HERRAMIENTAS
MÁQUINAS
TRABAJO

Walter Bartsch

WALTER BARTSCH

Director de Escuela del Trabajo Krefeld

HERRAMIENTAS MÁQUINAS TRABAJO

FRESADO
TALADRADO
CEPILLADO
MORTAJADO
BROCHADO
ESMERILADO

con ejemplos
y ejercicios

Facultad de Ingeniería Química
BIBLIOTECA
No de Ingreso 004612
Fecha -6 ENE. 1983
Signatura 621.9 B23 c.2

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.
Barcelona - Bogotá - Buenos Aires - Caracas - México - Río de Janeiro

Título de la obra original
Werkzeuge - Maschinen - Arbeiten

Publicada por
Georg Westermann Verlag, Braunschweig

Versión española por
Carlos Sáenz de Magarola, Ingeniero Industrial

Propiedad de EDITORIAL REVERTÉ, S. A. Encarnación, 86. Barcelona (24)

Reservados todos los derechos. Ninguna parte del material cubierto por este título de propiedad literaria puede ser reproducida, almacenada en un sistema de informática o transmitida de cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros métodos sin el previo y expreso permiso por escrito del editor.

Edición en español
© *EDITORIAL REVERTÉ, S. A., 1978*
Impreso en España Printed in Spain
ISBN - 84 - 291 - 6021 - 3

Dep. Leg. B. 8206 - 1978
LITOCLUB - Nápoles, 300 - Barcelona

PRÓLOGO

Quien haya de trabajar diariamente con máquinas-herramientas habrá de plantearse cuestiones continuamente y de resolver problemas relativos a la herramienta, a la máquina o al trabajo. Ahora bien, si se dispone de un libro que pueda aconsejar y facilitar una rápida orientación, el trabajo resultará muy simplificado. En el libro que presentamos se encuentra la contestación a las cuestiones que puedan surgir.

Las máquinas-herramientas modernas exigen para su racional utilización en la explotación un manejo seguro y profundos conocimientos técnicos. Una preparación por buena que sea no es suficiente. Un trabajo seguro presupone un conocimiento seguro y esto es lo que ofrece precisamente este libro.

La explotación económica de las máquinas-herramientas que trabajan con arranque de viruta exige un profundo conocimiento de las modernas teorías del arranque de viruta. Estos fundamentos expuestos en forma simplificada y útil para la práctica se exponen en la primera parte de la obra. Los distintos procedimientos de trabajo (fresado, taladrado, cepillado, mortajado, brochado, esmerilado), están estructurados de tal modo que se trata en primer lugar de las máquinas, después de las herramientas y los dispositivos de sujeción y finalmente del trabajo y de los cálculos correspondientes. El torneado aparte de las cuestiones generales que le pueden afectar no se trata en este libro. [1]

En el último capítulo se ofrece un resumen sobre los modernos medios de mando y regulación de máquinas-herramientas.

Los ejercicios contenidos en el libro sirven para mejor profundizar en la técnica de la materia de que en aquel momento se está tratando.

El libro se dirige no solamente a los especialistas que tratan siempre con máquinas-herramientas. Para él tendrá este libro la utilidad de un manual.

Quien quiera progresar más, a nivel de escuela de formación profesional, de escuela para adelantados o de cursillo para oficiales de primera o para maestros tiene que tener una buena instrucción sobre máquinas-herramientas. Este libro le servirá para conseguirla.

Walter Bartsch

---

[1] Remitimos al lector respecto a este trabajo del torneado a la obra de BARTSCH publicada por Editorial Reverté, S. A., «Alrededor del torno».

Observación para el lector

Las distintas materias tratadas en este libro se señalan mediante símbolos característicos. Esta especial forma de distribuir los temas, está patentado por la Editorial Georg Westermann en Alemania Federal (N.º 959276).

Para las materias tratadas en esta obra, se dan los tres siguientes símbolos:

para Herramientas

para Máquinas

para Trabajo

Origen de las figuras

Gebr. Boehringer GmbH, Göppingen: 140,3
Collet & Engelhard GmbH, Offenbach (Main): 129,6
Friedrich Deckel, München: 42,2 / 70,2
Ludwig Gack, Mühlacker/Württ.: 151,1
Greif-Werke GmbH, Hagen-Haspe: 169,4
Hahn & Kolb, Stuttgart: 128,1 / 129,5
Gebr. Heller GmbH, Nürtingen: 68,2 / 69,1 / 69,2
M. Hensoldt & Söhne AG, Wetzlar (Lahn): 125,1
Hessische Industriewerke GmbH, Düsseldorf: 109,1
Karl Klink, Niefern/Baden: 158,4 / 159,1 / 159,2 / 160,2 / 160,3
Friedrich Kopp, Neu-Ulm/Donau: 70,3
Ernst Leitz, Wetzlar: 198,1
Hans Liebherr, Kirchdorf/Iller: 95,1
Herbert Lindner, Berlin-Wittenau: 109,2 / 177,4
Montanwerke Walter AG, Tübingen: 44,3 / 44,4 / 44,5 / 44,6
C. Munthe K. G., Düsseldorf: 173,2
A. Nothhelfer & Söhne, Ravensburg/Württ.: 140,4
Dr.-Ing. Perthen GmbH, Hannover: 198,3
Foto-Rache, Braunschweig: 173,1
Reichle & Knoedler, Heilbronn (Neckar): 135,1
J. E. Reinecker GmbH, Einsingen b. Ulm (Donau): 174,3 / 175,1 / 175,3 / 176,2 / 177,1 / 178,2
Scharmann & Co, Rheydt (Rhld.): 124,1
Bernhard Steinel, Schwenningen/Neckar: 193,2
Wanderer-Werke AG, Haar b. München: 97,4 / 98,1 / 98,2
Adolf Waldrich, Coburg: 134,1
Peter Wolters GmbH & Co, Mettmann/Rhld.: 192,3
Westermann-Archiv: 10,2 / 20,2 / 20,3 / 174,1 / 174,2 / 177,2 / 218,4

ÍNDICE ANALÍTICO

Fundamentos del mecanizado

		H	M	A
Máquinas herramientas: movimientos en las máquinas herramientas	9		●	
Formación de la viruta, clases de viruta	10			●
Formas de virutas	11			●
Índice volumétrico de virutas	12			●
Tamaño y sección transversal de las virutas	12			●
Influencia del ángulo de posición o colocación	13			●
Proceso de recalcado	13			●
Determinación del factor de recalcado	13			●
Proceso de cizallamiento o cortadura	15			●
Ángulo de cizallamiento y factor de recalcado	15			●
Velocidad de cizallamiento	15			●
Velocidad de corte	16			●
Tiempo de duración: Longitud de duración	17			●
Espesor del arco de viruta	18			●
Temperamento de corte: Medios de refrigeración y lubricación	19			●
Recrecimiento del filo (falsa cuchilla)	20			●
Esfuerzos de corte	21			●
Desgaste de la herramienta	23	●		
Materiales para las herramientas	23	●		
Metales duros	25	●		
Materiales cerámicos	26	●		
Diamante	26			
Determinación del tiempo de trabajo	27			●

Mecanizado mediante fresado

		H	M	A
Modo de trabajar durante el fresado	30			●
Fresado de rodadura o cilíndrico	30			●
Fresado frontal	31			●
Materiales para las fresas	32	●		
Constitución de los dientes de fresa	32	●		
Magnitud de los ángulos de corte	34	●		
Tipificación de las herramientas	35	●		
Acción de los esfuerzos sobre la fresa	35	●		
Máquinas fresadoras. — Clases	36		●	
Constitución de una fresadora sencilla horizontal (Fig. 36.1)	36		●	
Máquina fresadora universal	38		●	
Máquina fresadora vertical	38		●	
Máquina fresadora para planear o refrentar	38		●	
Máquina fresadora paralela	39		●	
Máquina fresadora para ranuras largas	39		●	
Máquina fresadora de palanca de mano	39		●	
Máquina fresadora de engranajes por percusión	39		●	
Dispositivos especiales de las máquinas fresadoras modernas	40		●	
Movimiento de la herramienta	40		●	
Movimiento de la pieza	41		●	
Fresado de superficies planas	43	●		
Fresas cilíndricas	43	●		
Fresas cilíndricas frontales	44	●		

Sujeción de la fresa 45
Principios generales para la sujeción de la fresa 48
Ranuras y tornillo de sujeción 49
Sujeción mediante tornillo de banco 49
Cálculo y ajuste de la profundidad de fresado 52

Fresado de ranuras, hendiduras y agujeros largos 54
Fresas en forma de disco para ranurar 55
Fresas cilíndricas para ranurar 56
Sujeción mediante planchas, bridas o gafas 57
Escuadra de sujeción 58
Mesa circular 59
Herramientas (sujeción, ajuste, modo de trabajar) 60
Velocidad de avance 62
Cálculo de la velocidad de avance partiendo de la potencia de la máquina (cantidad de virutas) 65

Fresado de superficies curvas 66
Fresa de forma 67
Fresas para estampa y matrices 67
Juegos de fresas 68
Máquinas para fresado copiador 68
Fresadora de dos husillos 69
Dispositivo electro-hidráulico para fresado copiador 69
Máquinas fresadoras para formas curvas 70
Máquinas grabadoras 70
Montajes 71
Cálculo del tiempo principal para el fresado 73
Determinación de los recorridos de arranque y de rebase 73
Fresado de forma 77
Fresado con juegos de fresas 77

Fresado por el procedimiento de división 80
Mecanismos divisores 81
Fresa para tallar perfiles de engranajes 83
Cálculo del giro fraccionario en el cabezal divisor 85
División diferencial 88
Fresas espirales o helicoidales 90
Cálculo de las ruedas de cambio 90
Velocidad de avance y tiempo principal de ranuras helicoidales 93

Fresado por el procedimiento de rodadura 94
Máquinas fresadoras de rodadura 95
Herramientas: Perfiles de referencia para herramientas de dentar 96

Fresado de roscas 97
Máquinas 97
Fresas para roscar 99
Tiempo principal para el fresado de roscas largas 100
Tiempo principal para el fresado de roscas cortas 102

Consumo de potencia y rendimiento en viruta de las fresadoras 103

Arranque de viruta por taladrado, barrenado y escariado

Arranque de viruta en taladradoras verticales 105
Barrenado, penetrado o avellanado: Escariado 106
Máquinas taladradoras o taladradoras simplemente 107
Herramienta de taladrar 109
Útiles de barrenar 112
Escariadores 113
Sujeción de los útiles de taladrar 114
Taladrado 115
Barrenado: Escariado 117
Trazado y graneteado 118
Velocidad de corte y número de revoluciones al taladrar 119
Consumo de potencia en la taladradora 121
Distancia entre agujeros al taladrar 123

Arranque de viruta con taladros horizontales 124
Taladradoras horizontales 124
Útiles para taladrar 126
Útiles para la ejecución de superficies planas 127
Ajuste de la máquina 128
Ajuste de las herramientas 129
Medición y comprobación de taladros 130

Arranque de viruta por cepillado y mortajado

Movimientos de corte en el cepillado y en el mortajado 133
Movimientos de avance 133
Máquinas cepilladoras y mortajadoras 134
Mortajadoras horizontales (cepilladora, cepilladora rápida limadora) [Shapingmachine] 137
Dispositivos adicionales para cepilladoras y limadoras 139
La mortajadora 141
Cuchillas para cepillar y limar 142
Sujeción y herramientas de sujeción 143
Carrera de trabajo y carrera en vacío al cepillar y mortajar 146
Velocidad de corte y velocidad de retroceso 146
Tiempo principal al cepillar 147
Número de dobles carreras y tiempo principal en el mortajado horizontal (limado) 149
Potencia de accionamiento en el cepillado y en el mortajado 150
Trabajos a realizar en cepilladoras especiales 151
Mortajado de ruedas dentadas 152

Arranque de viruta mediante brochado

Brochado 155

La aguja de brochar	155			●
Máquinas de brochar	158		●	
Arranque de viruta mediante esmerilado				
Esmerilado cilíndrico exterior	161			●
Esmerilado cilíndrico interior	162			●
Esmerilado plano	163			●
Afilado de herramientas	164			●
Herramientas afiladoras	164	●		
Medio abrasivo	164	●		
Formas de las muelas	167	●		
Sujeción de las muelas	170			●
Aparato porta-muelas	172			●
Máquina para rectificado cilíndrico exterior	173		●	
Máquina rectificadora para interiores	175		●	
Máquina para rectificado plano	175		●	
Máquinas para afilar herramientas	176		●	
Máquinas de rectificar especiales	177		●	
Sujeción y aparatos de sujección para rectificar	179			●
Rectificado cilíndrico exterior	180			●
Rectificado cilíndrico interior	181			●
Rectificado plano	182			●
Afilado de herramientas	182			●
Velocidad de avance cilíndrico	183			●
Número de revoluciones de la pieza	184			●
Velocidad de corte en el rectificado	184			●
Tiempo principal (t_h) en el rectificado cilíndrico (procedimiento de paso)	185			●
Tiempo principal en el rectificado plano	186			●
Rectificado frontal	187			●
Cota de ajuste h para fresas con dentado recto	188			●
Acabado de alta precisión				
Juicio sobre las superficies de las piezas	194			●
Medición y comprobación de la aspereza superficial	196			●
Arranque de viruta mediante aserrado y tronzado de muela	199			●
Erosión por chispas	201			●
Modo de trabajar	201			
Procedimiento de arco voltaico	203		●	
Taladrado por ultra sonido	204			●
Mando y regulación de máquinas herramientas				
Aclaración de conceptos	206		●	
Medios mecánicos de mando	207		●	
Acoplamientos	211		●	
Medios hidráulicos de mando	212		●	
Mando pneumohidráulico	219		●	
Mandos eléctricos	220		●	
Medios de maniobra óptico-eléctricos	224		●	
Dispositivos electrohidráulicos de mando	225		●	
Mandos eléctricos por palpador	226		●	
Mando numérico	230		●	

Fundamentos del mecanizado

Máquinas herramientas

Las máquinas-herramientas que trabajan arrancando virutas confeccionan *piezas de trabajo* (piezas mecánicas) con ayuda de *herramientas* mediante arranque de virutas **(fig. 9,1)**.

