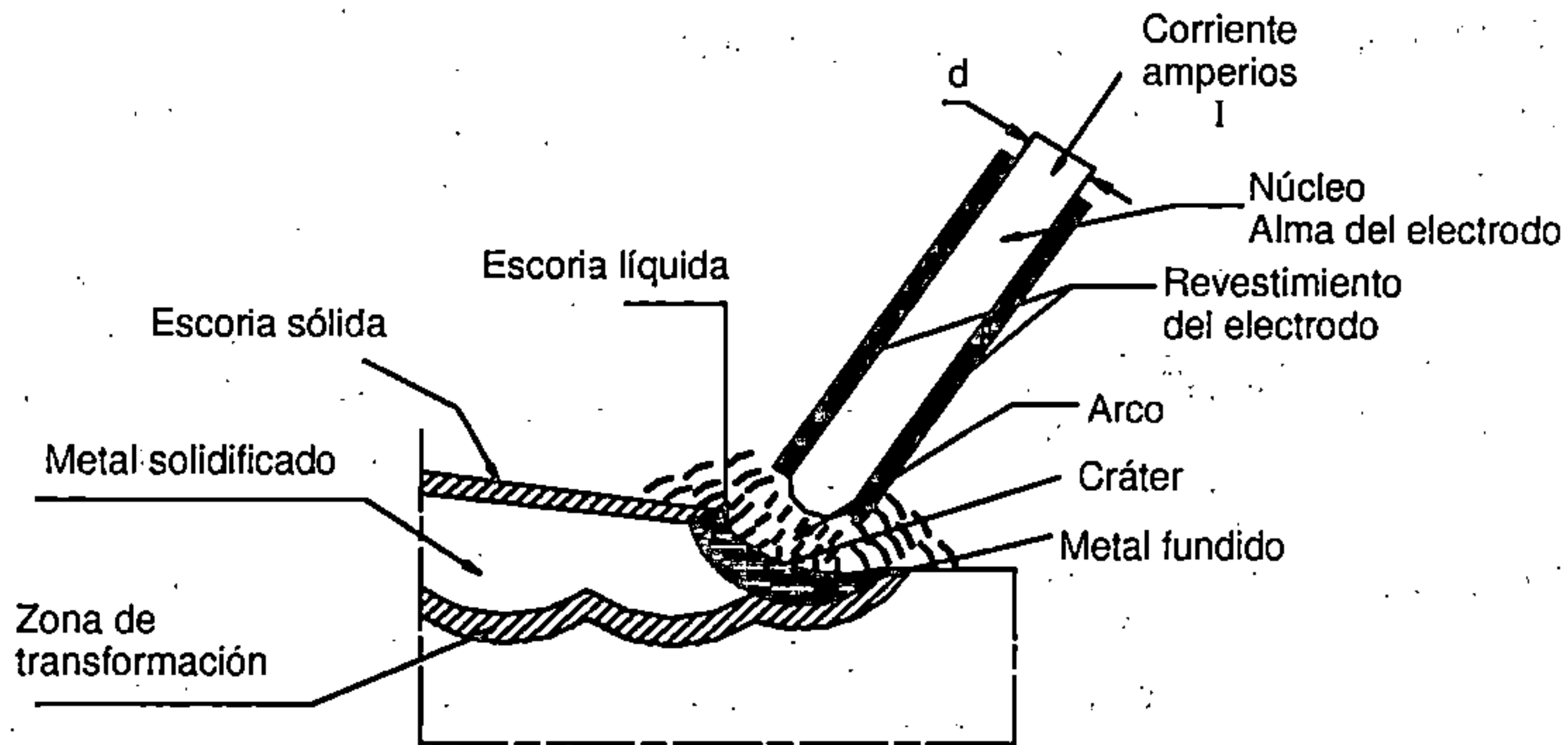


Figura 8. Principio del soldeo por arco con electrodo revestido. I es la corriente, d es el diámetro del electrodo en mm.

El tipo de corriente, ya sea continua o alterna tiene importancia en el soldeo. En la corriente continua (CC) existe el circuito de Polaridad directa, cuando el electrodo está conectado al polo negativo (-). Se dice Polaridad invertida, cuando el electrodo está conectado al polo positivo (+).

En la corriente alterna (CA) se produce un soldeo irregular, debido al cambio permanente del flujo de corriente, y es más difícil de soldar.

En la figura 9 se observa una mayor penetración del metal de aporte en la polaridad invertida (+). Asimismo, se muestra los resultados comparativos con la soldadura en polaridad directa (-) y con corriente alterna (CA).

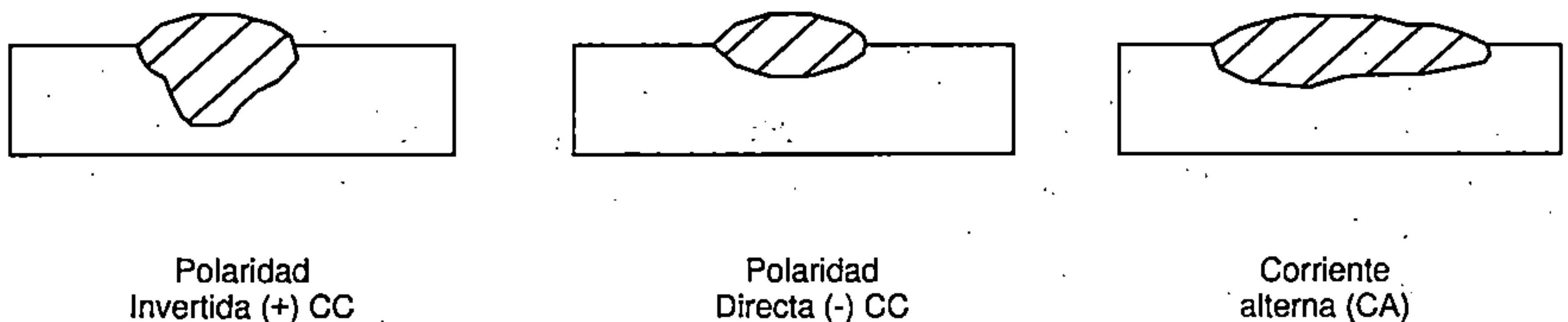


Figura 9. Resultados de la soldadura según el circuito de corriente.

Funciones del revestimiento de un electrodo eléctrico

- *Función eléctrica.*- Mantiene el arco eléctrico.
- *Función metalográfica.*- Forma gases para lograr una atmósfera neutro (escudo alrededor del arco). Favorece el enfriamiento lento del cordón de soldadura (capa de escoria). Absorbe las impurezas de la soldadura.
- *Función mecánica.*- Permite soldar en diferentes posiciones (concentra el chorro del arco). Controla la velocidad de fusión del electrodo. Controla la profundidad de penetración.

Sistema AWS de electrodos eléctricos revestidos

Si bien existen las normas DIN para la especificación de electrodos eléctricos, en el presente capítulo se hará una descripción del sistema American Welding Society (AWS) de electrodos de soldadura eléctrica para aceros dulces y de baja aleación. El sistema AWS está muy difundido en el mercado mundial.

Como referencia sobre la denominación DIN se tiene, por ejemplo, el electrodo DIN 1913 E43 21 R3, que significa:

DIN 1913	=	electrodo para soldadura de aceros no aleados y de baja aleación, según DIN 1913 T1.
E43	=	E soldadura por arco eléctrico, 43 resistencia a la tracción de 430 N/mm ² y esfuerzo de fluencia 360 N/mm ² .
21	=	garantiza un alargamiento mínimo de 22 %.
R3	=	revestimiento de rutilo, soldable en todas posiciones, usar corriente continua o alterna.

- *Sistema AWS de clasificación de electrodos eléctricos para aceros dulces y de baja aleación.*- En la designación de un electrodo con revestimiento, se indican cinco puntos según el sistema AWS.

Especificación de un electrodo eléctrico: E AA B C DD

E	=	Producto para ser aplicado por arco eléctrico
AA	=	Resistencia mínima a la tracción del depósito de soldadura en lb/pulg ² (PSI)
B	=	Posición de soldadura
C	=	Tipo de corriente y otros
DD	=	Sufijo de las aleaciones del núcleo del electrodo o metal de aporte

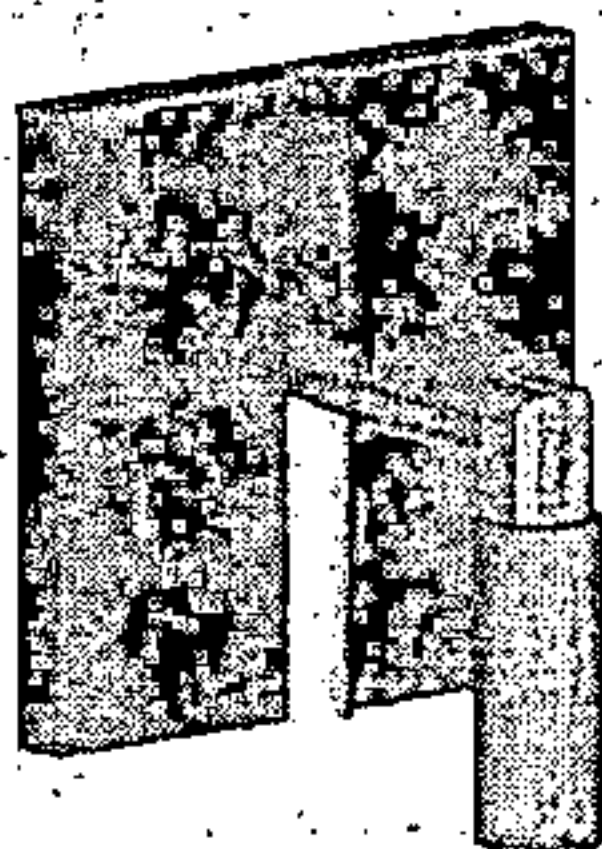
AA = Resistencia mínima a la tracción del depósito de soldadura en lb/pulg² (PSI)

Símbolo de 2 o 3 dígitos	PSI	Otros
45	45000	Aceros dulces
60	60000	
70	70000	Aceros de baja aleación
80	80000	
90	90000	
100	100000	
110	110000	
120	120000	

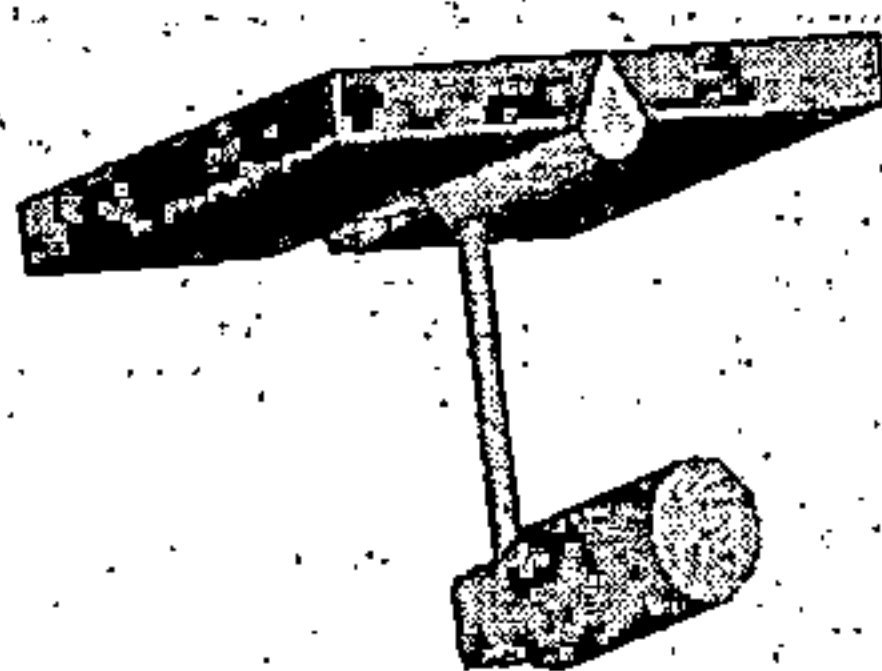
B = Posición de soldadura

Símbolo	Posición
1	Cualquier posición
2	Plana y horizontal
3	Plana solamente

La figura 10 muestra los diferentes casos de posición de soldadura. La posición sobrecabeza requiere la mayor experiencia y habilidad del soldador por la dificultad del proceso.



Posición vertical ascendente



Posición sobrecabeza



Posición horizontal

Figura 10. Las diferentes posiciones de soldadura con electrodo eléctrico.

C = Tipo de corriente y otros

Símbolo	Tipo de Corriente	Revestimiento	Arco	Hierro en polvo	Otras características
E6010	CC	Celulósico +Sodio	Potente	0-10%	
E6020	CA o CC+/-	Oxido de Fierro + Sodio	Mediano	0	
E6011	CA o CC+	Celulósico + Potasio	Potente	0	
EXXX2	CA o CC-	Rutilo + Sodio	Mediano	0-10%	
EXXX3	CA o CC-	Rutilo + Potasio	Suave	0-10%	Excelente acabado
EXXX4	CA o CC+/-	Hierro en Polvo + Rutilo	Suave	25-40%	Relleno rápido
EXXX5	CC+	Bajo Hidrógeno + Sodio	Mediano	0	
EXXX6	CA o CC+/-	Bajo Hidrógeno + Potasio	Mediano	0	
EXXX7	CA o CC+/-	Oxido de Hierro + Hierro en Polvo	Mediano	50%	Relleno rápido
EXXX8	CA o CC+	Bajo Hidrógeno + Hierro en Polvo	Mediano	25-40%	Relleno rápido

DD = Sufijo de las aleaciones del núcleo del electrodo o metal de aporte

Sufijo	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
A1	.12	.60 -1.00	.40-.80	-	-	.40-.35	-
B1	.12	.90	.60-.80	-	.40-.65	.40-.35	-
B2L	.05	.90	1.00	-	1.00-1.50	.40-.65	-
B2	.12	.90	.60-.80	-	1.00-1.50	.90-1.10	-
B3L	.05	.90	1.00	-	2.00-2.50	.90-1.20	-
B3	.12	.90	.60-.80	-	2.00-2.50	.90-1.20	-
B4L	.05	.90	1.00	-	1.75-2.25	.40-.65	-
C1	.12	1.20	.60-.80	2.00-2.75	-	-	-
C2	.05	1.20	.60-.80	3.00-3.75	-	-	-
C3	.12	.40-1.10	.80	.80-1.10	.15	.35	.05
D1	.12	1.25-1.75	.60-.80	-	-	.25-.45	-
D2	.15	1.65-2.00	.60-.80	-	-	.25-.45	-
G		1mín.	.80	50mín.	.30mín.	.20mín.	1mín.
M	.10	.60-2.25	.60-.80	1.40-2.25	.15-1.50	.25-.55	.05

Ejemplo: Describir la especificación E7018A1de electrodo revestido.