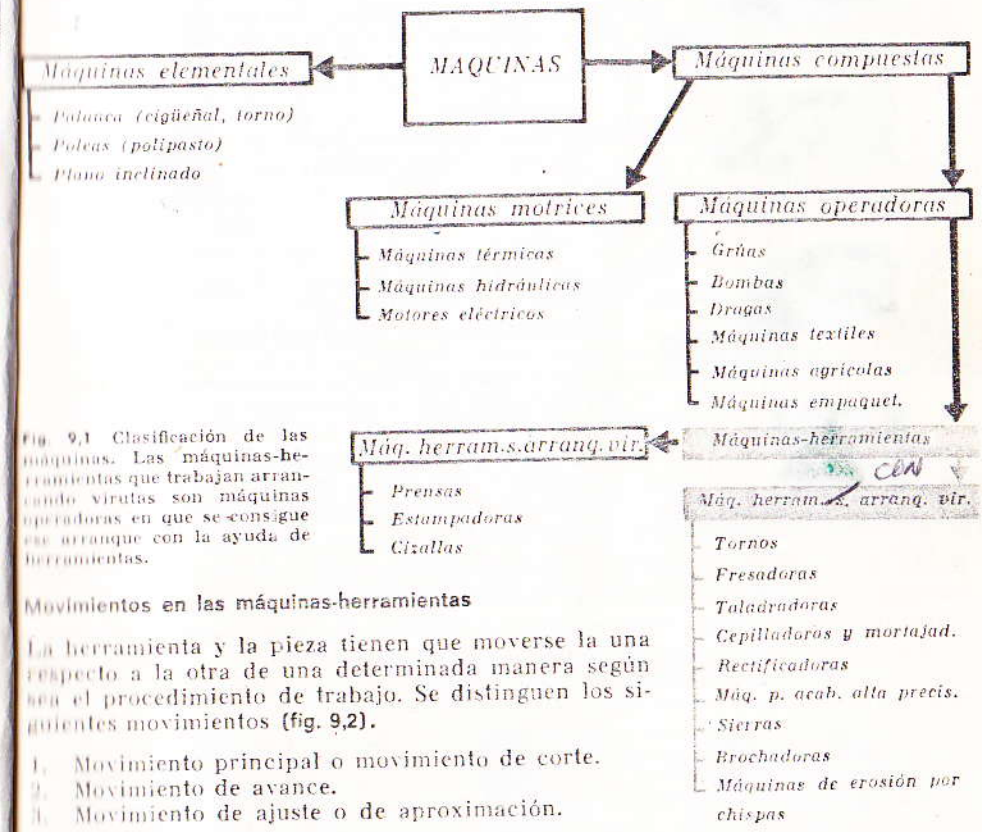


Fig. 9,1 Clasificación de las máquinas. Las máquinas-herramientas que trabajan arrancando virutas son máquinas operadoras en que se consigue ese arranque con la ayuda de herramientas.

Movimientos en las máquinas-herramientas

La herramienta y la pieza tienen que moverse la una respecto a la otra de una determinada manera según sea el procedimiento de trabajo. Se distinguen los siguientes movimientos **(fig. 9,2)**.

1. Movimiento principal o movimiento de corte.
2. Movimiento de avance.
3. Movimiento de ajuste o de aproximación.

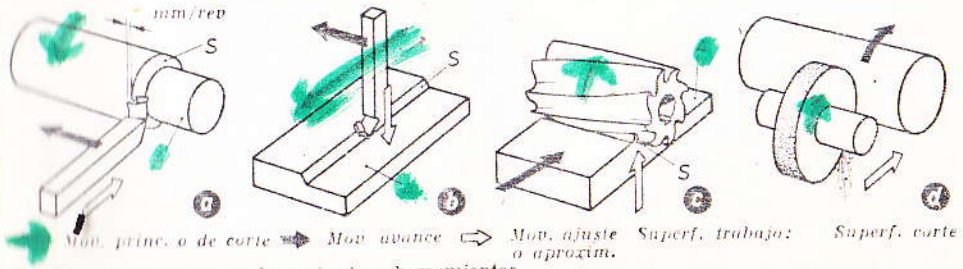


Fig. 9,2 Movimientos en las máquinas-herramientas.

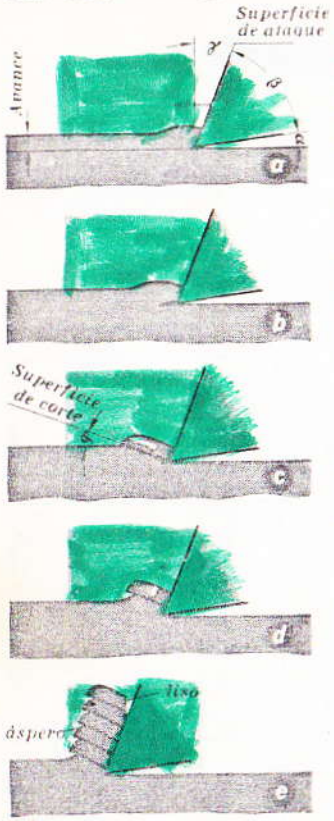


Fig. 10,1 Formación de virutas. a) Recalcado delante del filo de la herramienta, α ángulo de incidencia, β ángulo de filo, γ ángulo de ataque; b) Formación de una grieta que va avanzando; c) Corte de una pequeña porción de viruta; d) Deslizamiento de la pequeña porción de viruta hacia arriba sobre la superficie de ataque de la herramienta; e) Escurrimiento de la viruta.

Formación de la viruta, clases de virutas

Formación de la viruta. Al penetrar en un material la parte activa cuneiforme (filo) de una herramienta, puede observarse lo siguiente **(fig. 10,1)**.

a) Un recalcado del material delante del filo de la herramienta.
b) Formación de una grieta que va avanzando (no cuando la velocidad de corte es grande).
c) Corte o seccionamiento de una pequeña porción de viruta (elemento de viruta).
d) Deslizamiento hacia arriba sobre la superficie de ataque de la herramienta de la pequeña porción de viruta seccionada.
e) Escurrimiento o desprendimiento de la viruta.

Es decir quer las virutas están compuestas por pequeñas porciones o elementos de viruta, que en virtud del movimiento del filo de la herramienta se van corriendo unas sobre otras en forma de laminillas y que según sea la naturaleza del material de las piezas quedan más o menos firmemente unidas entre si.

Clases de virutas. Con materiales tenaces, grandes ángulos de ataque y elevada velocidad de corte se obtienen las llamadas *virutas plásticas*. Cuando con materiales tenaces se trabaja con pequeñas velocidades de corte se obtiene la *viruta cortada*. Los materiales agrios (fundición gris, bronce rojo), con pequeño ángulo de ataque y reducida velocidad de corte dan origen a una *viruta arrancada* **(fig. 10,2)**.

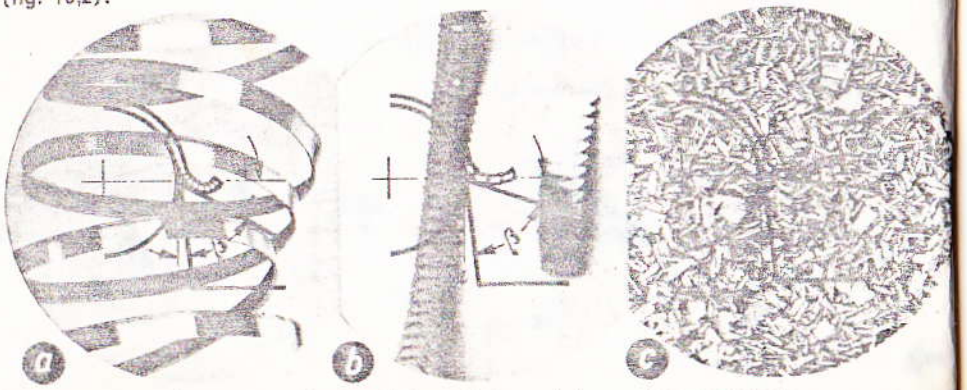


Fig. 10,2 Clases de virutas: Viruta plástica, viruta cortada y viruta arrancada.

Formas de virutas

El aspecto exterior de las virutas es diferente de unas a otras **(fig. 11,1)**, y viene especialmente determinado por el material.

Además de esto influyen también sobre la forma de las virutas las distintas condiciones de corte: procedimiento de trabajo (virutas de torneado, de fresado, de desbastado o de afinado), forma de la herramienta (broca espiral, fresa), sección transversal de la viruta (avance y profundidad de corte) velocidad de corte, salida o desprendimiento de virutas, medios de refrigeración y lubricación.

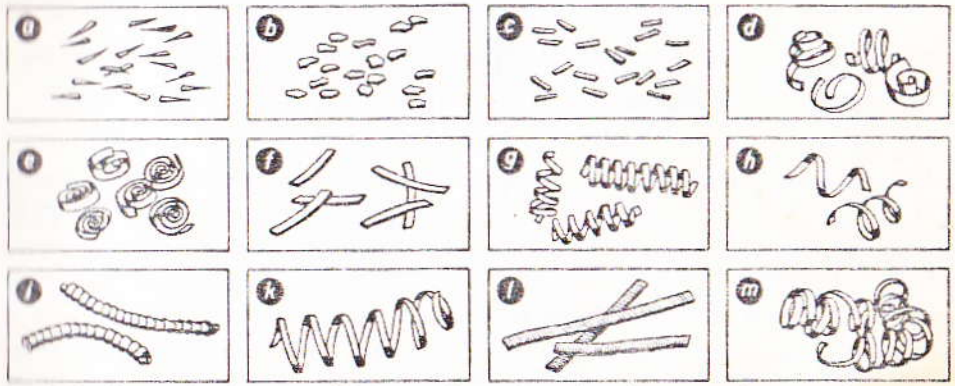


Fig. 11,1 Formas de virutas. a) Virutas en forma de agujas; b) virutas desmenuzadas; c) virutas en forma de bastoncitos; d) trozos espirales o helicoidales; e) espirales netas; f) trozos cortos de cinta; g) hélices cortas y estrechas; h) hélices cortas y anchas; i) hélices largas, estrechas; k) hélices largas, anchas; l) virutas de sesgo rectilíneo; m) virutas formando ovillo.

Las virutas no deben obstaculizar el proceso de trabajo, producir accidentes, taponar las herramientas, ni tampoco ocupar demasiado espacio. Se obtienen virutas con forma ventajosa (por ejemplo virutas en bucle que se quiebren en trozos cortos) haciendo, entre otras cosas, que el afilado de la herramienta tenga una forma especial (ranuras rompe-virutas, escalones guiadores de la viruta) o también mediante formadores de virutas aplicados al útil **(fig. 25,1)**.

La forma de viruta y el material

El acero da, por lo general, virutas helicoidales o virutas en forma de bandas. A este respecto diremos que si bien la presencia de azufre en el acero es no deseable en atención a otras razones, actúa en cambio beneficiosamente sobre la formación de virutas (acero para máquinas automáticas).

La **fundición gris** es agria, quebradiza y da origen a virutas desmenuzadas, que eliminan peor el calor que las virutas helicoidales del acero. La costra de fundición es desagradable para el trabajo (ensuciamiento debido a arenas y escorias, mayor dureza en virtud del rápido enfriamiento). Por esta causa hay que dejar más amplios excesos y tender a dar avances grandes.

La **fundición dura** ataca especialmente el filo de la herramienta

La **fundición maleable** se deja mecanizar bien.

Metales ligeros: las aleaciones tenaces dan virutas largas que taponan fácilmente las herramientas.

Las **aleaciones de magnesio** se trabajan magníficamente bien.
Para la mecanización de metales ligeros rige la siguiente ley general: ¡Altas velocidades de corte; grandes huecos para virutas, superficie de ataque limpia!

El **cobre** da grandes virutas helicoidales.

Las **aleaciones de cobre** pueden formar virutas en forma de rizos que se arrollan alrededor de las herramientas. Con una pequeña adición de plomo al latón o al bronce se consiguen virutas desmenuzadas.

Los **materiales sintéticos** son por lo general, mecanizables, como por ejemplo lo son la fibra vulcanizada, las resinas sintéticas, pasta prensada, las resinas moldeadas, el plexiglás.

Indice volumétrico de virutas

Un medio auxiliar para juzgar sobre la formación de virutas es la consideración del indice volumétrico de virutas, entendiéndose por tal la relación entre el peso de un cierto volumen de virutas (G_v) y el peso del mismo volumen de material sin convertir en virutas (es decir sin mecanizar) ($V \cdot \gamma$) en % :

$$R = \frac{G_v \cdot 100}{V \cdot \gamma} \text{ en } \%$$

Una formación medio buena de viruta correspondería a un porcentaje de unos 5 ... 20 % y una muy buena a un 20 ... 35 %

Ejemplo: 3 dm³ de viruta de acero pesan 5,5 kg γ = 7,85 kg/dm³. Determinar el índice volumétrico de virutas (R).