Solución:

E7018A1 es un electrodo de soldadura eléctrica

- E = para ser aplicado por arco eléctrico
- 70 = 70 000 lb/pulg² resistencia mínima a la tracción
- 1 = cualquier posición
- 8 = corriente CA o CC+, etc.
- A1 = núcleo 0,12%C, 0,80%Mn, 0,60% Si, 0,55%Mo

4. SOLDADURA OXIACETILÉNICA

4.1 Soldadura mediante gases

En este proceso de soldadura el calor necesario para calentar y fundir la pieza y el metal de aporte proviene de una llama de alta temperatura, obtenida por la mezcla o combinación de acetileno con el oxígeno, alcanzando temperaturas de hasta 3100°C (figura 11).

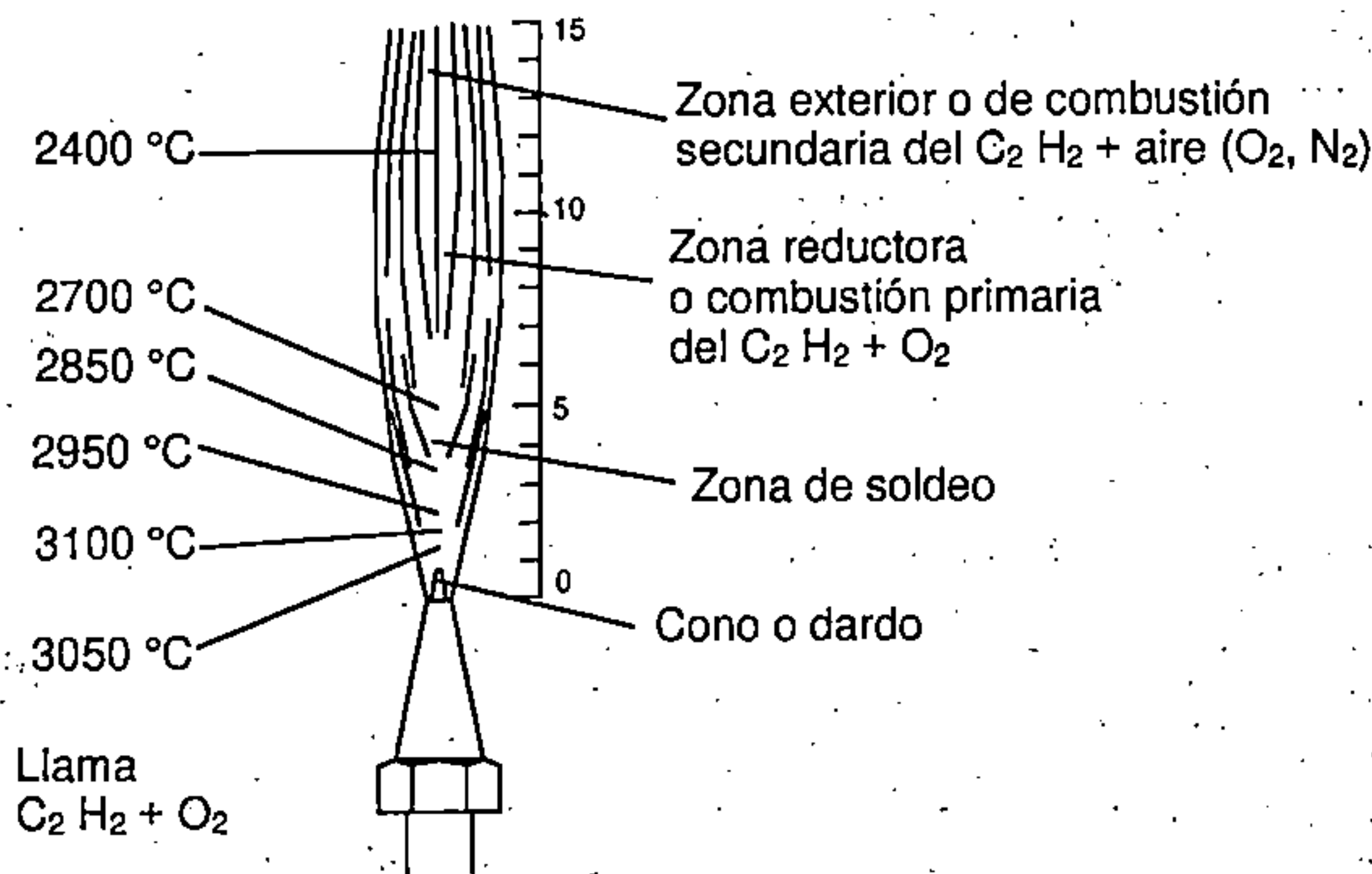


Figura 11. Temperatura de combustión en las diferentes zonas de la llama oxiacetilénica.

El oxígeno (O_2) se combina con el acetileno (C_2H_2) que combustiona a temperaturas superiores al punto de fusión de los metales a soldar. Ambos gases se mezclan en proporciones apropiadas en un soplete (figura 12), tal que el soldador puede regular completamente la llama, de acuerdo a las necesidades del trabajo.

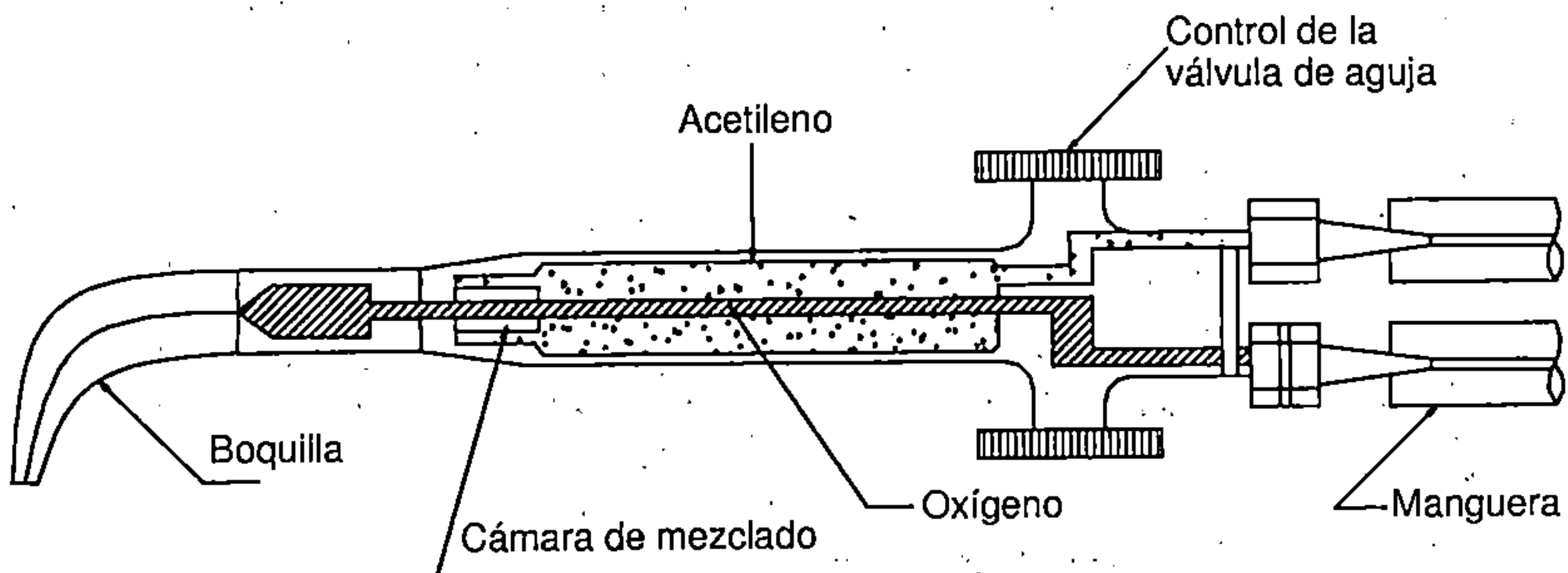
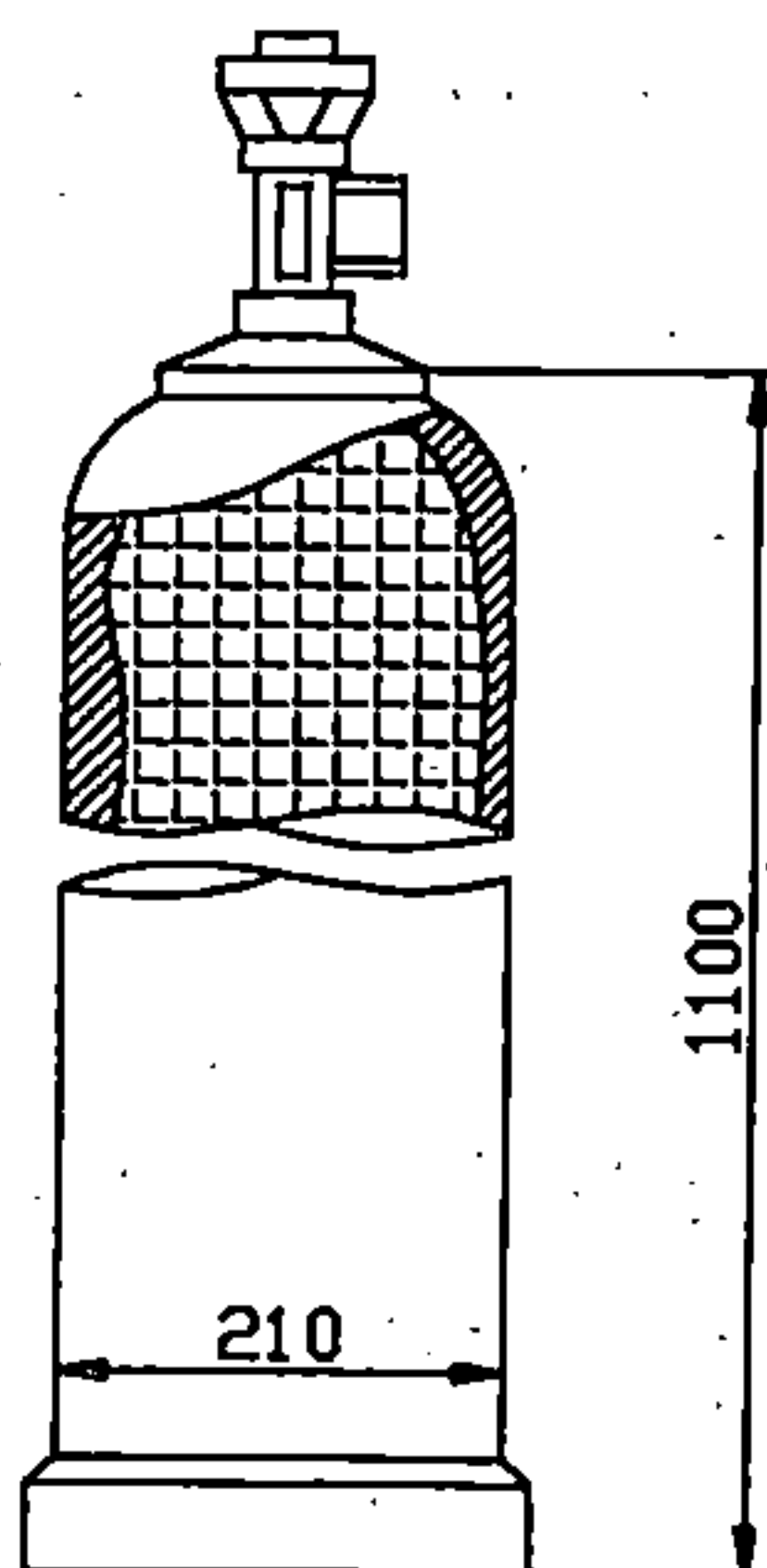


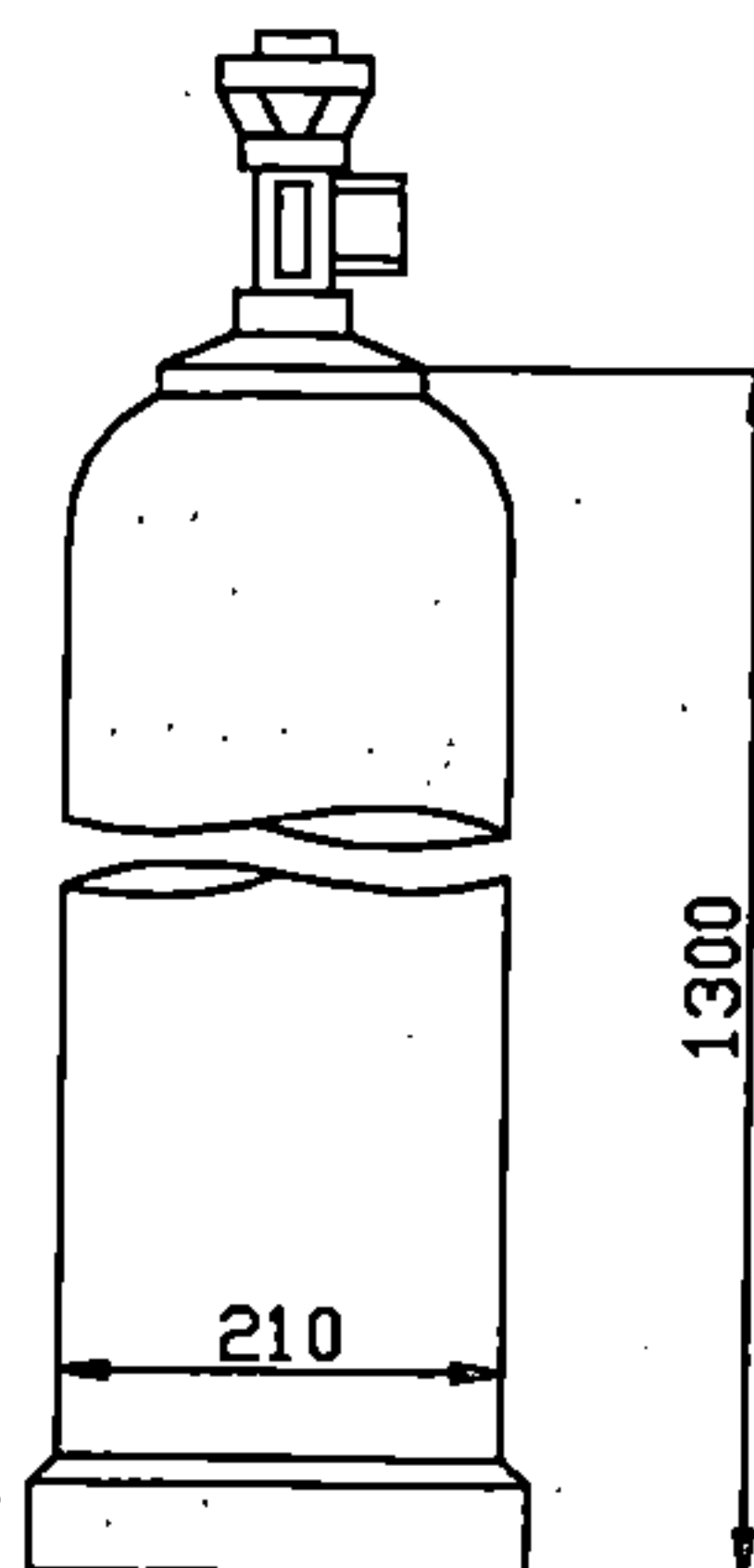
Figura 12. Soplete de soldadura oxiacetilénica.

Existen tres llamas que pueden ser reguladas:

- Normal o neutra
 - Relación oxígeno — acetileno 1 a 1
 - Llama ligeramente azulada
 - Temperatura en el cono 3300°C
 - Sirve para soldar
- Carburante o reductora
 - Relación oxígeno — acetileno 0,9 a 1
 - Mayor proporción de acetileno (C_2H_2)
 - Llama algo blanca
 - Se puede soldar acero inoxidable, aluminio níquel
 - Sirve para calentar
- Oxidante
 - Mayor proporción de oxígeno
 - Llama azul oscura
 - Sirve principalmente para corte de aceros, previo calentamiento de la pieza



Botella de acetileno en cuya sección se observa la mezcla absorbente. Las dimensiones son las aproximadas de las botellas más empleadas. Botella color rojo.



Botella de oxígeno con las dimensiones aproximadas del tamaño más empleado en la soldadura oxiacetilénica. Botella color verde.

Figura 13. Botella de acetileno y oxígeno del equipo de soldadura oxiacetilénica.

Las botellas de oxígeno y acetileno cumplen las siguientes características (figura 13):

- **Oxígeno (O_2):** Contiene 7m³ (250 pies³) a 150 bar (2200PSI) y 20°C. Su diámetro es aproximadamente 210 mm. y su altura 1300 mm. La botella es de color verde.

- **Acetileno (C_2H_2):** Contiene $7,8m^3$ ($275pies^3$) a 15bar (220PSI) y $20^\circ C$. Su diámetro es aproximadamente 210mm y su altura 1100mm. La botella es de color rojo.

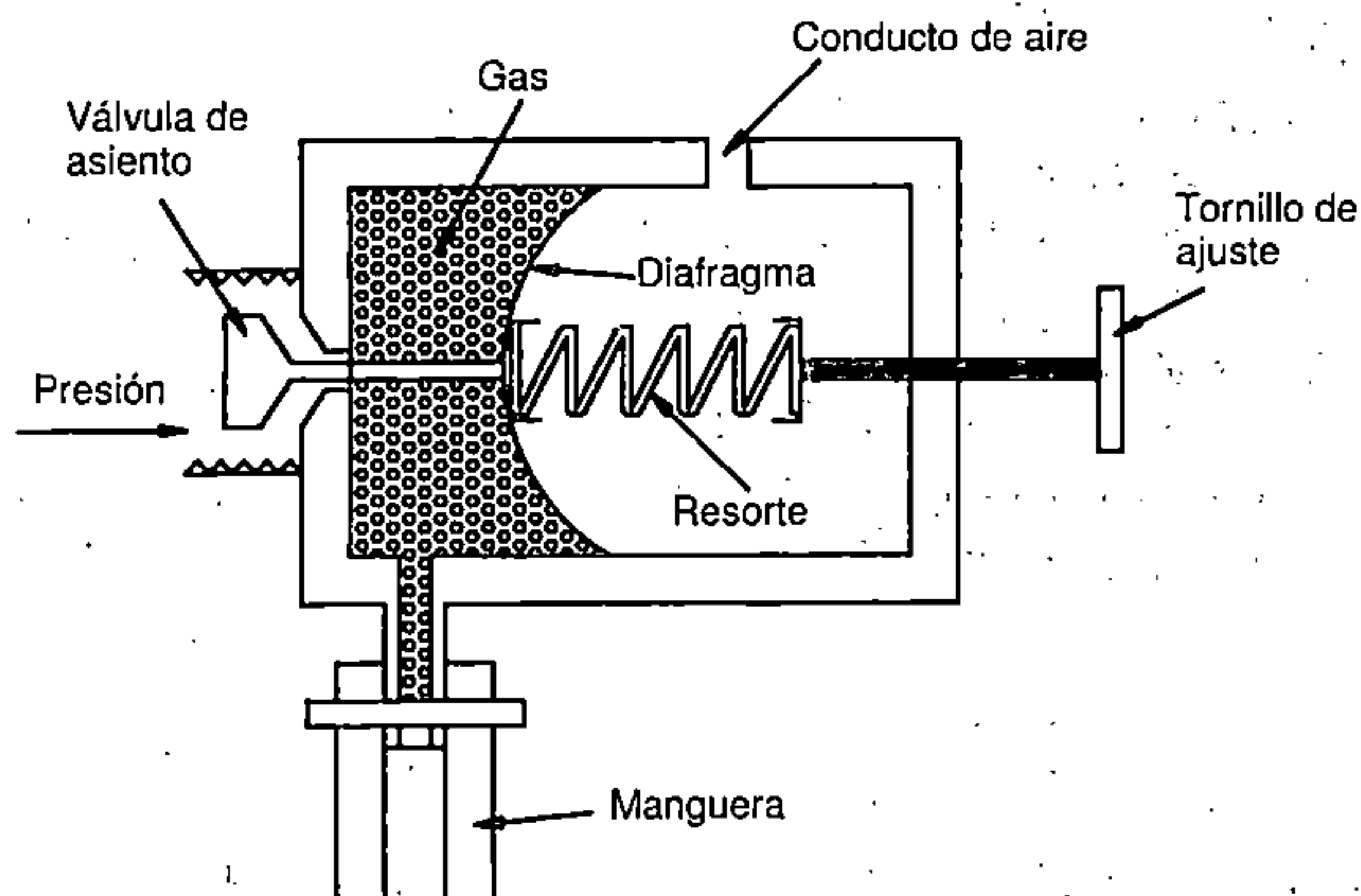


Figura 14. Válvula de diafragma para regulación de oxígeno y regulación de acetileno.

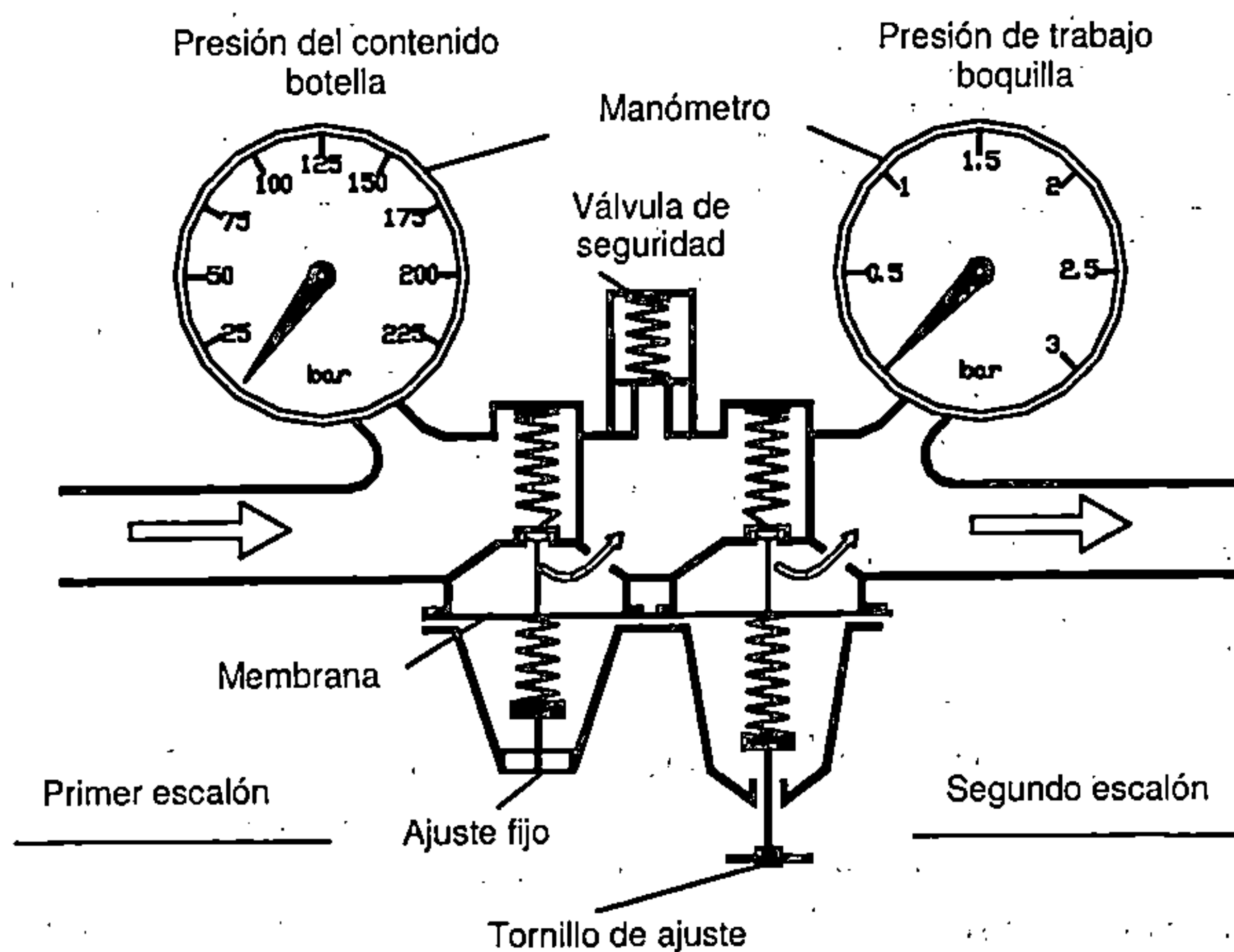


Figura 15. Kit de regulación de la presión entre la botella y la boquilla de la soldadura oxiacetilénica.

5. SOLDADURA A PRESIÓN

5.1 Soldadura a presión, con resistencia eléctrica por puntos

En este caso una corriente eléctrica circula por las partes a unir. La resistencia al paso de la corriente genera el calor requerido para fundir el material de la soldadura y el fundente. Existen máquinas para soldar por resistencia que utilizan electrodos de carbón refrigerados por agua. Estas máquinas están equipadas con dispositivos precisos para el control del tiempo de soldeo por puntos. El tamaño o espesor de las piezas es una de las limitaciones para máquinas de este tipo. Además en las piezas pueden presentarse distorsiones, porque el calentamiento es rápido y localizado. La figura 16 muestra un esquema de la soldadura por puntos. Se observa que los electrodos hacen presión sobre la junta a soldar, mientras ocurre el paso de la corriente.

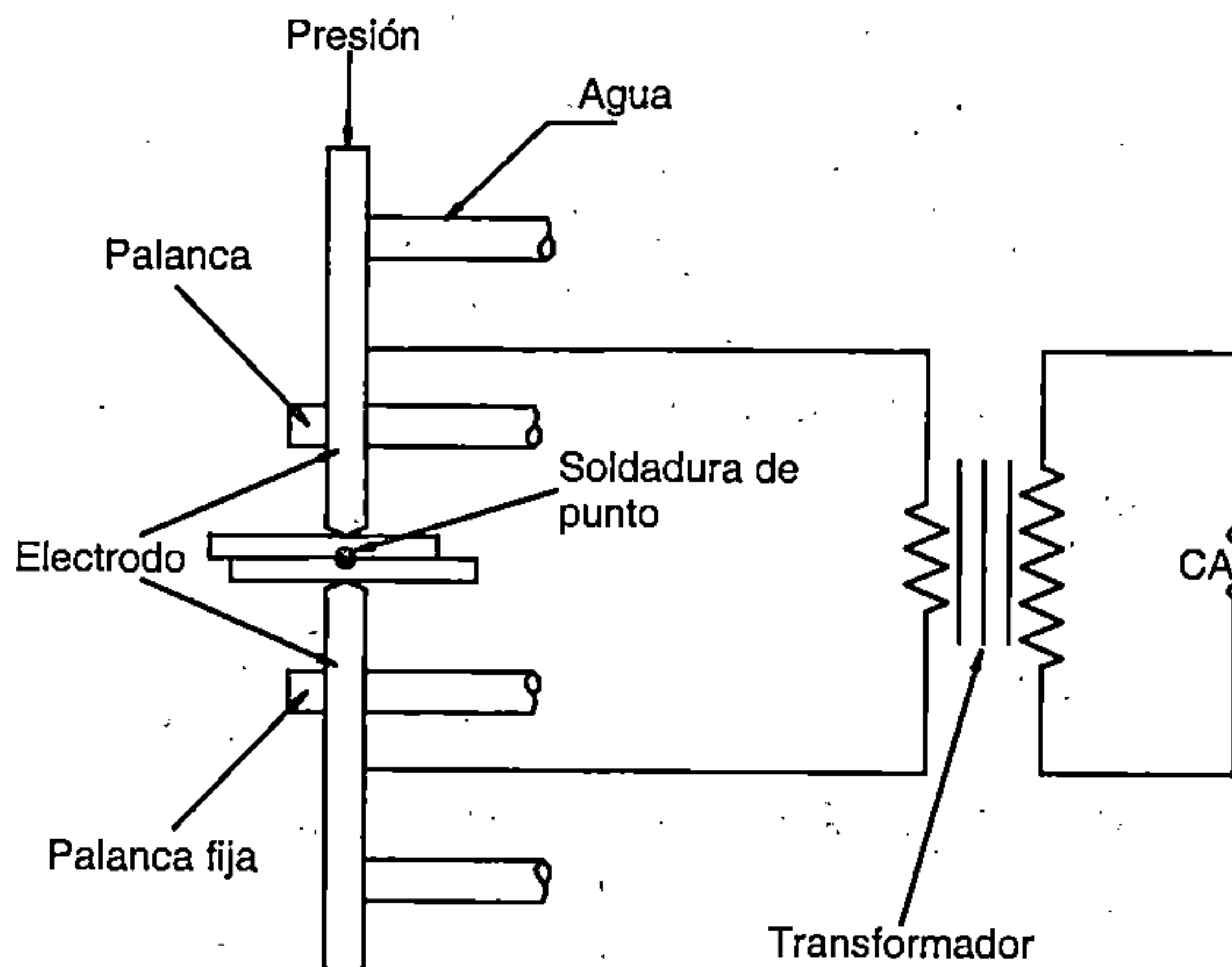


Figura 16. Soldadura de puntos.