Solución:

$$R = \frac{G_v \cdot 100}{V \cdot \gamma} = \frac{5{,}5 \text{ kg} \cdot 100}{3 \text{ dm}^3 \cdot 7{,}85 \text{ kg/dm}^3} = 23{,}4 \ \%$$

El **juicio sobre la maquinabilidad** (facilidad para el arranque de viruta) del material se refiere en gran manera a la forma de la misma viruta. Sin embargo son también decisivos frecuentemente otros puntos de vista, como por ejemplo el desgaste de la herramienta, la calidad superficial y la precisión de medidas exigida, el calentamiento y la forma de la pieza, consumo de fuerza de la máquina.

Tamaño y sección transversal de las virutas

Tamaño de las virutas. Los movimientos de corte, de avance y de ajuste o aproximación dan lugar a la longitud, espesor y anchura de la viruta. Los procesos de recalcado, de magullamiento, o aplastamiento, y de corte, o cizallamiento, hacen sin embargo que la viruta que va saliendo resulte notablemente más gruesa que lo que corresponde al avance, más ancha que el movimiento de ajuste y notablemente más corta que el recorrido del corte. La velocidad de salida de la viruta (v_r) es por esto nada más que 1/2 a 1/5 de la velocidad de corte.

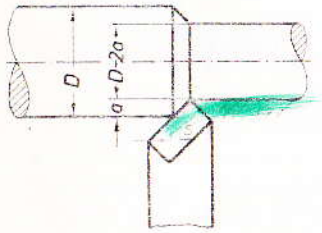


Fig. 12,1
Sección de la viruta: $A = a \cdot s$

Sección de la viruta. En el caso de filos de sesgo rectilíneo, la sección transversal de la viruta se puede considerar como un paralelógramo a base de la profundidad de corte y del avance (**fig. 12,1**).

$$A = a \cdot s$$

A = sección de la viruta en mm²
a = profundidad de corte
s = avance

La sección transversal de la viruta de este modo determinado (sección calculada) es notablemente menor que la sección de la viruta que va saliendo. [1])

El tamaño de la sección puede permanecer invariable durante el corte (por ejemplo en el refrentado y cilindrado, en el cepillado, en el taladrado) o puede variar (por ejemplo en el fresado de rodadura, descortezado, remolineado, torneado cónico partiendo de pieza cilíndrica).

La relación $s:a$

La misma sección de viruta A puede obtenerse con una relación pequeña o con una relación grande $s:a$ (por ejemplo, s = 0,5 mm, a = 10 mm o bien s = 1 mm, a = 5 mm). Una relación pequeña $s:a$ (por ejemplo 1:6 ... 1:20) da origen a virutas delgadas, fácilmente arrollables, hace posibles altas velocidades de corte, eleva la duración de la herramienta y da superficies más limpias. El consumo

[1]) La forma del paralelógramo alterada a consecuencia de la punta redondeada de la herramienta carece prácticamente de importancia para las consideraciones que siguen. (Véase espesor del arco de viruta en pág. 18).

de energía de la máquina se hace, empero, mayor. Una relación grande $s:a$ (1:3 ... 1:5) se emplea por ejemplo para no cortar tantas veces la costra de fundición y con ello conservar mejor el filo. El consumo de energía de la máquina es favorable (**fig. 13,1**).

Con relación al rendimiento de la máquina resulta favorable una relación grande $s:a$; con relación a la duración de la herramienta y a la superficie de la pieza, conviene, en cambio, una relación $s:a$ pequeña.

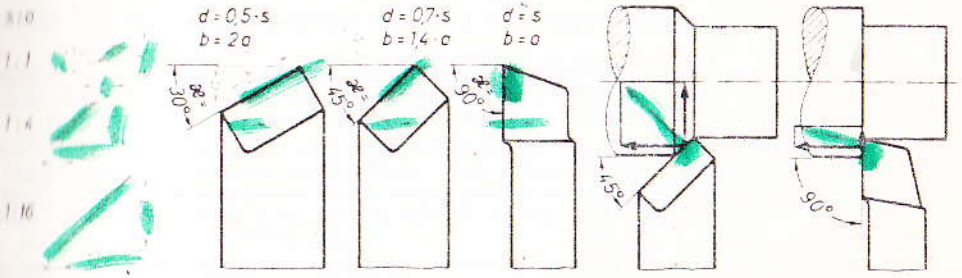


Fig. 13,1 Diferentes relaciones $s:a$ para iguales secciones de viruta y el mismo ángulo de posición o de colocación.

Fig. 13,2 Espesor de viruta $d = s \cdot \text{sen } \chi$, anchura de viruta $b = \frac{a}{\text{sen } \chi}$. Cuanto menor sea el ángulo de posición o colocación χ, tanto menor el espesor de viruta d y tanto mayor su anchura b.

Fig. 13,3 Cuando el ángulo de colocación χ disminuye, aumenta la presión en dirección perpendicular al eje de la pieza.

Influencia del ángulo de posición o colocación

Cuanto menor se mantenga el ángulo de posición (χ), tanto más ancha y delgada resulta la viruta y tanto más fácilmente se separa arrollándose. El filo de la cuchilla resulta beneficiado, la duración aumenta (**fig. 13,2**). La presión de corte perpendicular al eje de la pieza aumenta, empero, y puede conducir en el caso de piezas delgadas a funcionamiento ruidoso (con chacoloteo) (**fig. 13,3**). Análoga influencia que el ángulo de posición en el útil de tornear, tiene por ejemplo el ángulo en la punta de la broca espiral y el ángulo de la hélice en las fresas de dentado helicoidal.

Proceso de recalcado

Las propiedades de maquinabilidad de los materiales están muy ligadas al recalcado en el arranque de viruta. La magnitud de este recalcado puede valorarse numéricamente. Se compara el camino recorrido por el corte (l) con la longitud real de la viruta (l_r) y se designa la relación de ambas magnitudes como factor de recalcado o índice de deformación (λ). A veces se forma también la relación entre espesor real de la viruta (d_r) y espesor calculado (d) (véase más arriba). Como el ensanchamiento de la viruta es pequeño pueden igualarse ambas relaciones:

$$\lambda = \frac{l}{l_r} = \frac{d_r}{d}$$

Determinación del factor de recalcado

$$\lambda = \frac{1000 \cdot G}{t \cdot \gamma \cdot l}$$

G = peso de la viruta en g
l = longitud de la viruta en mm
t = sección transversal, calculada, de la viruta en mm²
γ = densidad del material

El factor de recalcado puede obtenerse también de la longitud de viruta antes y después del torneado. Con objeto de facilitar la medición de la viruta obtenida al tornear se raya en dirección axial con una ranura triangular de aproximadamente 1,5 mm de profundidad.

Deformabilidad: Cuanto mayor sea el factor de recalcado, tanto mayor será la deformabilidad necesaria. Se debe por lo tanto tender a un factor de recalcado pequeño.

Forma de la viruta: Cuanto menor sea el factor de recalcado tanto más cortos son los trozos en que se quiebra la viruta.

Material de la pieza: Los materiales tenaces tienen por lo general un factor de recalcado más alto que los agrios **(fig. 14,1)**.

Angulo de ataque: A medida que crece el ángulo de ataque, disminuye el factor de recalcado.

Material de la herramienta: Cuando se trabaja con herramientas de acero rápido el factor de recalcado es mayor que cuando el útil es de metal duro **(fig. 14,2)**. Cuando se trabaja con diamantes es especialmente pequeño.

Velocidad de corte: *Metal duro:* Cuando la velocidad de corte es grande, el factor de recalcado es menor que cuando esa velocidad es pequeña. *Acero rápido:* Al principio crece el factor de recalcado (hasta aproximadamente $v = 50$ m/min) y vuelve a decrecer después. A partir de 150 m/min se mantiene casi constante **(fig. 14,2)**.

Desprendimiento de virutas: Cuanto mayor es el factor de recalcado tanto menor es la velocidad de las virutas (v_c).

Presión y temperatura de corte: Aumentan con el crecimiento del factor de recalcado.

El factor de recalcado y la superficie de la pieza: La deformación del material durante el mecanizado se propaga hasta la capa superficial de la pieza terminada, es decir, se presenta una a veces no deseada variación de la estructura de la capa marginal que llega a profundidad tanto mayor cuanto mayor se escoje la sección de viruta y cuanto mayor es el factor de recalcado. La alteración de la estructura llega aproximadamente hasta la mitad de la profundidad de corte **(fig. 14,3)**.

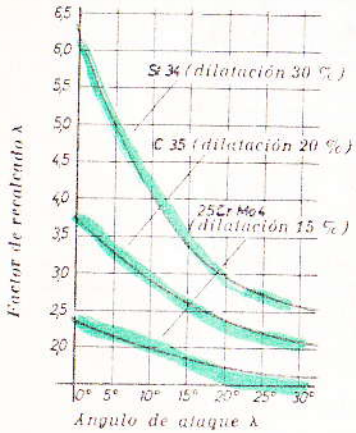


Fig. 14,1 Relación de dependencia entre el factor de recalcado y el ángulo de ataque y la tenacidad del material (metal duro $v = 60$ m/min).

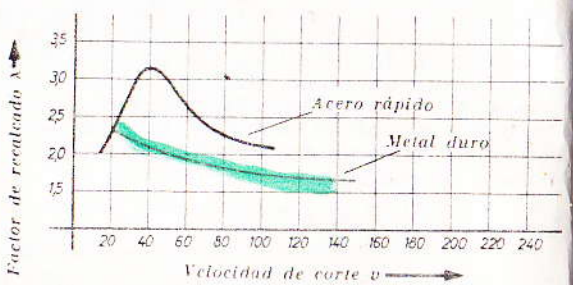


Fig. 14,2 Relación entre el factor de recalcado y la velocidad de corte al mecanizar St 50 con útil de acero rápido y con útil de metal duro ($\gamma = 12°$). Con el acero rápido se tiene primeramente un crecimiento a saltos del factor de recalcado.

Fig. 14,3 Variación de la estructura en la capa marginal debajo de la superficie de trabajo.

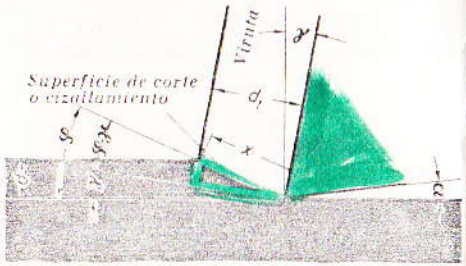


Fig. 14,4 Cálculo del ángulo de cizallamiento.

Proceso de cizallamiento o cortadura

Para el corte de la viruta es de especial importancia la influencia del ángulo bajo el cual se cizallan las pequeñas porciones de viruta. Este ángulo se determina del siguiente modo **(fig. 14,4)**.

$$\frac{d_t}{\cos(\varphi - \gamma)} = \frac{d}{\operatorname{sen}\varphi} \qquad \frac{d_t}{d} = \frac{\cos(\varphi - \gamma)}{\operatorname{sen}\varphi} = \lambda$$

φ = ángulo de cizallamiento
γ = ángulo de ataque
λ = ángulo de recalcado

$$\lambda \cdot \operatorname{sen}\varphi = \cos(\varphi - \gamma) = \cos\varphi \cdot \cos\gamma + \operatorname{sen}\varphi \cdot \operatorname{sen}\gamma$$

$$\lambda = \frac{\cos\varphi \cdot \cos\gamma + \operatorname{sen}\varphi \cdot \operatorname{sen}\gamma}{\operatorname{sen}\varphi}$$

$$\lambda = \cot\varphi \cdot \cos\gamma + \operatorname{sen}\gamma$$

$$\cot\varphi = \frac{\lambda - \operatorname{sen}\gamma}{\cos\gamma}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\cos\gamma}{\lambda - \operatorname{sen}\gamma}$$

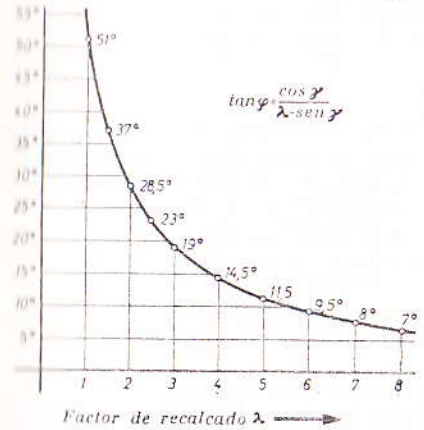


Fig. 15,1 Relación de dependencia del ángulo de corte con el factor de recalcado (para ángulo de ataque $\gamma = 12$).

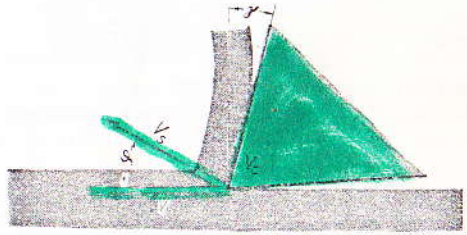


Fig. 15,2 Las tres velocidades de la mecanización:
v = velocidad de corte,
v_c = velocidad de desprendimiento de las virutas,
v_s = velocidad de cizallamiento.