6. SOLDADURA TIG

La soldadura por arco de tungsteno con gas inerte, Tungsten Inert Gas (TIG) es un proceso en el que la fusión es producida por el calor de un arco que se establece entre un electrodo de tungsteno no-consumible y la pieza. La protección se obtiene de un gas inerte argón o helio.

La figura 17, muestra el esquema del proceso TIG. Ahí se indican el arco, el electrodo de tungsteno y la envoltura protectora de gas sobre la pieza de trabajo. La varilla desnuda de metal de aporte es aplicada manualmente, introduciéndola en el arco y en el baño de fusión, como en el proceso oxi-acetilénico. Se puede o no emplear metal de aporte.

Las características sobresalientes de la soldadura TIG son:

- Excelente calidad de las soldaduras en casi todos los metales y aleaciones empleados por la industria.
- Prácticamente no se requiere ninguna limpieza posterior
- Arco y baño de fusión son claramente visibles para el soldador
- No hay metal de aporte que atraviese el arco, de modo que no se producen salpicaduras
- La soldadura es posible en todas las posiciones
- No se produce escoria que podría quedarse atrapada en la soldadura

El proceso TIG es adecuado para soldar aluminio, magnesio, acero inoxidable, bronce, plata, cobre, níquel, hierro fundido, aceros dulces y aceros aleados. Este método se adecúa a diferentes espesores de pieza a soldar. También se le emplea para la pasada de relleno.

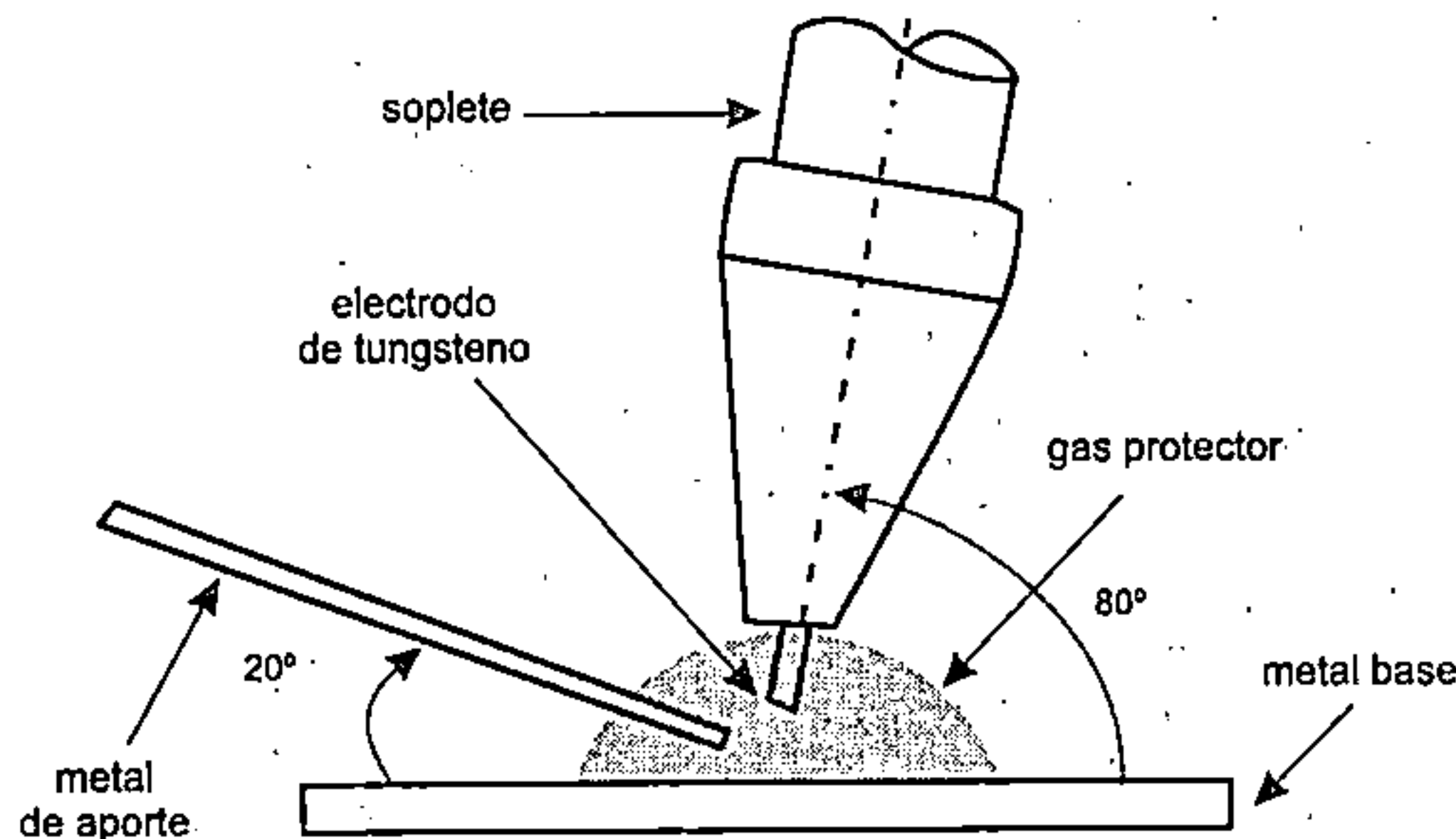


Figura 17. Soldadura TIG Tungsten Inert Gas. Electrodo de tungsteno no consumible.

El gas protector es un gas inerte, argón, helio o una mezcla de los dos gases. Este gas protege el arco del aire de la atmósfera. El argón es más usado, porque es fácil obtenerlo y es más pesado que el helio. El argón proporciona mejor protección a menor presión. Para la soldadura en posición plana, horizontal y vertical se recomienda un caudal entre 15 y 30 pies cúbicos por hora. La posición sobrecabeza necesita un caudal entre 20 y 40 pies cúbicos por hora.

Los electrodos que se emplean para el proceso de soldadura TIG son de tungsteno y aleaciones de tungsteno. Tienen un punto de fusión que llega a los 3400° C y por lo tanto, prácticamente no se consumen. El electrodo no toca el baño fundido del cordón que se forma. El electrodo se coloca sobre la pieza de trabajo, como se ve en la figura 18, y es el calor intenso procedente del arco eléctrico el que mantiene el baño en estado líquido. Los electrodos son de tungsteno puro, tungsteno con 1 a 2 % de torio y de tungsteno aleado con circonio. Los diferentes tipos de tungsteno son fácilmente reconocibles según un código de color. Se encuentran en varios diámetros y largos.

Se puede o no emplear metal de aporte. Para soldar láminas delgadas se evita usar metal de aporte. La composición del metal de aporte debe ser compatible con la del metal base. Los diámetros

de las varillas de metal de aporte dependen del espesor del metal base y de la corriente para soldar. La alimentación del metal de aporte puede ser manual o automática.

7. SOLDADURA MIG-MAG

En la soldadura por arco metálico con gas; o proceso MIG/MAG, la fusión del cordón de soldadura es producida por un arco que se establece entre el extremo del alambre alimentado continuamente y la pieza a soldar o metal base. La protección de soldeo se obtiene con los gases suministrados simultáneamente con el metal de aporte.

Existen dos tipos de proceso, por arco metálico con gas de acuerdo al gas protector; que son el MIG (Metal Inert Gas) y el MAG (Metal Activ Gas)

La soldadura MIG emplea protección de un gas puro, gas inerte (helio, argón, etc.)

La soldadura MAG hace uso del dióxido de carbono, CO_2 , gas activo, como gas protector.

La función que cumplen los gases protectores es la de proteger el arco, la zona de fusión y el material de aporte contra el aire del medio ambiente.

El proceso de soldadura MIG-MAG se muestra en la figura 19. En ella se señala el cable electrodo, la protección de gas y el metal fundido. El proceso puede ser semiautomático o automático, siendo el método semiautomático el más usado.

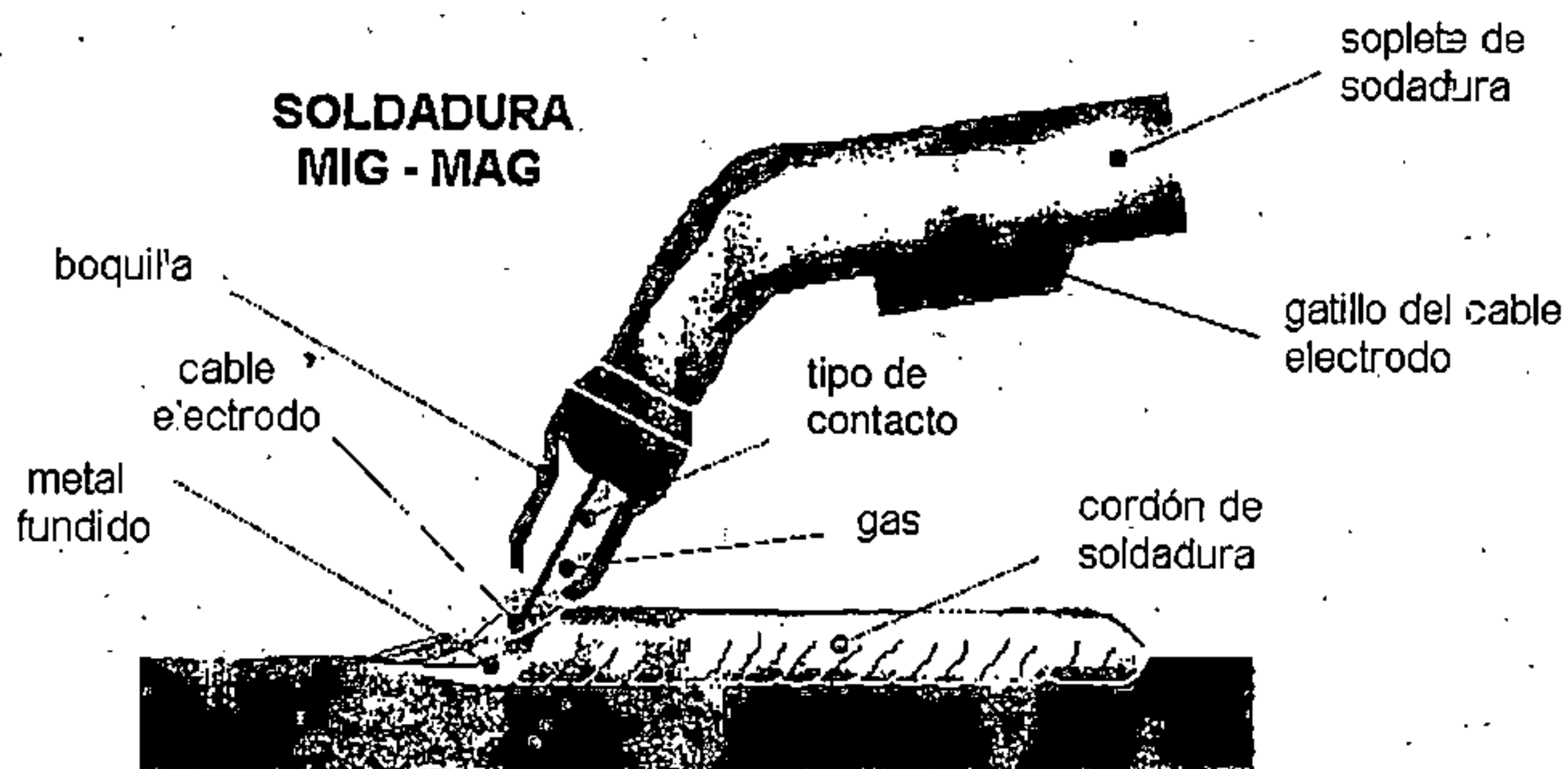


Figura 18: Soldadura MIG-MAG. Pistola de soldar.

El tipo de transferencia del alambre de aporte o cable electrodo a través del arco depende del valor de la corriente. A bajas corrientes, la transferencia se realiza por grandes glóbulos o gotas. Cuando la corriente aumenta, esas gotas se reducen progresivamente hasta que, a una determinada corriente, la transferencia se efectúa en finas gotitas o por pulverización (spray). La corriente depende del material y del diámetro del alambre.

Los componentes principales del equipo para el proceso MIG-MAG son:

- La máquina de soldar fuente de poder
- Motor para la alimentación de alambre y controles
- Pistola o ensamble de cables para soldadura semiautomática, la pistola para soldadura automática
- Suministro de gas protector y controles
- Alambres

Fuente de poder

La fuente de poder es de voltaje constante. Las fuentes de poder de voltaje constante no tienen control de amperaje y, por ello, no pueden ser empleadas para la soldadura manual con electrodos.

La corriente de soldeo es determinada por la carga. Normalmente se emplea, para este proceso, corriente continua de polaridad invertida. Los valores pueden estar entre 100 y 1500 amperios.

Alimentador de alambre

El sistema de alimentación está de acuerdo con el suministro de energía para voltaje constante. El sistema voltaje constante para soldar depende de la relación entre grado de combustión del alambre y corriente para soldar. Dicha relación es constante para un determinado diámetro, composición de alambre y gas empleado. A determinada velocidad de alimentación del alambre la máquina de soldar suministrará la cantidad apropiada de corriente para mantener el arco estable.

Pistola

La pistola y el conjunto de cables sirven para conducir el alambre, la corriente para soldar y el gas protector hasta el arco.

La guía de alambre se encuentra en el centro de la boquilla, y el canal de suministro del gas protector se encuentra en posición concéntrica con la guía del alambre.

La pistola debe mantenerse bastante cerca del trabajo, para controlar el arco apropiadamente y producir una eficiente protección a través del gas protector.

Las pistolas para trabajos de servicio pesado a corrientes altas y las pistolas que emplean gas inerte y corriente media hasta alta, requieren enfriamiento por agua. Las pistolas para la soldadura con alambres delgados no necesitan enfriamiento por agua.

Las pistolas pueden ser de diferente diseño: del tipo mango de pistola o del tipo cuello de ganso. El tipo cuello de ganso es muy usado para la soldadura con alambres finos y en todas las posiciones. El tipo mango de pistola se emplea generalmente con alambres más gruesos y en posición plana de soldar.

Para el caso de la soldadura totalmente automática, se monta la pistola directamente en el motor de avance del alambre. Las pistolas automáticas tienen enfriamiento por aire o por agua, dependiendo de su aplicación. En la soldadura MAG, con CO_2 , con frecuencia se emplea un sistema de suministro lateral de gas para las pistolas automáticas.

Gas protector

Este gas desplaza el aire alrededor del arco para evitar la contaminación del metal fundido con el aire ambiente. La capa de gas debe proteger el área del arco, y generar una zona neutra para obtener un cordón de soldadura de buena calidad.

Para la soldadura por arco metálico a gas, el gas protector es argón, helio o una mezcla para el caso de metales no ferrosos. Para los aceros se emplea CO_2 o CO_2 y argón; y a veces helio para aceros inoxidable, o argón, con pequeña cantidad de oxígeno, para aceros inoxidable.

La presión del gas a utilizar depende del tipo de gas empleado, del metal a soldar, de la posición de soldeo, de la velocidad de avance y del flujo de aire de la zona.

Alambre de aporte

La composición del alambre para soldadura por arco metálico a gas debe seleccionarse de acuerdo con el metal base y a la atmósfera MIG-MAG de protección de la zona de soldeo.

Los alambres están disponibles en gran variedad de diámetros y en carretes. Pueden tener un recubrimiento de cobre para evitar la corrosión.

8. SOLDADURA BLANDA Y SOLDADURA FUERTE

8.1 Soldadura blanda

La soldadura blanda está referida a materiales de bajo punto de fusión. Es así que se les puede encontrar en barras, rollos de alambres, polvos y otros.

Las aleaciones de plomo estaño (Pb Sn) forman parte principal de la soldadura blanda, donde la temperatura de fusión es menor de 400°C . El plomo-estaño también puede contener bismuto, cadmio o antimonio.

La soldadura de plomo-estaño (Pb-Sn) puede ser aplicada a los empalmes de los circuitos eléctricos, o también para sellar las tapas de pequeños intercambiadores de calor o radiadores, de panel. La soldadura es heterogénea, sobre todo, en los empalmes eléctricos, pues el metal base no funde, sólo funde el metal de aporte. Aquí el metal base son los empalmes eléctricos que no funden.

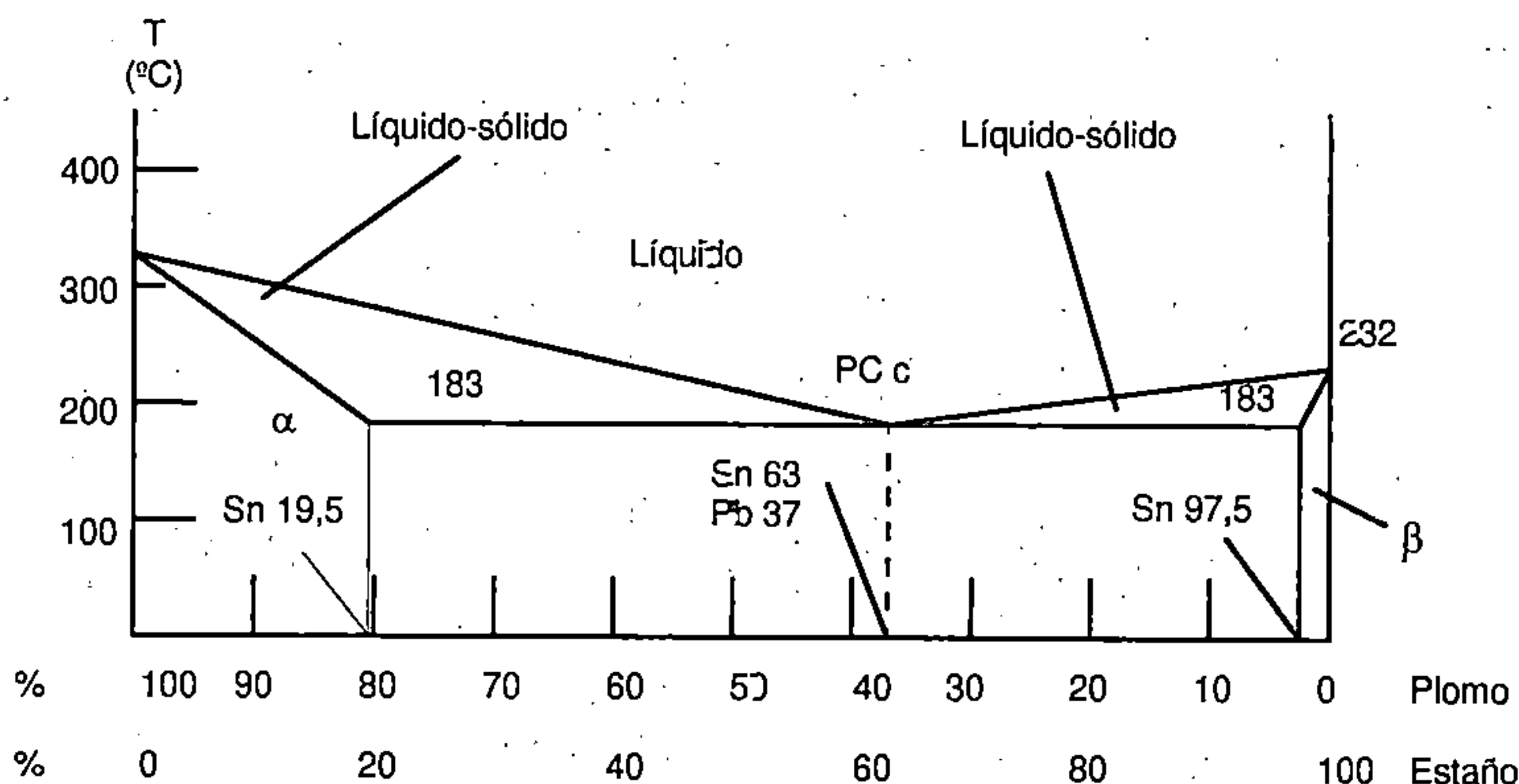


Figura 19. Diagrama de equilibrio plomo-estaño. El punto crítico PC_c es el punto eutéctico.

En el diagrama de equilibrio plomo-estaño de la figura 19 se observa el punto eutéctico PC_e . Este punto crítico se presenta a 183°C , donde el plomo y el estaño se funden juntos, y es una combinación ideal para el soldeo. La composición es 37% plomo y 65% estaño (Sn63 Pb37). El punto de fusión del plomo puro es 327°C , y del estaño es 232°C .

El fundente para este tipo de soldadura puede ser boro y agua (bórax), o grasas, cebo, estearina, o también ácidos a base de cloruro de zinc.

8.2 Soldadura fuerte. Soldadura de plata. Soldadura de cobre y aleaciones. Soldadura resistente al calor

Soldadura fuerte

La soldadura fuerte está referida a los materiales de alto punto de fusión, pero de preferencia metales no ferrosos. Así se puede mencionar la soldadura de plata ($650\text{--}870^\circ\text{C}$), latones y aleaciones de níquel-plata ($850\text{--}930^\circ\text{C}$), cobres y bronce ($870\text{--}1120^\circ\text{C}$), entre otros.

A continuación se describen algunos de los tipos de soldadura fuerte más usados, como: soldadura de plata, soldadura de cobre y aleaciones, y soldadura resistente al calor.

Soldadura de plata

El rango de temperatura de la soldadura de plata está entre 650°C y 870°C . Para soldar cobre o latón (Cu-Zn), se utiliza aleaciones de plata-cobre-fósforo. El fósforo actúa como fundente. Para soldar acero inoxidable y aleaciones de níquel, se utiliza aleaciones de plata-cobre-cadmio-zinc.

Soldadura de cobre y aleaciones

El punto de fusión del cobre puro es 1083°C . Esta soldadura puede servir para soldar aceros rápidos y pastillas carburadas en herramientas y útiles de corte. En la figura 20 se muestra un ejemplo de soldeo de una pastilla carburada.

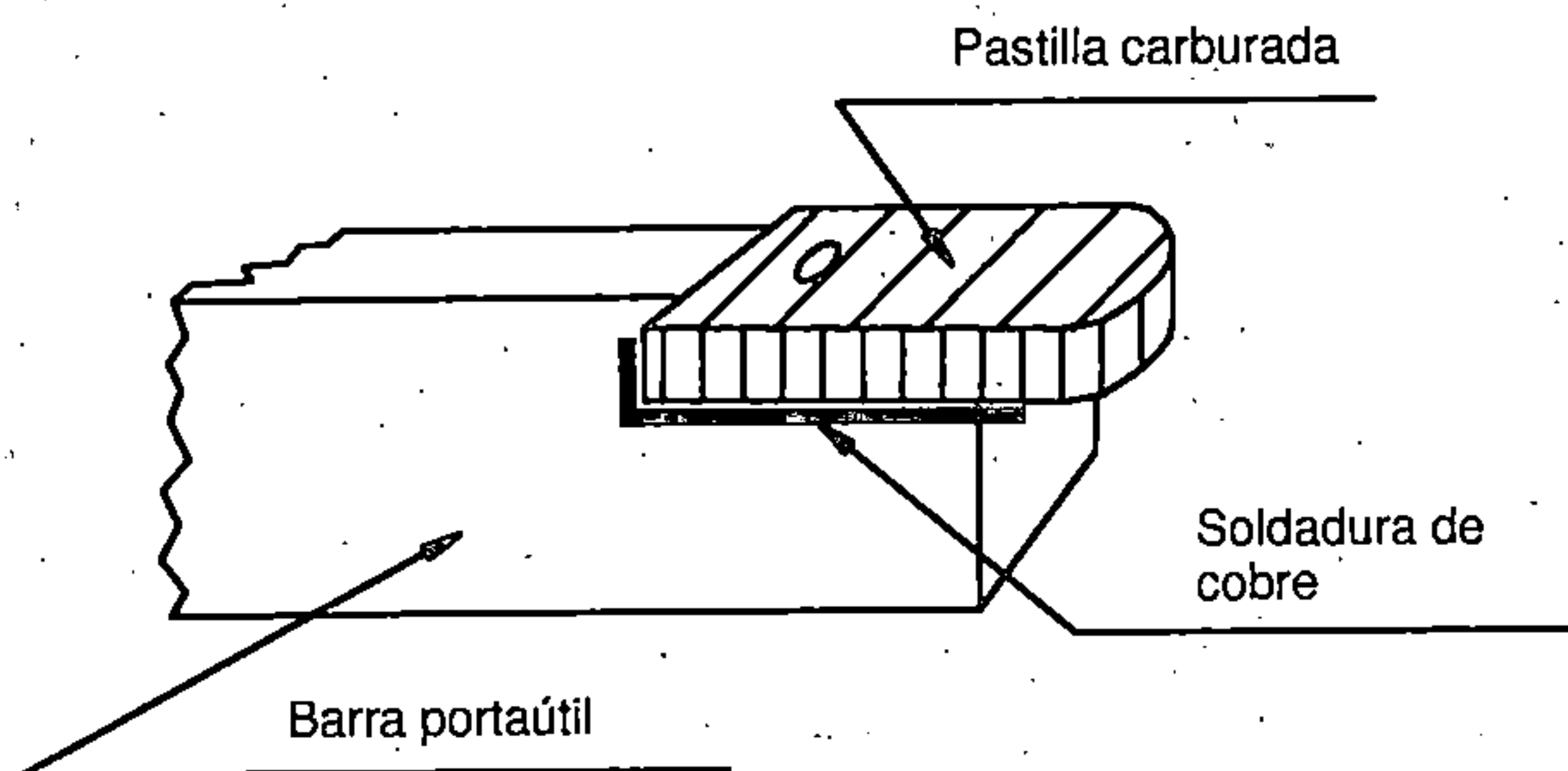


Figura 20. Pastilla de carburo unida con soldadura de cobre.

Las aleaciones de cobre-zinc-estaño, funden a 885°C y sirven para soldar hierro fundido, cobre o también acero.

Las aleaciones de fósforo-cobre tienen rangos de fusión entre 700°C y 930°C y sirven para soldar cobre, tungsteno o molibdeno.

Soldadura resistente al calor

La soldadura níquel-cromo llega a 1100°C, y sirve para unir aleaciones con elevado contenido de níquel, aceros al carbono y aceros inoxidable. La unión soldada es resistente al calor y a la corrosión.

La soldadura plata-manganeso está en el rango de fusión entre 970°C y 1150°C y sirve para unir acero inoxidable y aleaciones con elevado contenido de níquel.

9. PRECALENTAMIENTO DE LOS ACEROS EN SOLDADURA. CARBONO EQUIVALENTE

9.1 Precalentamiento de los aceros en soldadura

De acuerdo con el espesor y el tipo de material, es conveniente encontrar la temperatura de precalentamiento para garantizar que la unión soldada sea adecuada. Se mostrarán algunos valores de temperatura de precalentamiento tanto de los aceros al carbono como también en los aceros al manganeso o los aceros aleados al níquel y al níquel-cromo.

Cuando no se dispone de tablas, pero se conoce la composición del acero, entonces se puede utilizar el carbono equivalente. A continuación se presentan las tablas de precalentamiento para algunos aceros en soldadura.

Tabla 4. Precalentamiento de los aceros en soldadura.
Temperaturas de precalentamiento en grados centígrados.

Aceros al carbono

Composición, % por peso			Espesor de la pieza a soldar, en mm					
SAE	C	Mn	2,5	5	10	25	50	250
1030	0,28-0,34	0,60-0,90			70	180	220	250
1035	0,32-0,38	0,60-0,90			140	220	260	290
1040	0,37-0,44	0,60-0,90		130	240	290	320	330
1045	0,43-0,50	0,60-0,90	60	240	300	340	360	370
1050	0,48-0,55	0,60-0,90	170	290	330	360	380	390
1052	0,47-0,56	1,20-1,50	200	300	340	370	390	400
1055	0,50-0,60	0,60-0,90	240	320	350	380	400	410
1060	0,55-0,65	0,60-0,90	280	340	370	400	420	430
1065	0,60-0,70	0,60-0,90	320	370	400	430	440	450
1070	0,65-0,75	0,60-0,90	330	380	410	440	450	460
1080	0,75-0,88	0,60-0,90	380	420	450	470	480	490
1085	0,80-0,93	0,70-1,00	400	440	460	480	490	500
1090	0,85-0,98	0,60-0,90	410	450	470	490	500	510
1095	0,90-1,03	0,30-0,50	420	460	480	500	510	520

Aceros de maquinado fácil

Composición, % por peso				Espesor de la pieza a soldar, en mm					
SAE	C	Mn	S	2,5	5	10	25	50	250
1132	0,27-0,34	1,35-1,65	0,08-0,13			190	260	290	310
1137	0,32-0,39	1,35-1,65	0,08-0,13			140	220	260	290
1141	0,37-0,45	1,35-1,65	0,08-0,13		180	250	300	320	330

Aceros al manganeso (menos de 2% Mn)

Composición, % por peso				Espesor de la pieza a soldar, en mm					
SAE	C	Mn	Si	2,5	5	10	25	50	250
1320	0,18-0,23	1,6-1,9	0,20-0,35				150	210	240
1330	0,23-0,33	1,6-1,9	0,20-0,35			130	230	260	280
1335	0,33-0,38	1,6-1,9	0,20-0,35		100	180	270	290	300
1340	0,38-0,43	1,6-1,9	0,20-0,35		190	260	310	320	340

Aceros al níquel

Composición, % por peso					Espesor de la pieza a soldar, en mm					
SAE	C	Mn	Si	Ni	2,5	5	10	25	50	250
2317	0,15-0,20	0,40-0,60	0,20-0,35	3,25-3,75				140	200	230
2330	0,28-0,33	0,60-0,80	0,20-0,35	3,25-3,75			110	240	270	290
2340	0,38-0,43	0,70-0,90	0,20-0,35	3,25-3,75	60	230	290	330	350	360
2345	0,43-0,48	0,70-0,90	0,20-0,35	3,25-3,75	180	290	330	370	380	390
2515	0,12-0,17	0,40-0,60	0,20-0,35	4,75-5,25				160	220	240

Aceros al níquel-cromo

Composición, % por peso						Espesor de la pieza a soldar, en mm					
SAE	C	Mn	Si	Ni	Cr	2,5	5	10	25	50	250
3115	0,13-0,18	0,40-0,60	0,20-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75				160	220	240
3120	0,17-0,22	0,60-0,80	0,20-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75			100	220	250	270
3130	0,28-0,33	0,60-0,80	0,20-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75		70	200	270	290	310
3135	0,33-0,38	0,60-0,80	0,20-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75		180	260	310	330	340
3140	0,38-0,43	0,70-0,90	0,20-0,35	1,10-1,40	0,55-0,75	140	270	320	350	370	380
3141	0,43-0,48	0,70-0,90	0,20-0,35	1,10-1,40	0,70-0,90	150	280	330	360	380	390
3145	0,43-0,48	0,70-0,90	0,20-0,35	1,10-1,40	0,70-0,90	250	330	360	390	400	410
3150	0,48-0,53	0,70-0,90	0,20-0,35	1,10-1,40	0,70-0,90	300	360	390	420	430	440
3240	0,38-0,45	0,40-0,60	0,20-0,35	1,05-2,00	0,90-1,20	220	300	340	380	390	400
3310	0,08-0,13	0,45-0,60	0,20-0,35	3,25-3,75	1,40-1,75	150	280	320	360	370	380

9.2 Carbono equivalente

Cuando se conoce la composición del acero al carbono o del acero aleado, se puede determinar la temperatura de precalentamiento de la soldadura, calculando previamente el carbono equivalente (CE) y luego leyendo el ábaco adelante indicado, tomando el espesor mínimo de la unión a soldar.