Angulo de cizallamiento y factor de recalcado

A un factor de recalcado (λ) grande, y por tanto desfavorable, le corresponde un ángulo de cizallamiento (φ) pequeño**(fig. 15,1)**. El ángulo de cizallamiento vale para corte seco, entre 10° y 30°, cuando la retrigeración es buena es mayor, generalmente (hasta 50°). Con ayuda del ángulo de cizallamiento y del factor de recalcado puede hallarse entre otros los valores de orientación para la precisión de corte (pág. 22). Si en la ecuación de arriba se pone $\gamma = 0°$, resulta:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\cos 0°}{\lambda - \operatorname{sen} 0°} = \frac{1}{\lambda - 0} = \frac{1}{\lambda} \qquad \lambda = \frac{1}{\operatorname{tg}\varphi} = \cot\varphi$$

es decir que para un ángulo de ataque $\gamma = 0°$ el factor de recalcado se hace igual a la cotangente del ángulo de cizallamiento.

Velocidad de cizallamiento

La velocidad en la superficie de cizallamiento (velocidad de cizallamiento v_s), con la cual son arrancadas o cizalladas las pequeñas porciones de viruta, se hace tanto más grande cuanto menor sea el ángulo de ataque. Para $\gamma = 30°$ es aproximadamente 5 % menor, para $\gamma = 0°$, aproximadamente 10 % mayor, para $\gamma = -20°$, aproximadamente 50 % mayor que la velocidad de corte (v) **(fig. 15,2)**.

Velocidad de corte

Como medida de la velocidad se toma el recorrido efectuado en la unidad de tiempo. Se entiende por velocidad de corte el recorrido del filo realizado por minuto (en el rectificado, por segundo).

Para el recorrido rectilíneo del corte se tiene: $v = \frac{s}{t}$

Para el recorrido circunferencial se tiene: $v = d \cdot \pi \cdot n$

v = velocidad de corte en m/min,
s = recorrido del filo en m, d = diámetro de la pieza en m,
t = tiempo en minutos, n = número de revoluciones por minuto.

Velocidad de corte económica

Una herramienta no puede trabajar con velocidad arbitraria. Cuando la velocidad es demasiado alta, se embota demasiado rápidamente. Tiene que soltarse prematuramente y reafilarse, volverla a sujetar y ajustar a medida. Todo esto supone pérdida de tiempo y de dinero. Cuando la velocidad es demasiado reducida, el mecanizado tarda demasiado en terminarse y esto también supone tiempo y dinero. Hay por lo tanto que considerar los costos de jornales y el precio de las herramientas y máquinas.

Se llama velocidad de corte económica aquella velocidad mediante la cual con el menor costo se obtiene la cantidad más grande posible de virutas.

Angulo de posición	Metal duro	Acero rápido Fundición	Acero rápido acero
30°	110 %	110 %	120 %
45°	100 %	100 %	100 %
60°	95 %	90 %	80 %
90°	90 %	70 %	65 %

T. 16,1 Relación de dependencia entre la velocidad de corte y el ángulo de posición.

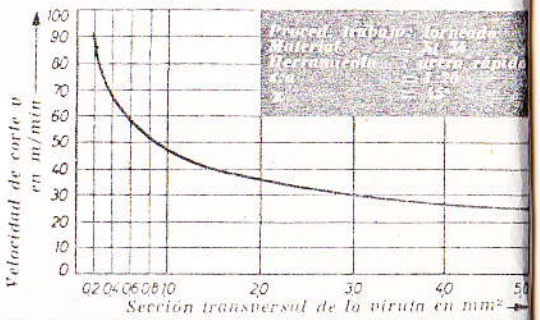


Fig. 16,1 Relación de dependencia entre la velocidad de corte y la sección transversal de la viruta.

Hay muchas circunstancias que ejercen influencia decisiva:

1. Material de la pieza. 2. Material, forma de la cuchilla (afilado) y sujeción de la herramienta **(T. 16,1)**. 3. Magnitud y forma de la sección transversal de la viruta **(fig. 16,1)**. 4. Sujeción y forma de la pieza (por ejemplo, las piezas que sobresalen mucho se mecanizan con más alta velocidad de corte pero con avance pequeño). 5. Procedimiento de trabajo (torneado, acepillado, fresado, etc.). 6. Duración exigida. 7. Medios de refrigeración y lubricación. 8. Construcción de la máquina (potencia de la máquina, funcionamiento silencioso, número de revoluciones ajustables). 9. Calidad superficial pedida a la pieza (una superficie limpia exige, por ejemplo, elevada velocidad).

Hay tablas en que se dan valores de orientación aunque en ellas no aparezcan abarcadas todas las condiciones. Los conocimientos y la práctica juegan un gran papel a la hora de elegir la velocidad de corte correcta.

Fig. 17,1 Relación de dependencia existente entre la duración T y la velocidad de corte v.

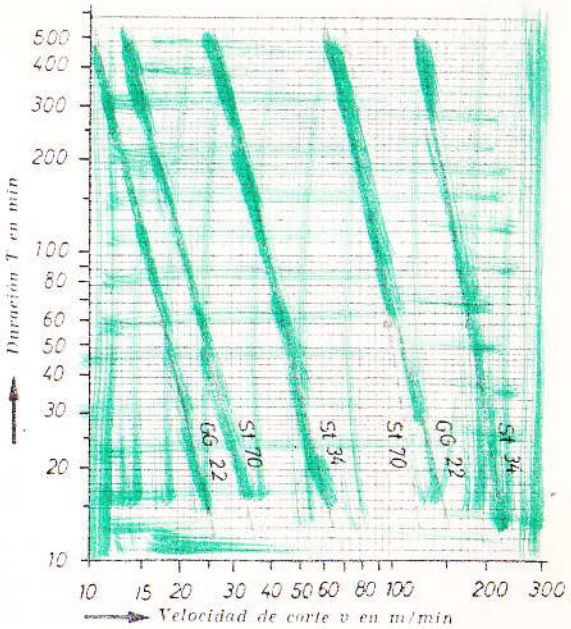
Procedimiento de trabajo: torneado

$A = b \cdot s = 5 \cdot 0{,}4 = 2$ mm²

——— Acero rápido
— — — Metal duro P 20
—·—·— Metal duro K 10

Long. de durac. en mm	Broca sin afilar v en m/min	Broca afilada v en m/min	Broca afilada filo princ. correg. v en m/min
3000	17	25	31
2000	18	26	32
1000	20	28	34
500	22	31	37
250	25	34	41

T. 17,1 Influencia del afilado de la broca y la velocidad de corte sobre la longitud de duración.
Material: acero al cromo-níquel
Diámetro de la broca: 25 mm ∅
Avance: 0,6 mm/rev
Profundidad de cada agujero: 50 mm



Tiempo de duración

El espacio de tiempo que resiste una herramienta sometida a trabajo de corte ininterrumpido hasta el embotamiento se llama tiempo de duración. El tiempo depende principalmente de la velocidad de corte y se hace notablemente pequeño cuando se sobrepasa un cierto límite de la misma. Inversamente una pequeña disminución de la velocidad de corte puede aumentar el tiempo de duración notablemente **(fig. 17,1)**. Los tiempos de duración pueden elegirse de distinta magnitud según las exigencias. Cuando la preparación de la máquina o el afilado de la herramienta necesiten mucho tiempo, se elige, manteniendo para ello baja la velocidad de corte, un tiempo de duración largo.

La velocidad de corte con la cual se obtiene un determinado tiempo de duración se llama *velocidad de corte del tiempo de duración*.

v_{60} significa por ejemplo una velocidad de corte con la cual se obtiene un tiempo de duración de 60 minutos. Para el útil de metal duro se elige frecuentemente como velocidad de corte del tiempo de duración v_{60}, para herramientas de máquinas automáticas, fresas y otros v_{240}, v_{300}, etc.

La elección de la *velocidad de corte del tiempo de duración* puede depender también del tiempo de mecanización de una pieza, cuando ésta tiene que ser mecanizada en un tiempo determinado (por ejemplo en 140 minutos) sin interrupción en el proceso de corte.

Longitud de duración

Especialmente en el taladrado se habla también de longitud de duración.

$v_{L\,2000}$ significa entonces la velocidad con la cual la broca puede taladrar 2000 mm (la longitud de duración) hasta su embotamiento. Además de la velocidad de corte tienen también su importancia otras influencias. La longitud de duración se hace por ejemplo mayor cuando se trabaja con un avance mayor o con mayor diámetro de broca o cuando la profundidad de cada agujero es grande. También juega su papel el afilado de la broca. Con broca de punta afilada se alcanza una mayor longitud de duración que con punta de broca normal **(T. 17, 1)**.

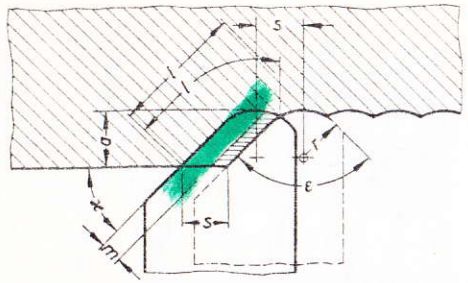


Fig. 18,1 Espesor del arco de viruta (a = profundidad de corte, s = avance, l = longitud del arco de corte, m = espesor del arco de viruta, r = redondeamiento de la punta de la cuchilla, χ = ángulo de posición, ε = ángulo de la punta)

$$A = a \cdot s = l \cdot m$$

$$m = \frac{a \cdot s}{l}$$

Espesor del arco de viruta

Mediante el redondeamiento corriente del saliente o talón de un útil de torno se alarga la arista de corte.

La longitud de filo que realmente está en el corte se llama longitud del arco de viruta (l).

Si se divide la sección transversal calculada ($a \cdot s$) por la longitud del arco de viruta (l) se obtiene el espesor del arco de viruta (m) **(fig. 18,1)**.

$$m = \frac{a \cdot s}{l}$$

Cuanto mayor sea la longitud del arco de viruta tanto más se reparte el trabajo de corte sobre el filo y tanto mayores podrán ser, en igualdad de las demás circunstancias, la velocidad de corte o el tiempo de duración.

El espesor del arco de viruta ofrece con ello la posibilidad de determinar o de calcular la velocidad de corte correspondiente a los tiempo de duración exigidos. El espesor del arco de viruta depende del ángulo de posición (χ), del avance (s) y de la profundidad de corte (a) así como del radio de redondeamiento (r) del útil de torno.

El cálculo del espesor del arco de viruta es engorroso y largo. Por esta razón se utilizan ventajosamente los gráficos establecidos por AWF (¹) (hojas 121 a,b) para todos los valores corrientes **(fig. 18,2)**. Con auxilio del espesor del arco de viruta así hallado, puede del mismo modo, según las tablas de orientación AWF, determinarse la correspondiente velocidad de corte del tiempo de duración **(fig. 18,3)**.

(¹) AWF = Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung = Comisión para la Fabricación Económica.

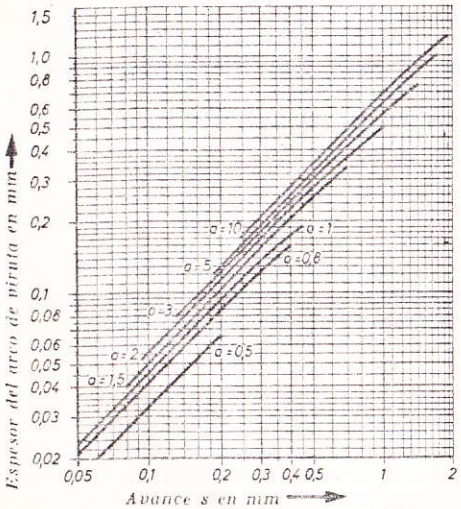


Fig. 18,2 Determinación del espesor del arco de viruta (diagrama de la AWF 121a; Ejemplo para $\chi = 45°$, $r = 2$ mm, $a = 0,5$ ...10 mm; $s = 0,05$ ... 2 mm/rev).

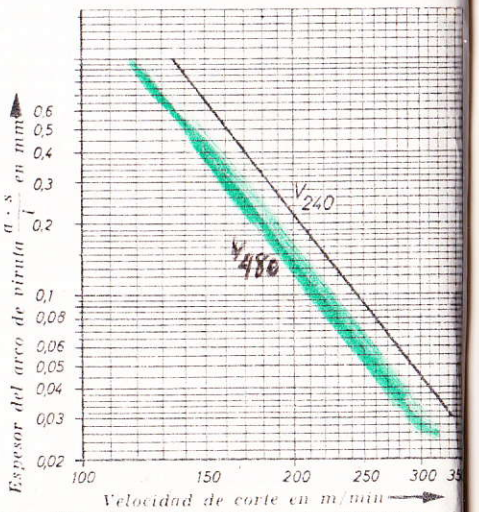


Fig. 18,3 Determinación de la velocidad de corte del tiempo de duración con ayuda del espesor de arco de viruta según AWF hoja 122. Material: 50 St; herramienta: Metal duro alemán.

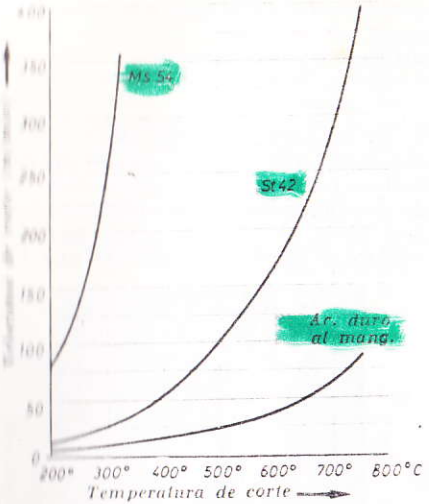


Fig. 19,1 Relación de dependencia entre la temperatura de corte de una cuchilla de metal duro y la velocidad de corte.