Para aceros al carbono se tiene:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{4} + \frac{\%Si}{6}$$

Para aceros aleados se tiene:

$$CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Cu + \%Ni}{15}$$

Ejemplo del ábaco de la figura 21.

Se tiene un carbono equivalente de 0,30 para piezas a soldar de 40 milímetros de espesor. La temperatura de precalentamiento puede ser de 125°C aproximadamente.

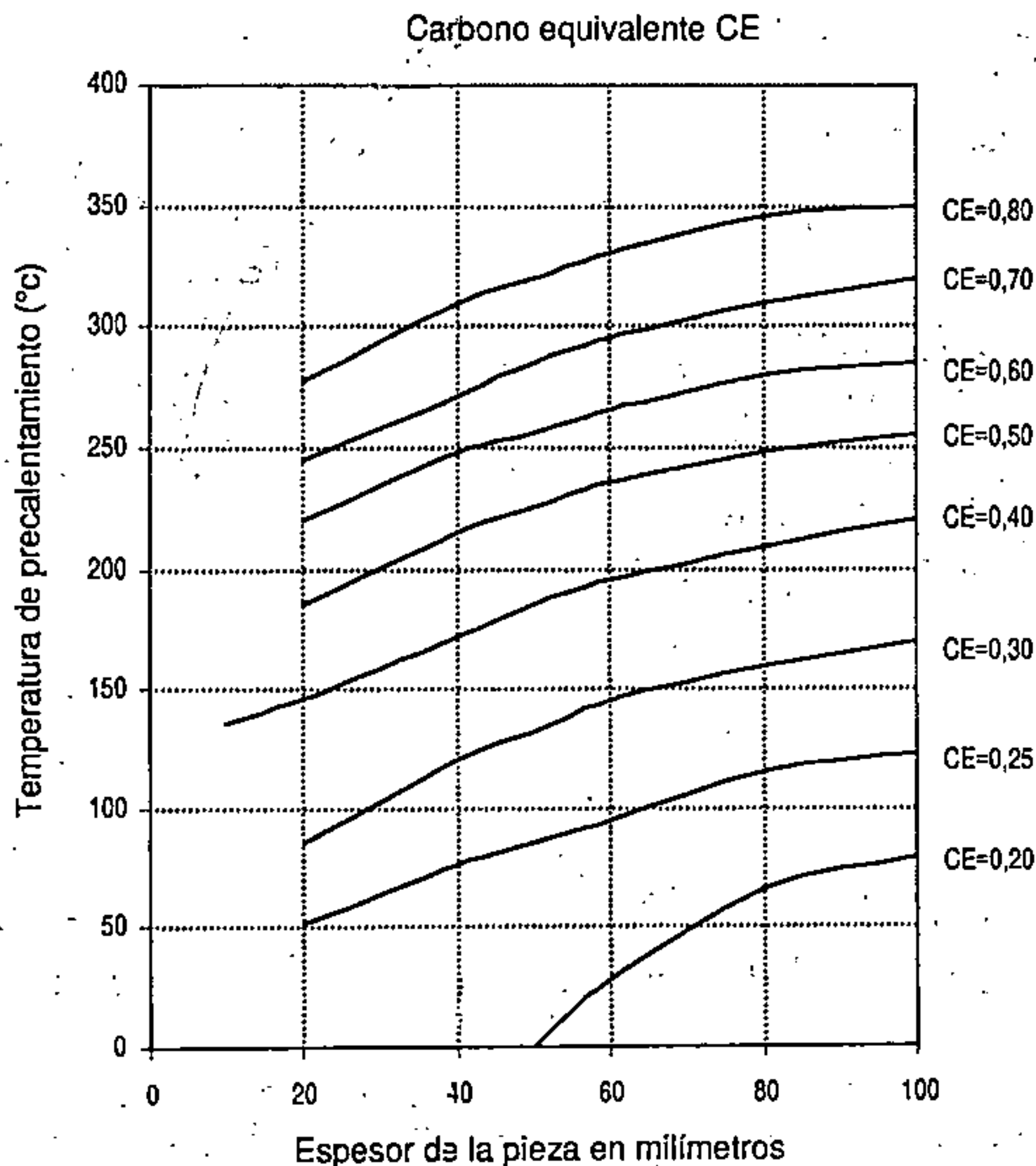


Figura 21. Ábaco de temperatura de precalentamiento, según el carbono equivalente y el espesor de la pieza de menor dimensión a soldar.

10. PROBLEMAS DE APLICACIÓN

Problema 1

¿Cuál de los siguientes procesos de soldadura usa un electrodo no consumible?

- a. MIG b. TIG c. MAG d. Oxiacetilénica e. N.A.

Respuesta:

La soldadura (Tungsten Inert Gas) usa como fundente protector el gas argón, y el electrodo es de tungsteno, no consumible.

Hay un material de aporte adicional para el llenado de la junta a soldar.

Alternativa b

Problema 2

- a. En el equipo de soldadura MIG-MAG (metal inert gas-metal activ gas)
- b. El fundente o revestimiento emite gases para lograr una capa neutra en la zona de soldeo
- c. El oxígeno permite realizar el corte, y el acetileno permite calentar la pieza.
- d. El revestimiento del electrodo puede ser una capa de cobre.
- e. No se requiere metal de aporte.
- f. El electrodo es no consumible y puede venir en diferentes calibres o diámetros.

Respuesta:

- a. En el soldeo MIG-MAG
- b. El fundente puede ser 80% argón (gas inerte) y 20% CO₂ (gas activo)
- c. No hay ni oxígeno ni acetileno
- d. El electrodo es un rollo de alambre de acero revestido en cobre.
- e. El electrodo es el material de aporte
- f. El electrodo se consume y viene en diferentes diámetros estándar

Alternativa c

Problema 3

Sobre los temas de soldadura:

- a. ¿Para qué sirve el revestimiento de un electrodo eléctrico? (dar cuatro razones o más)
- b. ¿Qué función cumple la escoria sobre el cordón de soldadura dejada por un electrodo revestido?
- c. ¿Es en el proceso de soldadura TIG o MIG/MAG donde el electrodo es consumible?
- d. Siendo la soldadura oxiacetilénica O₂ y C₂H₂, ¿cómo se logra cortar una pieza metálica de 10mm de espesor con este proceso?

Respuesta

- a. El revestimiento o recubrimiento de un electrodo eléctrico cumple las siguientes funciones:
 - Favorece la formación del arco eléctrico.
 - Emite gases, generando una zona inerte en el soldeo.
 - Controla la velocidad de fusión del electrodo.
 - Controla la profundidad de penetración del cordón de soldadura.
- b. La escoria remanente sobre el cordón de soldadura evita el enfriamiento brusco de dicha costura, además absorbe las impurezas, grasas, polvo de la zona.
- c. En la soldadura MIG/MAG el electrodo arrollado es consumible y en la soldadura TIG, el electrodo de tungsteno es no consumible.
- d. Primero se debe calentar la zona de corte con el soplete, en una proporción de O_2 y C_2H_2 de 0,9/1,0. Finalmente se inyecta 100% de O_2 a presión, para efectuar el corte.

Problema 4

El sistema AWS de electrodos recomienda para soldar el acero de bajo carbono de las rejillas metálicas de las casas, el electrodo E7018A1.

- a. Su resistencia a la tracción es 70000 PSI y es apropiado para la soldadura autógena.
- b. Es un electrodo cuyo recubrimiento sirve para exclusivamente hacerlo atractivo en el mercadeo.
- c. Es el apropiado para trabajar con la soldadura MIG y el gas argón.
- d. Su revestimiento deja una capa sobre el cordón de soldadura, para disminuir la velocidad de enfriamiento del mismo.
- e. Permite soldar con Argón, para lograr una zona neutra, y evitar la oxidación del cordón.

Respuesta:

El electrodo E7018A1:

- a. Tiene resistencia a la tracción 70 KPSI
- b. No es apropiado para soldeo autógeno
- c. El recubrimiento cumple funciones de soldeo
- d. Sólo es utilizado para soldeo por arco eléctrico
- e. El revestimiento deja una capa de escoria sobre el cordón de soldadura, para evitar el enfriamiento brusco de la zona.

(No se usa argón)

Alternativa d

Problema 5

Para que el cordón de soldadura de un metal base SAE 1020 tenga una buena resistencia mecánica, libre de tensiones internas, se debe:

- a. Soldar y enfriar rápidamente en agua o aceite.
- b. Lograr que el material de base y el material de aporte se fundan e integren en forma uniforme y que se garantice una zona de soldeo inerte o neutra.

- c. Soldar primero con soldadura eléctrica y luego soldadura autógena.
- d. Precalentar la zona de soldeo, soldar y finalmente dejar enfriar lentamente.
- e. Soldar primero soldadura autógena y luego con soldadura eléctrica.

Respuesta:

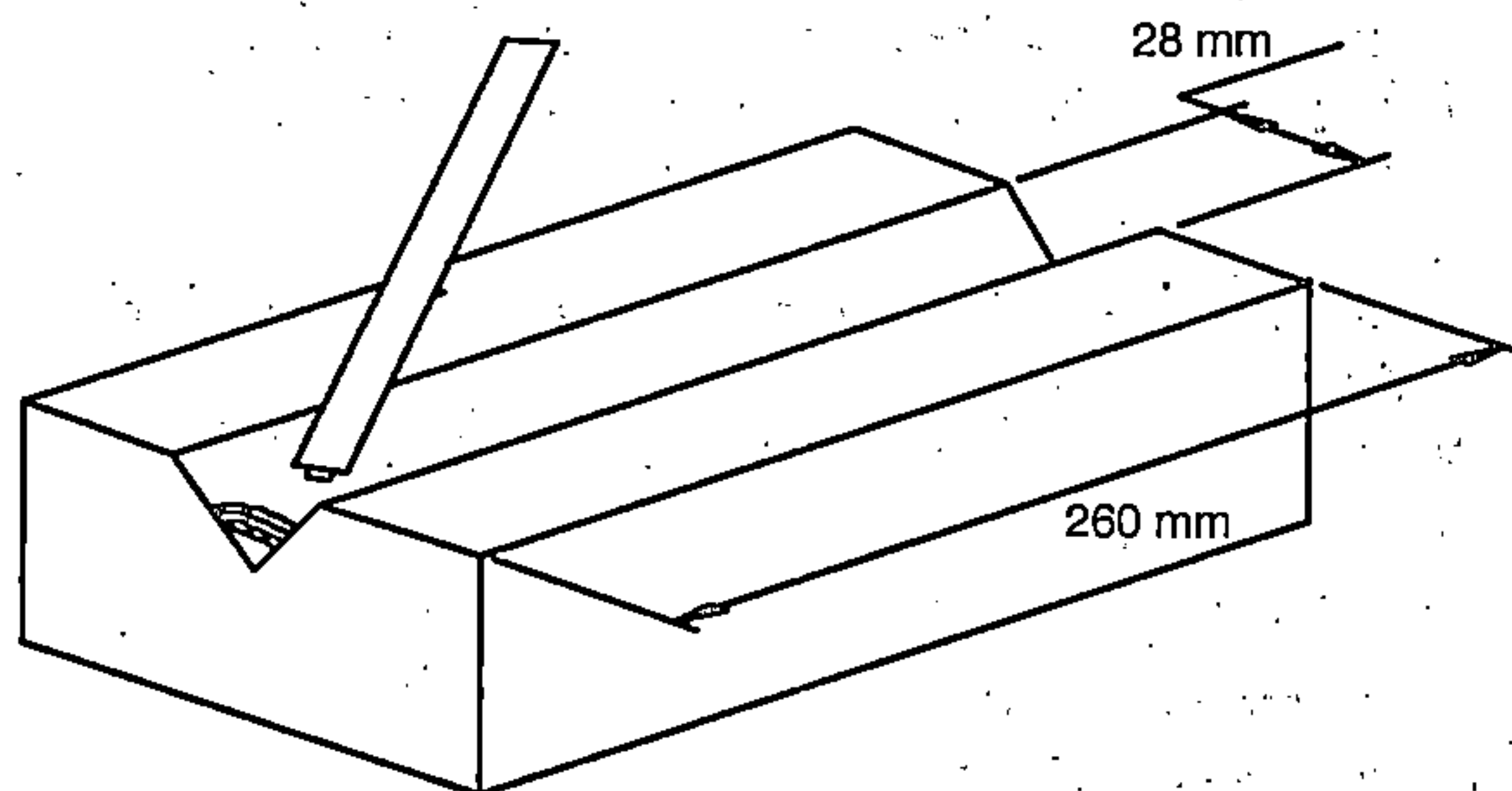
Alternativa d

Problema 6

La velocidad lineal de fusión de un electrodo E6024 de 6mm de diámetro y 14" de longitud es de 165mm por minuto. Los electrodos se consumen hasta en un 90% de su longitud total. Si el soldador ejecuta un cordón de soldadura con el electrodo a una velocidad lineal de 250mm por minuto. Notemos que el canal en V (90°, junta de soldeo) necesita de varias pasadas para ser rellenada totalmente (veáse figura).

Determinar la sección transversal del cordón de soldadura depositado por pasada (mm²).

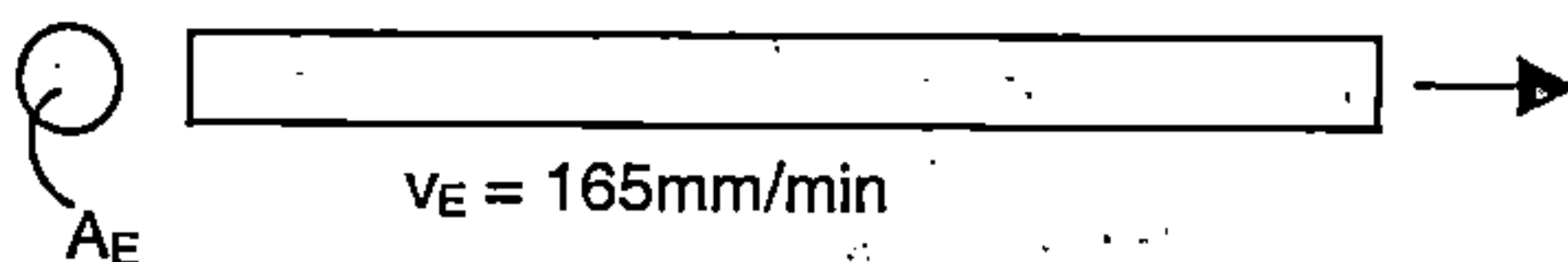
Calcular el número necesario de varillas que permite rellenar totalmente el canal en V.



Respuesta:

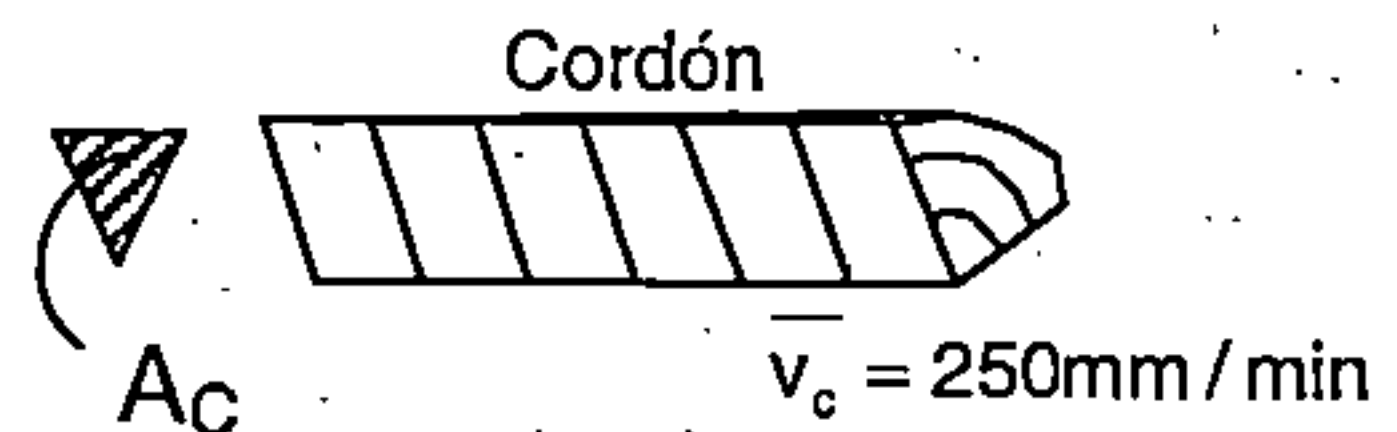
Electrodo $d = 6\text{mm } \phi$

$$L_E = 14'' = 355,6\text{mm}$$



$$v_E = 165\text{mm/min}$$

$$A_E = \frac{\pi(6)^2}{4} = 28,27\text{mm}^2$$



$$\bar{v}_c = 250\text{mm/min}$$

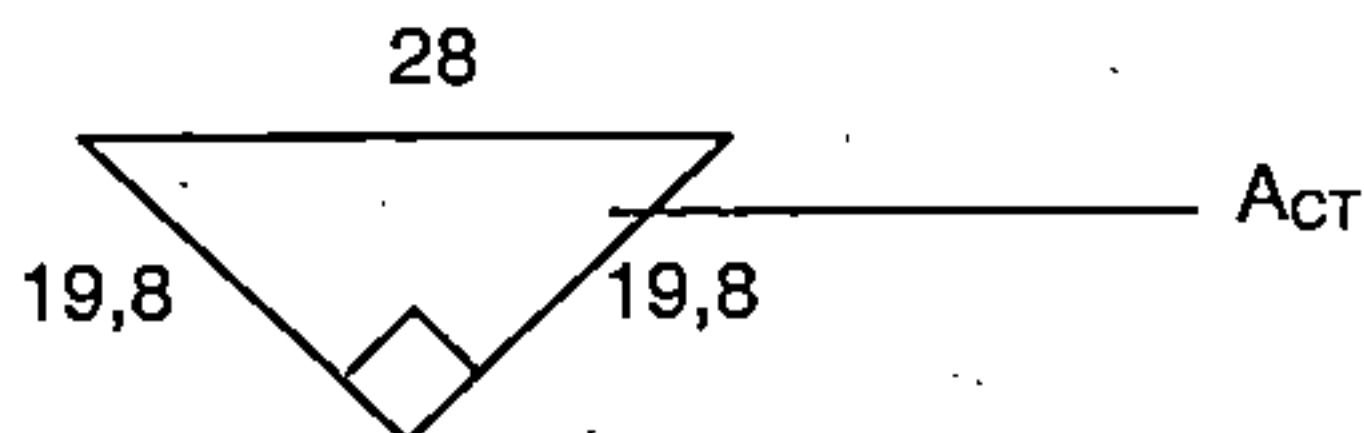
- a. Por continuidad de caudales, se halla el área del cordón.

$$Q = A_E \cdot v_E = A_C \cdot v_C, \text{ luego : } \underline{A_C = 18,7\text{mm}^2}$$

b. El volumen del canal es:

$$V_{CT} = \frac{19,8(19,8)}{2} 260 = 50,960 \text{ mm}^3$$

50 960.2



c. El volumen útil de cada electrodo es:

$$V_E = A_E \cdot L_E \cdot 0,90 = 9047,5 \text{ mm}^3$$

El número de varillas es:

$$NV = \frac{V_{CT}}{V_E} = 5,6$$

Considerar 6 varillas E6024

Problema 7

En la soldadura autógena, los balones de oxígeno (verde) y acetileno (rojo) generalmente vienen cargados con presiones aproximadas del orden de:

- 4bar y 4bar
- 2500PSI y 200PSI
- 100PSI y 20PS
- 30000PSI y 80000PSI
- 10bar y 200bar respectivamente.

Respuesta:

Alternativa b

Problema 8

Con la soldadura MIG-MAG (Metal Inert Gas-Metal Active Gas) una de las funciones importantes de los gases protectores CO₂-argón, por ejemplo en una mezcla de 80% de argón y 20% de CO₂, es:

- Dar un buen acabado del cordón de soldadura de la misma calidad que por arco eléctrico.
- Dejar el cordón de soldadura sin escoria, y que se enfríe súbitamente.
- Proteger la zona de soldeo del medio ambiente y evitar posible contaminación de la misma.
- Mezclarse con el metal de aporte para formar el cordón, quedando el gas dentro del cordón.
- No puede haber proporción de 20% argón y 80% CO.

Respuesta:

Alternativa c

Problema 9

La velocidad lineal de fusión de un electrodo E6024 de $\frac{1}{4}$ pulg. de diámetro y 14 pulgadas de longitud es de 8,5 pulgadas por minuto. Si el soldador realiza un cordón de soldadura a una velocidad lineal de 10 pulg/min; la sección transversal del cordón de soldadura depositado es en pulgadas cuadradas (**pulg²**):

- a) 0,8 b) 0,042 c) 0,021 d) 0,025 e) 0,5

Respuesta:

El área del cordón es aproximadamente 0,042 pulg²

Alternativa b

Problema 10

Se debe unir por soldadura, dos planchas de acero de 0,25 pulgadas de espesor, mediante una junta a tope, con una separación entre planchas de 0,25 pulgadas. Para la operación se ha previsto utilizar electrodos E6024 de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro y 14 pulgadas de longitud, de las cuales se pierden 2 pulgadas por colilla.(sujeción del portaelectrodo). Considerando que la velocidad lineal de fusión del electrodo es de 6,5 pulgadas por minuto y que se ha observado que el soldador ejecuta el cordón a una velocidad lineal de 10 pulgadas por minuto, entonces:

- La sección transversal del cordón depositado, en pulg² es 0,032 y el electrodo tiene igual resistencia que E7024
- El volumen de metal de aporte depositado, en pulg³ por minuto, es 0,319, y el recubrimiento del electrodo dejará una capa de escoria sobre el cordón que absorbe las impurezas del soldeo
- Para una longitud de cordón de 1 metro, el número de electrodos requeridos es 2, y la sección del cordón es 0,016 pulg²
- El volumen de metal de aporte es 0,638 pulg³/minuto
- N.A.

Respuesta

Alternativa b

Bibliografía

- APPOLD, Hans; FEILER, Kurt;
REINHARD Alfred y Paul SCHMIDT
1992 *Tecnología de los metales*. España: Editorial Reverté, S.A.
- AZEVEDO NETTO, J.M. y
DE ACOSTA ÁLVAREZ, Guillermo
1987 *Manual de hidráulica*. México: Harla-Harper & Row.
- CARY, Howard
1992 *Manual de soldadura moderna*. México: Prentice Hall.
- CHEREQUE M., Wendor
1987 *Mecánica de fluidos*. Lima: Studium.
- CHIAVERINI, Vicente
1994 *Aceros y fundiciones de hierro*. São Paulo: Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero.
- DOOLITTLE, Jesse Seymour
1962 *Laboratorio de ingeniería mecánica*. Editorial Hispano Americana S.A.
- DUBOX, Eduardo J. De.
1974 *Prácticas de metalografía*. Argentina: Marymar.
- FEIRER, John L.
1992 *Maquinado de metales con máquinas herramientas*. México: Compañía Editorial Continental, S.A.
- FESCHENKO, V. y MAJMUTOV, R.
1989 *El torneado*. Moscú: Editorial Mir.
- GERLING, Heinrich
1979 *Medición de longitudes*. México: Editorial Reverté S.A.
- 1997 *Alrededor de las máquinas herramientas*. México: Editorial Reverté, S.A.

- GRAVES, Richard y
H. WRIGHTON
1974 *Metalografía microscópica práctica.* España: Editorial URMO.
- KING, Horace; WISLER, Chester
y James WOODBURN
1988 *Hidráulica.* México: Editorial Trillas S.A.
- KOLACHEV; GABIDULLING; FIGUSOV
1983 *Tecnología de tratamiento térmico de metales y aleaciones no férreas.*
Moscú: Editorial Mir.
- KRAR, Steve F.; OSWALD, J.W. y
J.E.St. AMAND
1990 *Operación de máquinas herramientas.* México: McGraw-Hill.
- LAS HERAS, José y
SÁNCHEZ-MARÍN, José
1974 *Tecnología de los materiales industriales.* Barcelona: Ediciones CEDEL.
- LLEUREUX, G.E.
1968 *Soldadura por resistencia.* Barcelona: Hispano Europea.
- LOVE, Carl
1991 *Soldadura, procedimientos y aplicaciones.* México: Diana.
- MARKS, Lionel S.
1995 *Manual del ingeniero mecánico.* 3a. ed. México: McGraw-Hill.
- NADREAU, Robert
1984 *El torno y la fresadora.* México: Gustavo Gili.
- OERLIKON
1998 *Manual de soldadura.* Lima: Explosivos S.A. División Soldaduras
Oerlikon.
- POLLACK, Herman W.
1982 *Máquinas, herramientas y manejo de materiales.* Englewood Cliffs, N.J.:
Editorial Prentice-Hall.
- RIVAS ARIAS, José María
1983 *Soldadura eléctrica y sistemas TIG y MAG.* Madrid: Paraninfo.
- ROSSI, Mario
1971 *Máquinas herramientas modernas, mandos hidráulicos, métodos de fa-
bricación, herramientas, tiempos de producción.* 7a. ed. revisada y am-
pliada. Barcelona: Científico Médica.
- ROUSE, Hunter
1951 *Hidráulica. Mecánica elemental de fluidos.* Buenos Aires: Editorial
Dossat.