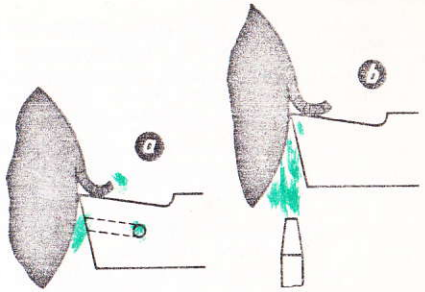


Fig. 19,2 Refrigeración correcta. a) Conducción del medio refrigerante al punto preciso de corte mediante un taladro hecho en el vástago del útil; b) mediante disposición de una tobera debajo del punto de corte.

Temperatura de corte

La temperatura de corte se produce a consecuencia del trabajo de deformación y de cizallamiento que tiene lugar durante la formación de la viruta así como por el rozamiento en las superficies de ataque y de incidencia. La mayor parte del calor (65 ... 80 %) es eliminado con las virutas. Un 15 ... 25 % lo absorbe la pieza y todo lo más un 5 ... 10 % la herramienta. Pero esta cantidad de calor basta frecuentemente para rebajar notablemente la capacidad de corte del filo de la herramienta e incluso para modificar desfavorablemente la estructura de la capa exterior de la pieza. La medición puede quedar también dificultada.

La temperatura de corte es diferente según sea el material y crece sobre todo con la velocidad de corte **(fig. 19,1)**.

El calor se almacena, por ejemplo en el útil de torno, de modo especialmente intenso en el filo de detrás de la punta del útil. La evacuación de calor se favorece mediante gran ángulo en la punta y gran ángulo de filo. Resulta muy ventajoso, sobre todo, el uso de medios de refrigeración y lubricación y especialmente cuando se realiza correctamente la refrigeración, es decir cuando el calor del filo de la herramienta y el de la pieza que se trabaja se evacúen lo mejor posible **(fig. 19,2)**.

Medios de refrigeración y lubricación

Con el empleo de medios de refrigeración y lubricación puede elevarse la velocidad de corte hasta en un 40 % y alargarse la vida de la herramienta. Además de esto, la superficie de la pieza resulta más limpia y la operación de realizar mediciones en la pieza refrigerada resulta más fácil. La mejor acción refrigerante la tiene el agua, y la mejor capacidad de lubricación las grasas y aceites. Generalmente se utilizan aceites refrigerantes y aceites de corte.

Aceites refrigerantes (aceites de taladrar o emulsiones de taladrar, taladrinas) son mezclas de aceite y agua en las proporciones de 1:5 ... 1:10 y para fines de esmerilado hasta de 1:50. Con objeto de que el aceite se mezcle con el agua se prepara aquél con adición de jabones o por azufrado.

Los aceites de corte son aceites minerales, animales o vegetales sin adición de agua. La capacidad de lubricación es mayor; la acción refrigerante menor que la de los aceites refrigerantes.

Para las *aleaciones de aluminio* se utilizan preferentemente petróleo, aceite de trementina o espíritu de jabón (espíritu de vino, es decir alcohol, con 40 % de agua y jabón verde).

Las *aleaciones de magnesio* (peligro de incendio de las virutas) no se refrigeran con agua, sino con solución de fluoruro sódico al 4 %.

La *fundición gris*, el *latón*, el *bronce*, los *materiales sintéticos* y el *papel duro*, o *papel prensado* se trabajan generalmente en seco.

El medio refrigerante debe ser conducido al punto a refrigerar ya antes de empezar el corte de la herramienta y con chorro lleno y uniforme y a presión reducida. Se obtienen buenos resultados con medios refrigeradores enfriados previamente.

No siempre es conveniente la refrigeración. En el *caso de corte interrumpido (fresado)* la temperatura sube de modo brusco directamente junto al filo del útil, sin que sirvan de nada los medios refrigerantes. Las fuertes tensiones con esto originadas pueden, especialmente en caso de herramienta refrigerada, conducir a una prematuro desgaste del filo. En muchos casos se obtiene, pues, mediante corte seco e incluso con precalentamiento adicional de la herramienta una más alta duración de la herramienta.

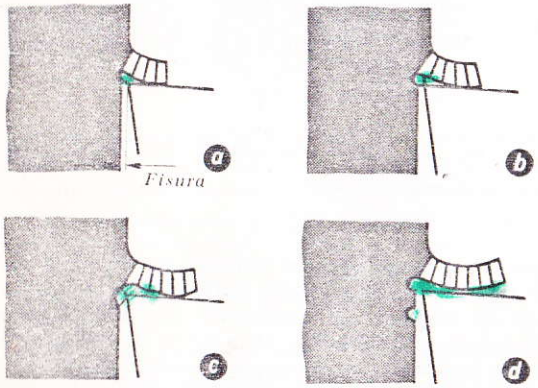


Fig. 20,1 Formación y efecto del recrecimiento del filo (falsa cuchilla). a) restos de material en la grieta que va por delante; b) cizallamiento de una partícula; c) traslación de partículas en parte sobre la superficie de la pieza, en parte sobre la superficie de ataque de la herramienta; d) nueva formación del recrecimiento del filo

Fig. 20,2 Formación del recrecimiento del filo.

Recrecimiento del filo (falsa cuchilla)

La grieta que se forma, en determinadas condiciones, delante del filo de la herramienta se llena frecuentemente, durante el mecanizado, con capas de material que se fijan en el filo de la cuchilla formando lo que se llama recrecimiento del filo, o falsa cuchilla. Este recrecimiento del filo actúa durante un instante como un auténtico filo. De tiempo en tiempo es, empero, arrancado, por la viruta que va desprendiéndose y en parte va trasladándose sobre la superficie de ataque. A veces sin embargo, se comprime contra la superficie de la pieza y da a ésta un aspecto escamoso (fig. 20,1).

Para estudiar estos procesos se utilizan aparatos fotográficos tomavistas con una sucesión de imágenes de 10 000 por segundo y tiempos de exposición hasta de 1/5 000 000 de segundo. El lapso de tiempo comprendido entre formación y destrucción del recrecimiento del filo es, aproximadamente de 1/10 ... 1/200 segundos. En el caso de elevada velocidad de corte (para el acero unos 100 ... 200 m/min) no se observa formación de falsa cuchilla alguna. (Figs. 20,2 y 20,3).

Fig. 20,3 Viruta plástica o continua.

Para el desbastado no siempre resulta un inconveniente la falsa cuchilla ya que proteje la superficie de ataque de la herramienta en el sitio en que el desgaste es mayor, es decir, que aumenta la duración de la herramienta.

En el afinado y especialmente en el torneado, fresado y taladrado de afino hay que evitar la formación de la falsa cuchilla pues de lo contrario la superficie de la pieza resulta demasiado sucia. La dimensión del diámetro de la pieza torneada resulta también afectada por la falsa cuchilla por formarse entre el filo de acero y la superficie de la pieza una cámara intermedia.
Las siguientes medidas pueden contribuir a remediar los citados inconvenientes:

1. Aumento de la velocidad de corte. 2. Dar a la herramienta una superficie de ataque tan lisa como sea posible. 3. Buena lubricación de las superficies de corte. 4. Empleo de un ángulo de ataque tan grande como se pueda. 5. Empleo de pequeñas profundidades de corte y reducidos avances.

Esfuerzos de corte

En la formación de las virutas se presentan *fuerzas de deformación*, de *cortadura* (o *cizallamiento*) y de *fricción*. Estas fuerzas exigen un adecuado esfuerzo de accionamiento (esfuerzo motor) y determinan las dimensiones de los elementos constructivos que constituyen la máquina-herramienta.

El rozamiento, la fricción, se produce por ejemplo en las superficies de ataque y de incidencia de la herramienta. Esta fuerza no debe ser menospreciada. Según recientes investigaciones solamente la parte del rozamiento que se produce en la superficie de incidencia vale casi la tercera parte del esfuerzo total de corte. Esto nos aclara también el porqué del gran desgaste que experimenta la superficie de incidencia.

Para poder determinar la magnitud de los esfuerzos de corte se fijan direcciones de acción principales. En el torneado se distiniuen, por ejemplo, fuerza principal de corte, fuerza de avance y fuerza en el vástago (fig. 21,1) [1].

Para medir las fuerzas de corte pueden emplearse multitud de aparatos. Entran aquí en juego por ejemplo, dispositivos eléctricos a base de diafragmas con los cuales se determinan las flexiones del útil de torno cuando queda cargado con las fuerzas de corte (fig. 21,2) o también a base de bandas de dilatación que se pegan sobre el útil de tornear y que al flexar éste hacen que varíe la resistencia eléctrica, al variar su longitud.

Las fuerzas de corte no son de la misma magnitud en cada momento, sino que oscilan alrededor de un valor medio (fuerzas oscilantes). La diferencia entre los valores máximos y los mínimos es tanto menor cuanto mayor sea la velocidad.

Las fuerzas de avance y en el vástago son notablemente más pequeñas que la fuerza principal de corte (fig. 21,3). Tienen influencia, por ejemplo, la relación $s:a$, el redondeamiento del filo de la herramienta, el ángulo de posición (véase pág. 13), el ángulo de inclinación (λ), el de ataque (γ), y el embotamiento del filo.

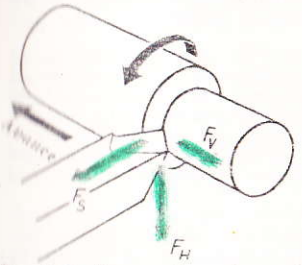


Fig. 21,1 Fuerza de corte en el útil de torno. F_H = Fuerza principal de corte; F_S = Fuerza en el vástago; F_V = Fuerza de avance.

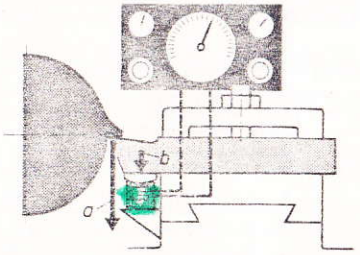


Fig. 21,2 Medición de la fuerza de corte. *a*, fuerza principal de corte; *b*, cápsula eléctrica de medición, encima aparato indicador (superficie negra).

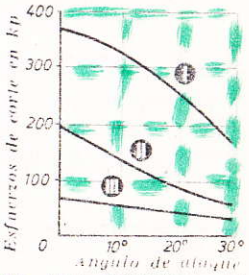


Fig. 21,3 Influencia del ángulo de ataque sobre torneado. I, fuerza principal de corte; II, fuerza de avance; III, fuerza en el vástago. Material: St 50; sección de viruta: 2 mm².

[1] Para las investigaciones teóricas se necesita, empero, una más amplia descomposición de fuerzas.

Fuerza de corte específica

Para el cálculo de los esfuerzos de corte así como de la potencia motriz de las máquinas se parte de la fuerza específica de corte (k_s) es decir de la fuerza de corte que actúa sobre cada mm² de la sección de viruta [1].

$$F = A \cdot k_s$$

A = Sección de viruta en mm²
F = Esfuerzo de corte, o fuerza de corte, en k_p
k_s = Fuerza específica de corte en k_p/mm^2

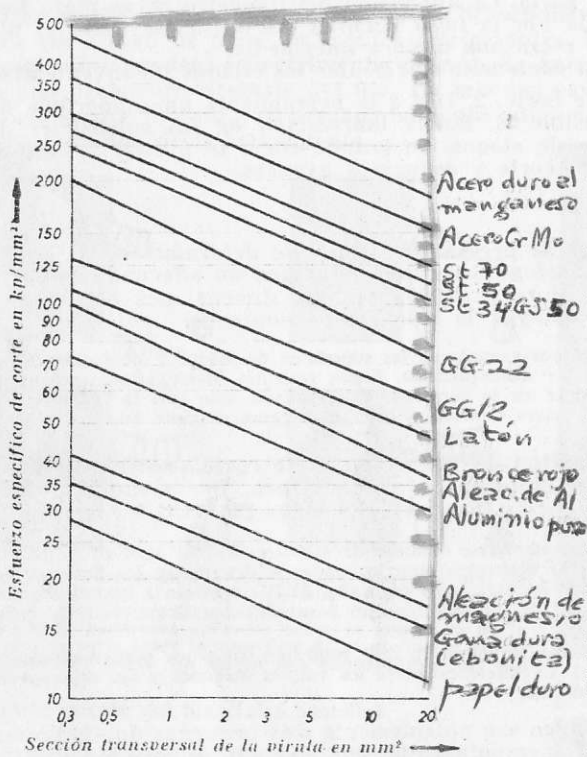


Fig. 22,1 Magnitud de la fuerza específica de corte en función del material y de la sección de viruta.
$s:a = 1:10$, $\chi = 45°$, $\gamma = 12°$

La fuerza de corte específica es función especialmente del material de la pieza pero depende también de otras condiciones del corte. Tiene especial importancia el hecho de que la fuerza específica de corte desciende notablemente cuando aumenta la sección transversal de la viruta o lo que es lo mismo el avance **(fig. 22,1)**. Es favorable además un ángulo de ataque grande. También juegan su papel la longitud del filo de la herramienta que cae en el corte, la relación $s:a$, el ángulo de posición (χ), el redondeamiento del filo y también, incluso, el material del filo (el metal duro es más ventajoso que el acero rápido). La fuerza de corte específica es además mayor en la proximidad de la punta del útil.