Simbología

ABREVIATURAS Y UNIDADES

A Å	Angstrom ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 3.937 \times 10^{-11} \text{ pulg}$)
a	avance, longitudinal, transversal y en diagonal (rev/min, labios/min).
A Amp	ampere
AC CA c.a.	corriente alterna
ACI	American Concrete Institute
ACS	American Chemical Society
ACSR	<i>aluminum cable steel-reinforced</i>
AEC	Atomic Energy Commission (EE. UU.)
AFBMA	Anti-friction Bearings Manufacturer's Association
AGA	American Gas Association
AGMA	American Gear Manufacturer's Association
AIChE	American Institute of Chemical Engineers
AIEE	American Institute of Electrical Engineers
AIME	American Institute of Mining Engineers
AIP	American Institute of Physics
AISC	American Institute of Steel Construction
AISE	American Iron & Steel Engineers
AISI	American Iron and Steel Institute
AMA	Automobile Manufacturer's Association
ANS	American Nuclear Society
ANSI	American National Standards Institute
Antilog	antilogaritmo
API	American Petroleum Institute
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASLE	American Society of Lubricating Engineers
ASM	American Society for Metals
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASST	American Society for Steel Treating
ASTM	American Society for Testing Materials
Atm	atmósfera
AWG	American Wire Gage
AWPA	American Wood Preservation Association
AWS	American Welding Society
AWWA	American Water Works Association
bar	presión en bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$)
b.c.c. BBC	<i>body centered cubic</i>

BHN HB	Dureza Brinnell (<i>Brinnell Hardness Number</i>)
bhp BHP	potencia al freno (<i>brake horsepower</i>)
b MEP BMEP	presión media efectiva al freno (<i>brake mean effective pressure</i>)
BSI	British Standards Institute
Btu BTU	unidad térmica británica (<i>British thermal unit</i> 1 BTU = 1.054 kJ)
Btu/h	Btu por hora
Bu weaps	Bureau of Weapons, U.S. Navy
BWG	Birmingham Wire Gage
cte	constante
cos	coseno
$\cos^{-1}$	arco coseno, coseno inverso
cosh	coseno hiperbólico
$\cosh^{-1}$	coseno hiperbólico inverso
cot	cotangente
c	velocidad de la luz
$^{\circ}\text{C}$	grados Celsius (centígrados)
C	Coulomb
c.a AC CA	corriente alterna
CAB	Civil Aeronautics Board
CAGI	Compressed Air & Gas Institute
cal	calorías
CBS	Columbia Broadcasting System
c.c. CC	corriente continua
cm^3 , CC	centímetros cúbicos
CFR	Cooperative Fuel Research
cgs	centímetro-gramo-segundo
cm	centímetros
CN NC	número de cetano (<i>cetane number</i>)
COESA	U.S. Committee on Extension to the Standard Atmosphere
colog	cologaritmo
$\cot^{-1}$	arco cotangente
coth	cotangente hiperbólico
$\coth^{-1}$	cotangente hiperbólico inverso
covers	coseno verso
CP c.p.	centro de presión
cpm, ciclos/min	ciclos por minuto
Cps ciclos/s	ciclos por segundo
CSA	Canadian Standards Association
csc	cosecante
$\csc^{-1}$	arco cosecante
csch	cosecante hiperbólica
csch^{-1}	cosecante hiperbólica inversa
db, dB	decibel
DE De de	diámetro exterior

Den.rel.p	densidad relativa
D d	diámetro
DI Di di	diámetro interior
DIN	Deutsche Internationale Norm (Das ist Norm)
DN D _N d _N	diámetro nominal
D ₂ O	deuterio (agua pesada)
Dist. dist	distancia
e	base de logaritmo neperiano ($e = 2.7182..$)
EEI	Institute of Electrical & Electronics Engineers
G	centro de gravedad
HR	humedad relativa
H _z	Hertz, ciclos por segundo
IES	Illuminating Engineering Society
IGT	Institute of Gas Technology
Imp pmi	presión media indicada (<i>indicated mean pressure</i>)
ImechE	Institute of Mechanical Engineers
Imp pmi	presión media indicada (<i>indicated mean pressure</i>)
imep pmie	presión media efectiva indicada (<i>indicated mean effective pressure</i>)
INA	Institute of Naval Architects
ISO	International System Organization for Standarization
ISTM	International Society for Testing Materials
J	Joule
k	coeficiente de conductividad
K	grados kelvin
kB	kilo Btu (1000 Btu)
k γ	exponente isentrópico
kg	kilogramos
kg.cal	kilogramo-calorías
kg.m	kilogramo-metros
kIb	1000 lb o 1 kilo-libra (<i>kilo-pound</i>)
kJ	kilojoule
km	kilómetros
knts	nudos (knots) millas/hora
kVA	kilovolt-amperes
kW	kilowatts
kWh	kilowatt-horas
lt	litros
£	símbolo de Laplace
lb, £	libras
lb/pulg ² PSI	libras por pulgada cuadrada
lb/pulg ² abs.	libras por pulgada cuadrada absoluta
lb/pulg ² man.	libras por pulgada cuadrada manométrica
lim	límite
ln	logaritmo neperiano ($\ln = \log_e$)
log	logaritmo común o natural ($\log = \log_{10}$)
lm/W	lumens por watt

lux	lux
lum	lumen
m	metros; masa
m	flujo de masa
M	número de Mach; masa
MA, mAmp	miliamperes
máx	máximo
MBtuh	miles de Btu por hora
meV	millón de electrón-volts
mi	milla
min	minutos
mín	mínimo
MKS	sistema metro-kilogramo-segundo
mlt	mililitro
mm	milímetros
MC	mantenimiento correctivo
mm/rev	milímetro por revolución
MP	mantenimiento preventivo
mph mi/h	millas por hora
ms mseg	milisegundos
MSS	Manufacturers Standardization Society of the Valve & Fittings Industry
MW	megawatts
<i>n</i>	exponente politrópico, velocidad angular, cantidad entera
N, RPM	velocidad angular, (rpm) cantidad entera, número entero
NACM	National Association of Chain Manufacturers
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBC	National Broadcasting Company
NBFU	National Board of Fire Underwriters
NBS	National Bureau of Standards
NC CN	número de cetano (<i>cetane number</i>)
NEC	National Electrical Code
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
NFPA	National Fire Protection Association
NLGI	National Lubricating Grease Institute
NO ON Oct	número de octano (<i>octane number</i>)
NPSH, Hs	altura neta positiva de succión (<i>net positive suction head</i>)
Oct ON NO	número de octano (<i>octane number</i>)
OSHA	Occupational Safety & Health Administration
OSW	Office of Saline Water
OTS	Office of Technical Services
oz	onzas

p P	presión
Pa	pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$)
p_{abs}	presión absoluta
p_c	paso circular
PC	punto crítico
P_d P_D	paso diametral
PFI	Pipe Fabrication Institute
pie^3/h	pies cúbicos por hora
pie^3/min	pies cúbicos por minuto
pie^3/s	pies cúbicos por segundo
pie/min ppm	pies por minuto
pie/s pps	pies por segundo
pie-lb	pies-libras
pmi imep	presión media efectiva indicada (<i>indicated mean effective pressure</i>)
ppm	partes por millón
PSI	poundal square inch (lb/pulg^2)
pt	pinta
pulg	pulgadas
pulg-lb	pulgadas-libras
pulg/min	pulgadas por minuto
pulg/rev	pulgadas por revolución
P_v p_v	presión de velocidad
PVC	policloruro de vinilo (<i>polyvinyl chloride</i>)
r	roentgens
R	constante de los gases
R	grados Rankine
Re	número de Reynolds
rad	radio; dosis de radiación absorbida; radián
Rev rev	revoluciones
RMA	Rubber Manufacturers Association
RPM rpm	revoluciones por minuto ($1 \text{ RPM} = 1 \text{ Rev}/\text{min}$)
s	entropía
s	segundos
S	azufre
SAE	Society of Automotive Engineers
sat	saturado
SBI	Steel Boiler Institute
sec	secante
sec^{-1} arcsec	arco secante
sech	secante hiperbólica
sech^{-1}	secante hiperbólica inversa
sen	seno de
sen^{-1} arcsen	arco seno
senh	seno hiperbólico
senh^{-1}	seno hiperbólico inverso
shp SHP	caballos de potencia en el eje (<i>shaft horsepower</i>)
SI	Sistema Internacional de Unidades

SME	Society of Manufacturing Engineers
SNA & ME	Society of Naval Architects and Marine Engineers
sr	estereorradián (<i>steradian</i>)
SSF	segundos Saybolt Furol
SSU SUS	segundos Saybolt Universal
SWG	calibre estándar de alambre británico (<i>standard wire gage</i>)
T t	temperatura
t	tiempo
tan	tangente
tan ⁻¹	arco tangente
tanh	tangente hiperbólica
tanh ⁻¹	tangente hiperbólica inversa
TEL, TEP	tetraetilo de plomo (<i>tetraethyl lead</i>)
temp	temperatura
torr, Torr	1 Torr = 1 mmHg = 1.332 milibars = (1/760)atm = (0.01325/760)dinas por cm ²
TPN	temperatura y presión normales (17°C, 1 bar)
tph	toneladas por hora
UHF	ultraalta frecuencia (<i>ultra high frequency</i>)
UL	Underwriters Laboratorie
UMS	estándares universales de mantenimiento (<i>universal maintenance standards</i>)
USAF	US Air Force
USCG	US Coast Guard
USCS	US Commercial Standard
USDA	US Department of Agriculture
USFPL	US Forest Products Laboratory
USGS	US Geologic Survey
USHEW	US Department of Health, Education & Welfare
USN	US Navy
USPHS	US Public Health Service
USS	United States Standard
USSG	US Standard Gage
UTC	Coordinated Universal Time
V	voltios, volumen
VCF	factor de confort visual (<i>visual comfort factor</i>)
VCI	índice de confort visual (<i>visual comfort index</i>)
VDI	Verein Dutscher Ingenieure
vel v	velocidad
v _c	velocidad de corte (m/min)
V _L	velocidad lineal de avance (mm/min)
vert	vertical
VHF	muy alta frecuencia (<i>very high frequency</i>)
VIP	voltaje inverso pico
vol V	volumen
W	watt

Wb	weber
W&M	calibre de alambre Washburn & Moen
WHO	World Health Organization
WPA	Western Pine Association
yd	yardas
Z	número entero
z	número de dientes o labios
Δm	diferencia de masa
μC	microcurie
σ, s	constante de Boltzmann
μ	micra ($1\mu=10^{-6}$)
μm	micrometro ($1\text{ micra} = 10^{-6}\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$)
Ω	ohm

SIGNOS Y SÍMBOLOS MATEMÁTICOS

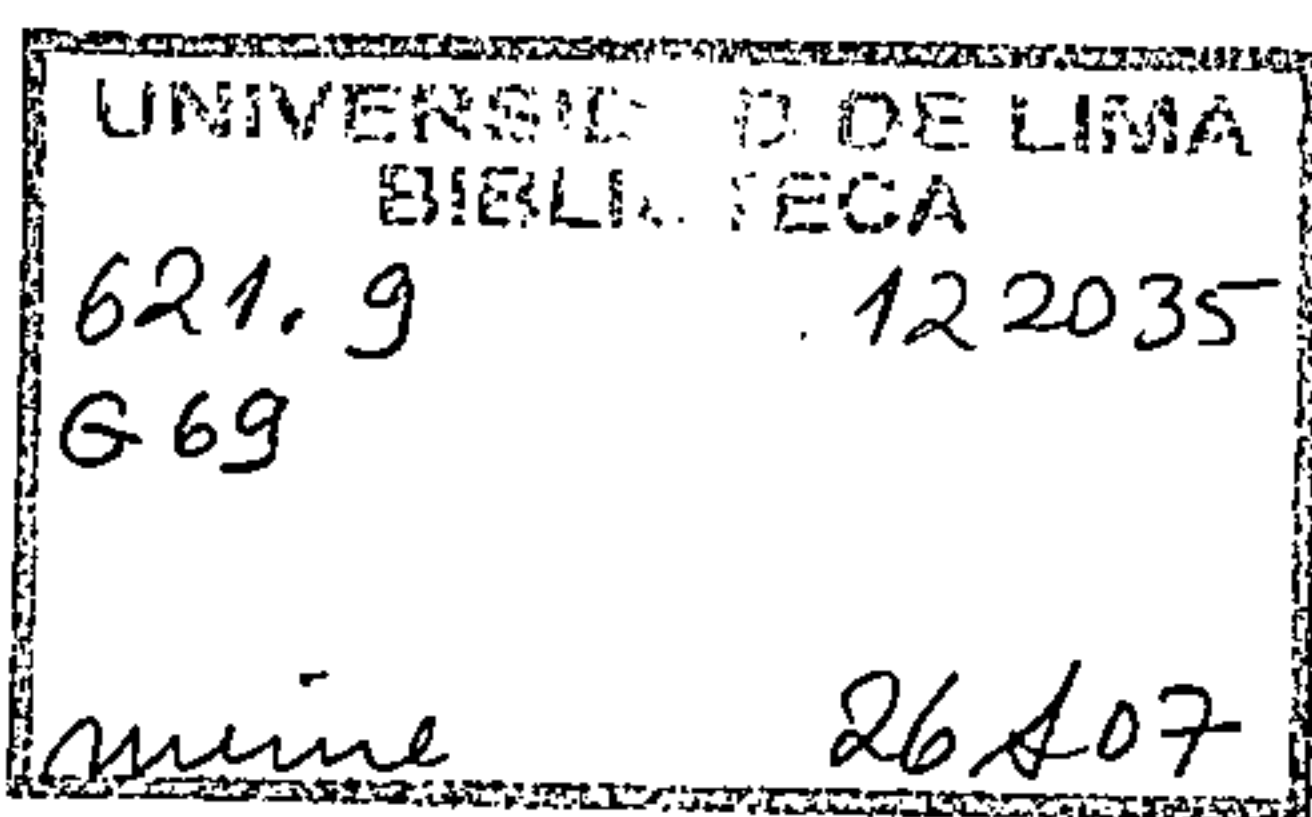
+	más (signo de adición)
+	positivo
-	menos (signo de sustracción) negativo
$\pm$	más o menos
$\times$	por (signo de multiplicación)
.	multiplicado por
$\div$	signo de división
/	dividido entre
:	signo de razón dividido entre, es a
::	igual como (proporción)
<	menor que
>	mayor que
<<	mucho menor que
>>	mucho mayor que
=	igual a
$\equiv$	idéntico a
$\sim$	semejante a
$\approx$	aproximadamente igual a
$\cong$	aproximadamente igual a, congruente
$\leq$	igual a o menor que
$\geq$	igual a o mayor que
$\neq$	no igual a
$\rightarrow$	tiende a
∞	infinito
$\sqrt{\quad}$	raíz cuadrada de

$\sqrt[3]{}$	raíz cúbica de
$\therefore$	por lo tanto
$\parallel$	paralelo a
$()[]\{\}$	paréntesis, corchetes y llaves; las cantidades encerradas entre ellas se deben tomar en conjunto al multiplicar, dividir, etc.
$\overline{AB}$	longitud de la recta de A a B
π	pi, = 3,14159
$^{\circ}$	grados
$'$	minutos
$''$	segundos
$\angle$	ángulo
dx	diferencial de x
Δ	(delta) diferencia
Δx	incremento de
$\partial u / \partial x$	derivada parcial de u con respecto a "x"
$\int$	Integral
$\int_a^b$	integral, entre los límites a y b
$\oint$	integral de línea alrededor de una trayectoria cerrada
Σ	(sigma) suma de
$f(x), F(x)$	funciones de x
$\exp(x) = e^x$	[e = 2.71828 ^x logaritmos de base natural, o neperianos]
∇	del o nabra, operador vectorial diferencial
∇^2	operador laplaciano
$4!$	factorial de 4 = 1 x 2 x 3 x 4
$ x $	valor absoluto de x
x'	primera derivada de x con respecto al tiempo
x''	segunda derivada de x con respecto al tiempo
$A \times B$	producto vectorial; magnitud de A por la magnitud de B por el seno del ángulo desde A hasta B; $AB \sin A B$
$A \cdot B$	producto escalar; magnitud de A por la magnitud de B por el coseno del ángulo desde A hasta B; $AB \cos AB$

SUBÍNDICES

abs	absoluta
atm	atmósfera
T,t	total
L,l	longitudinal
1,2, ...	entrada, salida, o puntos de referencia
i, l	interior

e, E	exterior
m, M	medio
p, P	paso
c	circular
c	entectoide
s	eutéctico
d, D	diametral
a, A	absoluto (a)



Este libro se terminó de imprimir en marzo del 2004
en el Departamento de Impresiones
de la Universidad de Lima