Por el contrario, la velocidad de corte y en especial la velocidad de corte elevada, no tiene influencia alguna.

Fuerza específica de corte para cálculos aproximados

1. Cuando se conoce el factor de recalcado (λ):

$$k_s = 1.5 \cdot \sigma_B \cdot \lambda$$

2. Cuando se conoce el ángulo de cortadura o cizallamiento (φ):

$$k_s = \sigma_B \, [\mathrm{tg}\,(75 - \varphi) + \cot \varphi]$$

3. Cuando únicamente se conoce la resistencia a la tracción:
   Hasta 1 mm² de sección de viruta, k_s aproximadamente igual al quíntuplo de la resistencia a la tracción.
   Desde 1 ... 10 mm² de sección de viruta, k_s aproximadamente igual a 4 veces la resistencia a tracción
   para más de 10 mm² aproximadamente 3 veces la resistencia a tracción.

[1] El esfuerzo de corte se mide en k_p; el esfuerzo específico (llamado frecuentemente presión específica) en k_p/mm^2.

Desgaste de la herramienta

En virtud del continuo deslizamiento del material sobre la superficie de incidencia, o de la de ataque, se van raspando partículas del material de la herramienta. Con ello se modifica la forma del filo. Una temperatura de corte elevada puede acelerar notablemente este proceso e incluso conducir a una soldadura por fusión entre la viruta que se va desprendiendo y el material de la herramienta. A veces intervienen las vibraciones que, por ejemplo, llevan en el metal duro a la formación de finísimas grietas y al desportillamiento del filo. También pueden favorecer el proceso la aparición de fenómenos de fatiga del material del filo y las muy acusadas diferencias de temperatura, que originan grietas en el filo.

Como consecuencia del embotamiento del filo se presenta un crecimiento brusco en el *torneado* de la presión de avance, en el *taladrado* de la presión de avance y del momento de giro y en el *fresado* de la presión de corte vertical.

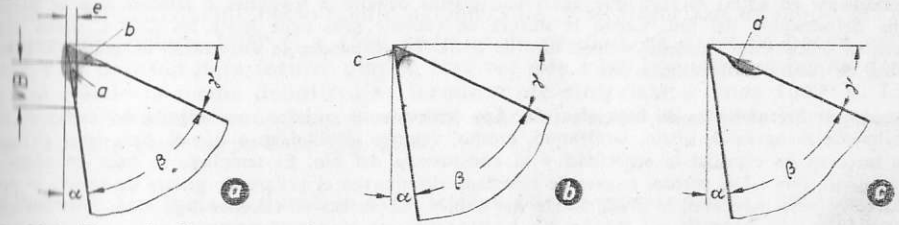


Fig. 23,1 Tipos de desgaste: *a*, desgaste de la superficie de incidencia; *b*, desgaste de la superficie de ataque; *c*, desgaste del canto; *d*, desgaste de carcavón; *e*, desplazamiento del canto; *VB*, anchura de las marcas de desgaste.

En la superficie de corte se observan a veces partes brillantes como pulidas por frenado y efectos de recocido. Las virutas se producen con forma irregular y en parte resultan arrancadas por magullamiento. La superficie de las piezas resulta poco limpia. Como consecuencia se eleva notablemente el consumo de potencia de la máquina. Un embotamiento demasiado fuerte sobrecarga excesivamente los soportes y las guías.
Pero no siempre se deja que la herramienta se embote completamente, por ejemplo para no tener que afilar demasiado. En el caso del afinado, se considera ya embotado el útil cuando la limpieza de la superficie obtenida deja que desear o cuando resulte ya difícil mantener en la pieza la exigida precisión.

Se distingue entre *desgastes en la superficie de incidencia*, en *la de ataque* y *en el canto*. En la superficie de ataque se forma frecuentemente un carcavón o *socavón* **(fig. 23,1.)** En las brocas lo que más sufre son las esquinas y después el filo transversal y el bisel.
La *anchura de las marcas de desgaste* en la superficie de incidencia puede tomarse como medida del desgaste. Se mide por medio de un dispositivo óptico de aumento (microscopio o lupa). Por lo general no debe sobrepasar de 0,8 mm. Los útiles de torno soportan embotamientos más fuertes que las fresas.

La acción de desgaste de los materiales no depende únicamente de su dureza (contenido de C). La estructura y el tratamiento térmico juegan en ello un gran papel. Mientras que, por ejemplo, muchas aleaciones de aluminio cargan el filo a efectos de desgaste sólo ligeramente, la acción de desgaste es muy grande en las aleaciones de aluminio que contienen silicio o que son de alta aleación así como en las aleaciones aluminio-magnesio-manganeso, en muchos materiales sintéticos (materiales minerales de carga o relleno) y en la fundición dura. Los ángulos de ataque negativos aumentan el desgaste de carcavón pero disminuyen en cambio el de la superficie de incidencia

Los materiales que dan viruta corta provocan preferentemente desgaste en la superficie de incidencia y los de viruta larga dan además del desgaste de la superficie de incidencia, el desgaste de carcavón.

Materiales para las herramientas

Exigencias en cuanto al material de filo. El filo del útil tiene que penetrar en el material; para ello no debe romperse y cuando la temperatura de corte es elevada (velocidad de corte) no debe perder la dureza y debe desgastarse tan poco como sea posible. Se exigen por lo tanto: *dureza, tenacidad, dureza en caliente* (resistencia de revenido) y *resistencia al desgaste*.

Elección del material de las cuchillas

Los puntos de vista para la elección son por ejemplo la *aplicación* (procedimiento de trabajo, material del útil) la *forma del útil* (cuchilla de torno, macho de roscar, fresa, escariador), la *potencia exigida* (velocidad de corte, duración, cantidad de viruta producida), la *economía* (costo del útil, costo de jornales, etc.).

Como material para cuchillas entran en consideración: 1. Aceros de herramientas sin alear. 2. Aceros de herramientas de baja aleación. 3. Aceros de herramientas de alta aleación (aceros rápidos). 4. Materiales duros. 5. Materiales de corte cerámicos. 5. Diamantes.

Aceros de herramientas sin alear (aceros al carbono). El componente aleado es casi sólo el carbono (0,8 ... 1,5 %). La dureza alcanza pocos milímetros de profundidad. Por esta razón el reafilado de la herramienta resulta sólo limitadamente posible si no va seguido de un nuevo templado. Puede, sin embargo actuar ventajosamente el núcleo que permanece tenaz. Al templar la herramienta (generalmente en agua) es fácil que aparezcan grietas debidas a tensiones o también que se presente una deformación del útil. Como la dureza en caliente sólo tiene hasta los 250° C, estos aceros resisten únicamente pequeñas velocidades de corte. Las calidades se diferencian en grado de pureza, clase de fusión, cementación, etc.

Aceros de herramientas de baja aleación. Los componentes aleados son, además del carbono, especialmente manganeso, silicio, wolframio, cromo, vanadio, molibdeno y níquel. Con estos elementos se mejoran en especial la tenacidad y la consistencia del filo. El templado se hace en aceite, en agua o en aire. Los medios suaves de templado disminuyen el peligro de grietas de temple o deformaciones pero aumentan la profundidad del temple. La dureza en caliente llega a los 200° ... 300° C.

Aceros para herramientas fuertemente aleados. La gran dureza en caliente (hasta los 600° C) se facilita en virtud del elevado contenido de wolframio (tungsteno). El wolframio forma carburo con el carbono del acero. El cromo (aprox. 4 %) ayuda a la formación del carburo. Este exige elevada temperatura de temple (hasta 1350° C) y un recocido repetido a temperaturas elevadas (hasta de 600° C). Mediante pequeñas adiciones de vanadio o de molibdeno puede ahorrarse wolframio. El cobalto eleva de modo notable la conductibilidad térmica y la dureza a temperaturas elevadas. Las casas suministradoras distinguen entre aceros rápidos para rendimientos normales, para rendimientos altos y para muy altos rendimientos (establecen por ejemplo las clases A, B, C, D y E).

	C	Si	Mn	W	Cr	Mo	V	Co
Acero de herramientas sin alear	0,8 ... 1,5	... 0,4	... 0,5	—	—	—	—	—
Acero de herramientas de baja aleación	1,0 ... 1,6	... 0,3	0,2 .. 1,0	0 ... 5	0 ... 1,6	0 ... 0,7	0 ... 0,5	0 ... 1,0
Acero de herramientas fuertemente aleado (acero rápido) Clase ABC	0,7 .. 1,0			1.5 ... 12	4,0 ... 4,5	0,5 .. 2,5	1,0 ... 2,5	—
Clase D	0,8 ... 0,9			12 ... 22	4,0 ... 4,5	—	1,5 .. 2,5	—
Clase E	0,8 ... 1,4			10 ... 18	4.0 – 4.5	0,5 ... 0,9	1,5 .. 4.5	3,0 ... 5,0
Acero rápido al molibdeno	0,8			6,5	4,2	5,0	2,0	—
Acero rápido al vanadio	0.8			12,0	4,0	0,85	2,5	—
Acero rápido al cobalto	0,75			18,0	4,3	0,85	1,5	9,5

T. 24. Ejemplos para la composición de aceros de herramientas sin alear, de baja aleación y de alta aleación. Los componentes aleados se indican en %.

Tratamiento superficial de las herramientas. La resistencia al desgaste y la duración de las herramientas pueden elevarse de modo substancial mediante cromado duro, nitración o carbonitración. En el cromado duro se logra una capa, en el nitrado y en el carbonitrado una superficie enriquecida respectivamente en nitrógeno y carbono.

Tratamiento térmico de los aceros. Se rige por la composición de los aceros y es decisivo para su calidad. Por esta razón hay que seguir exactamente las prescripciones de las firmas suministradoras.

Metales duros

Fabricación. Los carburos de wolframio, titanio, molibdeno o vanadio se muelen juntamente con cobalto, como medio aglomerante, y se sinterizan de modo previo a aproximadamente 1000° C y 1500 kp/mm² de presión, es decir se hacen aglutinar y se prensan para formar placas. Una vez que a las plaquitas se les ha dado en ese estado la forma definitiva se terminan de sinterizar a unos 1500° C. Las plaquitas terminadas se sueldan con cobre sobre el cuerpo-base de la herramienta o se pegan a ese cuerpo-base **(fig. 25,1)**.

Propiedades. Los metales duros se caracterizan por su extraordinaria gran dureza, su dureza a altas temperaturas, y su capacidad de corte. La dureza se halla comprendida entre la del corindón y la del diamante. Para el afilado se emplean muelas de carburo de silicio, y para el bruñido o vaciado discos de bruñir a base de gránulos de diamante. La gran dureza en caliente (hasta 900° C) hace posibles muy altas velocidades de corte y grandes rendimientos de corte.

Con metal duro se pueden mecanizar cuidadosamente materiales que con aceros rápidos se trabajan difícilmente o son en absoluto imposibles de trabajar (fundición de acero con elevado contenido de manganeso, piezas de fundición con inclusiones de arena o de escorias, vidrio, porcelana, materiales con elevado poder abrasivo tales como el silumin y resinas artificiales con cargas minerales o materiales sintéticos en capas). El metal duro es también apropiado para trabajos de acabado finísimo o de alta precisión.

Los distintos tipos de metales duros han de estar amoldados a la aplicación que hayan de tener. Según ISO (DIN 499) se distinguen tres distintos tipos de mecanización:

P (azul) para materiales de viruta larga.

M (amarillo) para materiales de viruta larga o corta.

K (rojo) para materiales de viruta corta.

Los grupos principales se subdividen en otros grupos mediante números característicos.

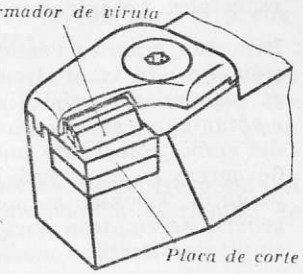


Fig. 25,1 Soporte de útil con placa de corte firmemente sujeta y formador de virutas desplazable (rompe-virutas).

Puede suponer una desventaja en los metales duros su sensibilidad frente a sacudidas y a solicitaciones bruscas, o a golpes (por ejemplo cuando se interrumpe el corte), que puede dar lugar a desportillamiento del filo. Los metales duros no soporten una refrigeración repentina, agrietándose fácilmente y rompiéndose.

Aleaciones de metal duro (estelita). Además de los antes citados metales duros de sinterización existen el celsite y otros que están compuestos por 35 ... 55 % Co, 25 ... 33 % Cr, 10 ... 25 % W, 2 ... 4 % C y 0 ... 10 % Fe, además de *metales duros, fundidos, de carburo*, compuestos por carburos de wolframio o de molibdeno y otros más. Se emplean preferentemente para asientos de válvula, anillos de presión, matrices, boquillas para chorro de arena, etc. Hoy día se emplean poco como metales de corte.

Materiales cerámicos

Fabricación. Se llaman cerámicos los productos obtenidos de la arcilla mediante cochura o sinterización. El óxido de aluminio contenido en la arcilla, es también el componente principal de los nuevos materiales cerámicos de corte. Estos últimos se originan igualmente, con empleo de aglomerantes, mediante sinterización y esto precisamente a muy altas temperaturas.

Propiedades. Los materiales de corte cerámicos soportan velocidades de corte dobles o triples que los metales duros. Son resistentes a la abrasión y tienen una gran resistencia a altas temperaturas. Por otra parte, empero, son muy agrios y extraordinariamente sensibles frente a vibraciones o percusiones y frente a las oscilaciones de temperatura. Por esta razón no pueden reemplazar a los metales duros, sino solamente completarlos. Preferentemente se prestan para trabajos de acabado o de repasado. Las placas de corte se sujetan generalmente mediante

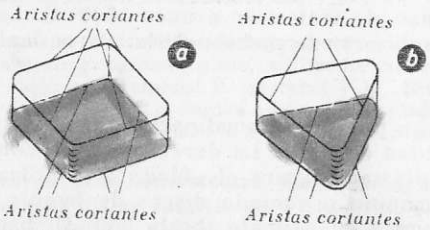


Fig. 26,1 Placas cerámicas de corte (placas de inversión), a) con 8 aristas cortantes; b) con 6 aristas cortantes.

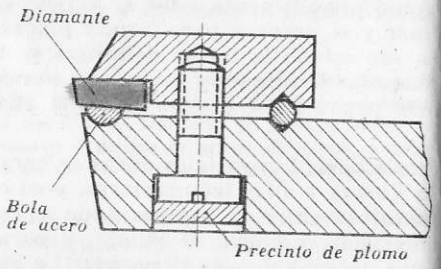


Fig. 26,2 Soporte para diamante provisto de bola (Winter).

garras o grapas **(fig. 25,1)**. En el caso de pequedas solicitaciones pueden también unirse al cuerpo de base mediante pegado empleando para ello medios adhesivos especiales. La soldadura es difícil y en general no se recomienda.

Reportan grandes ventajas las placas de expulsión, también llamadas de inversión. Una de estas placas cuadrangular tiene por ejemplo, 8 aristas cortantes, si es triangular 6 aristas cortantes **(fig. 26,1)**. El ángulo de incidencia se origina mediante una sujeción inclinada. El ángulo de ataque resulta así negativo. Después del embotamiento de uno de los filos se sujeta la plaquita en el soporte especial de garras en otra posición y cuando están embotados todos los filos se tira la plaquita. También es posible el afilado de las placas de corte cerámicas. Por lo general se emplean para ello muelas de diamante. Para el afilado previo pueden emplearse también muelas de carburo de silicio.

Diamantes

El diamante es el material más duro. A su dureza va unida una gran fragilidad. Hasta ahora ha sido imposible fabricar grandes diamantes por vía artificial. La mayor parte de los diamantes se utilizan para fines industriales (por ejemplo para brocas de piedra, muelas de bruñir o vaciar, hileras para alambre, herramientas de torno, aparatos para verificación de dureza). Para el mecanizado con arranque de viruta se utilizan diamantes, especialmente, para el torneado de refino de metal ligero, cobre, latón, bronce, metal blanco, goma dura, resinas artificiales y otros. La gran sensibilidad frente a choques o vibraciones exige para su empleo máquinas de funcionamiento muy tranquilo y soportes especiales para sujeción del útil **(fig. 26,2)**.

Determinación del tiempo de trabajo

Se entiende por tiempo principal, el tiempo durante el cual está cortando el útil (recorrido de avance). Con objeto de poder establecer el premio al rendimiento (destajo, prima) para una pieza, se necesita el tiempo total, necesario para una fabricación. Es decir, que además del tiempo principal hay que tener en cuenta tiempos para otros procesos.

En parte juega el operario un papel en la determinación del tiempo; tienen importancia por ejemplo, su destreza, pero también otras circunstancias sobre las cuales el trabajar no tienen la menor influencia como por ejemplo las de trabajar en máquinas modernas o en otras más anticuadas. Es muy difícil tener en cuenta todos los detalles [1].

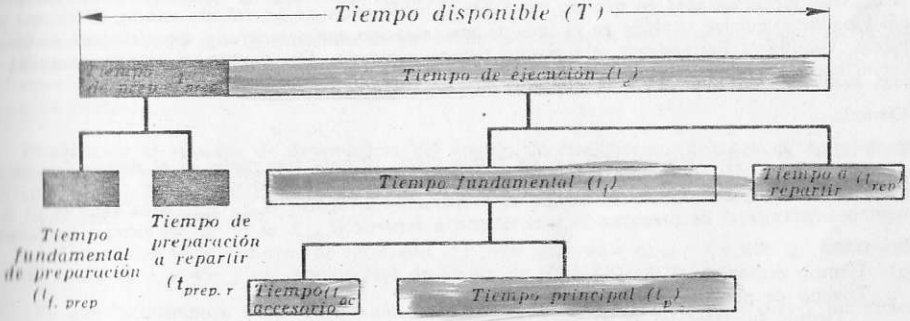


Fig. 27,1 Determinación del tiempo para el trabajo según REFA.

Se han fijado los siguientes conceptos:

El *tiempo disponible* (*T*) es el tiempo que se da a un operario para cumplir un encargo, es decir, para la fabricación de una pieza o de varias piezas o también para la mecanización parcial de piezas. Se compone del tiempo para la preparación y del tiempo para la ejecución de la pieza **(fig. 27,1)**.

Tiempo para la preparación ($t_{prep.}$) es el tiempo invertido en todos los necesarios preparativos para la ejecución del trabajo, por ejemplo para procurarse las herramientas, para la lectura del plano, para preparar y ajustar la máquina, para la preparación de las herramientas.

El *tiempo de ejecución* (t_e) se rige por el número de piezas que corresponde al encargo (unidades del encargo). En general hay que multiplicar el tiempo de ejecución de una pieza (t_u) por el número de piezas (m):

$$t_e = m \cdot t_u$$

Los *tiempos fundamentales* (t_f, t_{fp}) son tiempos que intervienen de modo *regular*. Se repiten del mismo modo durante el transcurso del trabajo o pueden como tiempo fundamental patrón (t_{fp}) intervenir en cada trabajo del mismo tipo a modo de magnitud constante. El tiempo fundamental se subdivide en tiempo principal y tiempo accesorio.

Durante el *tiempo principal* $t_{princ.}$ es cuando se produce la deseada variación de la pieza. Se consigue un avance directo. En la mecanización se trata del tiempo en que la herramienta está cortando, es decir del trayecto de avance.

[1] Ha publicado reglas de orientación para la determinación del trabajo la Asociación para Estudios del trabajo (Verband für Arbeitsstudien, antiguamente, Reischsausschuss für Arbeitsstudien — REFA).

Son *tiempos accesorios* (también llamados tiempos muertos o tiempos perdidos) ($t_{ac.}$) los tiempos necesarios por ejemplo para sujetar y ajustar la pieza, sujetar y aplicar la herramienta, medir y verificar, separar virutas, conectar y desconectar la máquina.

Los *tiempos a repartir* o *prorratear* ($t_{rep.}$, $t_{prep.\ rep.}$) son tiempos que intervienen de modo *irregular*. Consisten por ejemplo, en tiempos invertidos en trabajos de limpieza en la máquina y en el puesto de trabajo, en tiempos perdidos por perturbaciones en el proceso de trabajo (malas piezas de fundición, cambio de herramientas deterioradas y análogos), necesidades inaplazables del operario, cuidado de las máquinas.

Los tiempos de preparación, el tiempo principal y los accesorios pueden ser suministrados por apreciación, por cronometraje o bien mediante tablas formadas a base de valores de la experiencia (véanse las tablas AWF - REFA - ADB). El método de apreciación es inexacto pero se emplea en el caso de piezas aisladas en que no compensa la realización de un cálculo exacto. El tiempo principal puede calcularse también en el caso de mecanización como ocurre, y especialmente en grandes piezas, cuando la herramienta está mucho tiempo cortando. Los tiempos a repartir (también frecuentemente los accesorios o muertos) pueden añadirse en porcentaje.

Ejemplo:

Determinar el tiempo disponible T, a) para una pieza, b) para tres piezas si al tiempo fundamental de preparación (t_{fp}), el tiempo principal ($t_{princ.}$) y el tiempo accesorio ($t_{ac.}$) se estiman en 18, 14 y 10 minutos respectivamente. El tiempo de preparación a repartir ($t_{prep.\ rep.}$) debe valer el 10 % del tiempo fundamental de preparación y el tiempo a repartir ($t_{rep.}$), el 15 % del tiempo fundamental.

Solución:

α) Tiempo disponible T para una pieza:

Tiempo de preparación $t_{prep.}$:

Tiempo fundamental de preparación t_{fp}	= 18,0 min (apreciación)
Tiempo de preparación a repartir (tomado como 10 % del tiempo fundamental de preparación)	= 1,8 min
Tiempo de preparación $t_{prep.}$	= 19,8 min

Tiempo de ejecución t_u:

Tiempo fundamental t_f:

Tiempo principal $t_{princ.}$ por unidad	= 14,0 min (apreciación)
Tiempo accesorio $t_{ac.}$ por unidad.	= 10,0 min (apreciación)
Tiempo fundamental t_f	= 24,0 min (apreciación)
Tiempo a repartir $t_{rep.}$ (tiempo a repartir = 15 % del tiempo fundamental apreciado)	= 3,6 min
Tiempo de ejecución t_u por unidad	= 27,6 min
Tiempo de preparación $t_{prep.}$	= 19,8 min
Tiempo de ejecución t_u	= 27,6 min
Tiempo disponible T para una pieza	= 47,4 min

β) Tiempo disponible para tres piezas:

El tiempo de preparación $t_{prep.}$ es el mismo en este caso que cuando se trata de una sola pieza.

El tiempo de ejecución t_e se deduce de $t_e = m \cdot t_u$

t_u = tiempo de ejecución para una pieza

t_e = tiempo de ejecución para varias piezas

m = número de piezas

Tiempo de preparación $t_{prep.}$	= 19,8 min
Tiempo de ejecución $t_e = m \cdot t_u = 3 \cdot 27{,}6$ min	= 82,8 min
Tiempo disponible T para tres piezas	= 102,6 min

Ejercicios

1. 1,4 dm³ de virutas de acero pesan 1680 g. Se trata de calcular el volumen R y de juzgar sobre la formación de viruta ($\gamma = 7{,}85$).

2. Un árbol se ha desbastado desde los 85 mm ∅ hasta los 79 mm ∅ con un avance de $s = 0{,}32$ mm/rev. y a continuación se ha repasado a 78 mm ∅ con un avance $s = 0{,}08$ mm/rev. a) Calcúlese la sección de viruta y la relación $s : a$ en el desbastado y en el afinado. b) ¿Qué valor tiene la anchura de viruta (b) en el desbastado cuando se trabaja con un ángulo de ajuste de $\chi = 60°$ **(fig. 13,2)?**

3. El peso de una viruta de longitud igual a 480 mm es de 19,8 g. la densidad $\gamma = 7{,}85$ kg/dm³. Se produjo esta viruta con un avance $s = 0{,}25$ mm/rev. y una profundidad de viruta de $a = 6$ mm. Calcúlese el factor de recalcado (λ).

4. De un árbol de 35 mm ∅ ranurado longitudinalmente se sacan por torneado virutas de 28 mm de longitud por término medio. a) ¿Qué valor tenía el factor de recalcado (λ)? b) ¿Qué valor tenía la velocidad de salida de las virutas (v_c) si se trabaja con una velocidad igual a 18 m/min?

5. Establézcase la relación de dependencia del ángulo de cizallamiento (φ) con el factor de recalcado (λ) para los ángulos de ataque $\gamma = 0°$ y $\gamma = 30°$ (véase **fig. 15,1**). ¿En qué zona varía el ángulo de cizallamiento de modo especialmente fuerte con la magnitud del factor de recalcado?

6. ¿Qué magnitud tiene el factor de recalcado (λ) para un avance de $s = 0{,}4$ mm/rev, un ángulo de ajuste de $\chi = 45°$ y un espesor real de viruta de $d_t = 1{,}2$ mm?

7. ¿En qué % disminuye o aumenta según **fig. 17,1** la duración para los materiales y herramientas allí consignados cuando la velocidad de duración v_{60} aumenta o disminuye en un 20 %? ¿Qué consecuencias se deducen de aquí para la práctica?

8. Represéntese según **(T. 17,1)** la influencia del afilado de la broca: a) para la broca puntiaguda; b) para la broca no puntiaguda; c) para la broca en punta con filo principal corregido. ¿Qué magnitud tienen entonces v_{L1500} y v_{L350} en los tres casos?

9. Hay que desbastar unos árboles de St 50 de 90 mm ∅ a 84 mm ∅ con un avance de $s = 0{,}3$ mm/rev. Herramienta: Metal duro alemán. El redondeamiento del útil es de $r = 2$ mm y el ángulo de ajuste $\chi = 45°$. a) ¿Qué magnitud tienen el espesor de arco de viruta y las correspondientes velocidades de corte de duración del útil v_{210} y v_{180} (utilícense **figs. 18,2 y 3**). b) ¿En qué % podrán ser aumentadas las velocidades de corte de duración del útil para un avance de $s = 0{,}2$ mm/rev? c) ¿En qué caso se tiene el tiempo principal más ventajoso?

10. ¿Qué valor tiene el esfuerzo principal de corte cuando se trata de tornear piezas brutas de 25 Cr Mo 56 de 175 mm ∅ para reducirlas a 155 mm ∅ con un avance de $s = 0{,}5$ mm/rev (véase **fig. 22,1)?**

11. Determínese la fuerza específica de corte para el material St 34, ángulo de ataque $\gamma = 12°$: a) para un factor de recalcado conocido (véase **fig. 14,1**); b) para un ángulo de cizallamiento conocido (**fig. 15,1**); c) cuando sólo es conocida la resistencia a la tracción; d) compárense entre sí los resultados a), b) y c) y con el gráfico reticulado de la **fig. 17,1.** ¿Para qué secciones de viruta coinciden aproximadamente los resultados?

12. Hay que tornear rodillos de St 50 con un avance de $s = 0{,}25$ mm/rev de 150 mm ∅ hasta reducirlos a 132 mm ∅. ¿Qué valor deberá tomarse para el factor de recalcado? Utilizar los datos de la pág. 22.

13. Se dan el tiempo de preparación $t_{prep.} = 25$ min, el tiempo principal $t_p = 18$ min. el tiempo accesorio $t_{ac.} = 9{,}5$ min. El tiempo de preparación a repartir $t_{prep.\ rep.}$ debe tomarse como el 8 % del tiempo de preparación y el tiempo a repartir $t_{rep.}$ como el 12 % del tiempo fundamental. Calcúlese el tiempo disponible para el encargo, a) en el caso de una pieza; b) en el caso de doce piezas. c) ¿En qué tiempo tienen que estar terminadas las doce piezas cuando el torno recibe por cada minuto de ventaja 3,1 pfenning pero quiere ganar por cada hora de trabajo 2,10 DM?

Mecanizado mediante fresado

Modo de trabajar durante el fresado

En el fresado se realizan superficies planas o curvas, ranuras, perfiles de diente y roscas, con ayuda de un útil llamado fresa que gira arrancando viruta.

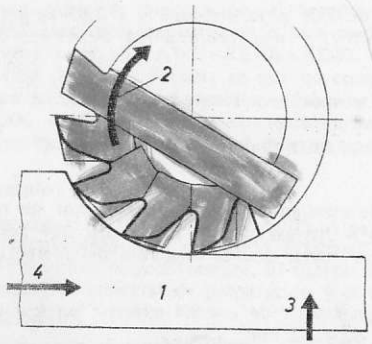


Fig. 30,1 El diente de fresa como útil de torno con movimiento de giro. 1, Pieza; 2, movimiento principal; 3, movimiento de aproximación; 4, avance.

Una comparación con el util de cepillar o con el de tornear nos proporciona para la fresa las siguientes peculiaridades **(fig. 30,1)**.

1. La fresa es un útil de corte múltiple de (filos múltiples) cuyos filos están dispuestos circunferencialmente.
   La fresa realiza un movimiento de rotación que constituye, al mismo tiempo, el movimiento principal o de corte. Los movimientos de avance y de acercamiento los realizan la pieza o también la herramienta.
   Cada uno de los filos de la fresa no está continuamente cortando, sino que la acción de arranque de viruta se reparte sobre varios filos. Se trata, por lo tanto, al fresar, de una sucesión interrumpida de cortes individuales.

Contrariamente al cepillado , el fresado presenta generalmente la ventaja de menores tiempos de marcha en vacío, pero también la desventaja de mayores costos de herramienta.

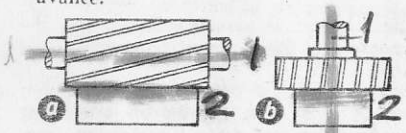


Fig. 30,2 Fresa de rodadura o cilíndrica y fresa frontal. 1, Eje del útil; 2, superficie a trabajar en la pieza.

Clases de fresado [1]

Se distingue entre fresado de rodadura o cilíndrico y fresado frontal.

Fresado de rodadura o cilíndrico

En la operación de fresar con fresa cilíndrica el eje de la herramienta tiene posición paralela a la superficie que se trabaja mientras que en el fresado frontal ese eje es normal a la citada superficie **(fig. 30,2)**.
El fresado cilíndrico puede ser tanto en contradirección como paralelo **(figs. 30,3 y 30,4)**.

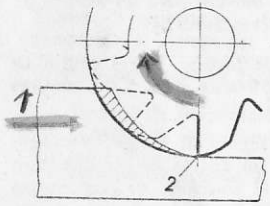


Fig. 30,3 Fresa en contradirección.

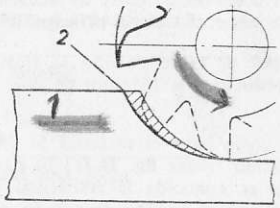


Fig. 30,4 Fresado paralelo.

1 Sentido del avance. 2 Movimiento principal o de corte.

Fresado en contradirección. El diente de la fresa trabaja contra la dirección del avance.

La sección transversal de la viruta va aumentando durante el corte. Se obtienen virutas en forma de coma.

Resulta desventajosa en este tipo de fresado la circunstancia de que el diente de la fresa al principio del corte penetra difícilmente en el material. El filo resbala al principio sobre la superficie que se trabaja, es empujado por la pieza y se incrusta paulatinamente en el material (deslizamiento de aplastamiento). El husillo porta-fresa se flexa en grado mayor o menor. Con ello se presenta la superficie de la pieza frecuentemente con ondulaciones.

[1] Véase también fresadora de dientes por percusión, pág. 39.

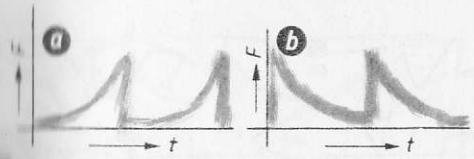


Fig. 31,1 Variación del esfuerzo de corte en el diente de la fresa a) en el caso de fresado en contradirección; b) en el caso de fresado paralelo.

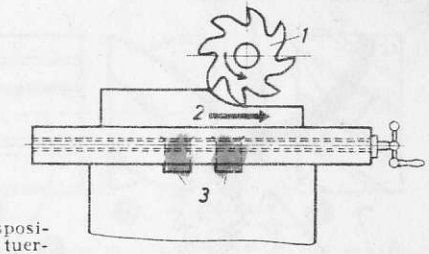


Fig. 31,2 Evitación de la carrera muerta mediante disposición de dos tuercas de husillo. 1, fresa; 2, avance; 3, tuercas en el husillo de mesa.

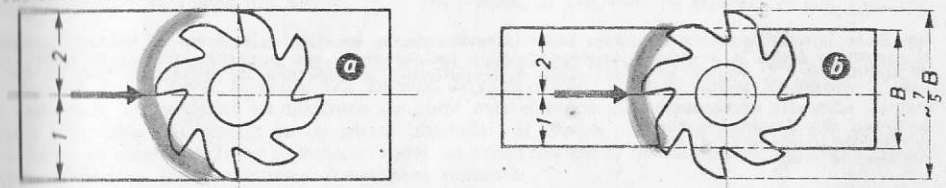


Fig. 31,3 Formación de viruta en el fresado frontal. a) Diámetro de la fresa = anchura de la pieza (sección de viruta en forma de coma), 1, trabajo a contradirección; 2, trabajo paralelo. b) Diámetro de la fresa = 5/7 de la anchura de la pieza (sección aproximadamente constante de la viruta); 1, la fresa trabaja en sentido paralelo (anchura menor); la fresa trabaja en contradirección (anchura mayor).

Al aumentar la sección transversal de la viruta crece también el esfuerzo de corte hasta un valor máximo. Cuando el diente de la fresa sale de la pieza el esfuerzo cae repentinamente. La fuerte variación repentina del esfuerzo de corte, que es muy perjudicial, se disminuye haciendo que varios dientes corten a la vez o que los dientes estén constituidos en forma espiral **(fig. 31,1)**.

Fresado cilíndrico paralelo. La dirección de corte de la fresa y el movimiento de avance de la pieza tienen el mismo sentido. El diente de la fresa empieza el corte con el mayor espesor de la viruta. Hasta la salida del filo va disminuyendo el espesor de la viruta que se hace igual a cero finalmente , de modo que con el fresado paralelo se producen virutas en forma de coma. Los esfuerzos de corte toman a golpes un valor máximo y disminuyen después paulatinamente hasta cero **(fig. 31,1)**.

Frente al fresado a contradirección, el fresado paralelo tiene la ventaja de que no se presenta el deslizamiento de aplastamiento con lo cual disminuye el desgaste en los filos. La superficie de la pieza resulta más lisa. Puesto que el esfuerzo de corte va en parte dirigido hacia abajo es decir presionando contra la pieza, ésta apoya bien sobre la mesa de la fresadora. Esta mesa desliza firme y segura en sus vías de guía. Es condición previa para el fresado paralelo que el husillo de mesa de la fresadora y la sujeción de la pieza no tengan juego alguno. En caso contrario, durante el corte la fresa atraería a sacudidas la pieza con la mesa de la fresadora de modo proporcional a la magnitud del juego, el espesor de las virutas resultaría con ello demasiado grande, la fresa trabajaría de modo agitado y se originará rotura de los dientes. Se soslaya este defecto por ejemplo mediante resortes o pesos que aprietan enérgicamente y de modo continuado la mesa contra el husillo. A veces se disponen dos husillos de mesa o dos tuercas en el husillo **(fig. 31,2)**. A veces se tensa la mesa de la fresadora fuertemente de modo que le cueste más moverse en su guía. Por otro lado hay que dar importancia también a un buen y rígido apoyo de la fresa. Actúa de modo desfavorable, cuando se trabaja con fresado paralelo, la presencia de una costra de fundición dura en la pieza porque en el momento de iniciarse el corte se presenta una fuerte solicitación en el diente de la fresa y especialmente en su filo.

Fresado frontal

Como en el fresado cilíndrico también en el frontal trabaja la fresa principalmente con los dientes de la periferia. Los dientes frontales sirven únicamente para alisar.
Si el diámetro de la fresa fuera igual al ancho de la pieza, variaría también en el fresado frontal el espesor de la viruta desde el valor cero hasta un valor máximo, pero no para bajar entonces repentinamente, sino para descender al valor cero de un modo paulatino. Durante la primera parte trabaja el diente de la fresa en contradirección y durante la segunda, en cambio, trabaja con fresado paralelo **(fig. 31,3)**.

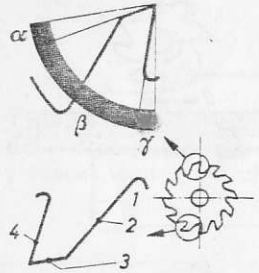


Fig. 32,1 Denominaciones en el diente de fresa. α, ángulo de incidencia; β, ángulo de cuña o de filo; γ ángulo de ataque; 1, ranura de virutas; 2, dorso del diente; 3, superficie de incidencia; 4, superficie de ataque.

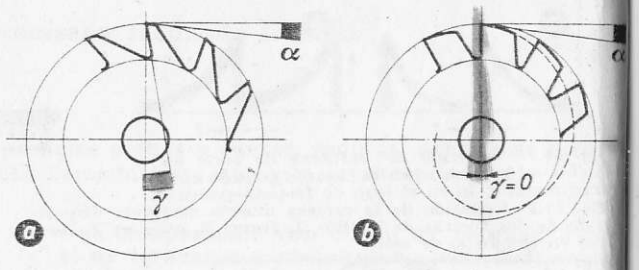


Fig. 32,2 Constitución de los dientes de fresa. a) Dientes fresados; la superficie de incidencia es una superficie plana; b) diente destalonado o despullado; la superficie de incidencia tiene la forma de una espiral.

En la práctica el diámetro de la fresa se mantiene más grande, igual aproximadamente a los 7/5 y en los materiales de viruta larga hasta unos 8/5 de la anchura de la pieza. Con ello se obtiene para una sección transversal aproximadamente igual un corte lleno y por tanto más ventajoso. Es conveniente ajustar la fresa de tal modo que la mayor parte corte en contradirección, es decir de modo que la fresa sobresalga por el lado de la salida de los dientes algo más que por la entrada.

Las condiciones del mecanizado son de este modo en el fresado frontal las más favorables. Para el fresado de superficies planas es indispensable recomendar que se proceda de la manera explicada.

Materiales para las fresas

Como material de corte para las fresas se emplean:

1. Acero rápido (para rendimientos normales, altos y muy altos).
2. Metal duro.

El acero de herramientas es, en verdad, barato, pero permite solamente rendimientos reducidos y resulta por ello generalmente antieconómico.
Las fresas de acero rápido son notablemente más caras que las herramientas de acero pero pueden obtenerse con ellas un rendimiento mucho mayor por lo cual se emplean de modo predominantemente, teniéndose así:
Fresas de acero rápido para rendimientos normales por ejemplo en trabajos de aceros de resistencia pequeña a media, para fundición gris corriente, latón, bronce, aluminio.
Fresas de acero rápido para rendimientos altos y muy altos en trabajo de aceros de gran resistencia, fundición gris muy dura y otros materiales.
Las fresas de acero de herramientas sirven cuando se trata de trabajos especiales para un pequeño número de piezas que no compensa la preparación de una fresa cara de acero rápido o cuando la máquina no permite la utilización de la fresa.
Las fresas con filos de acero duro entran en consideración especialmente para el trabajo de materiales de difícil mecanización que ejercen sobre el filo una acción fuertemente abrasiva como por ejemplo la fundición dura, la fundición gris con costra arenosa, materiales prensados con materiales de relleno minerales, aleaciones de aluminio conteniendo silicio manganeso.

Constitución de los dientes de fresa

Denominaciones. Como en toda herramienta para arranque de viruta encontramos también en el diente de la fresa los ángulos y superficies de arranque y de incidencia y el ángulo de cuña o de filo. La parte dorsal del diente se designa como dorso del diente y el hueco entre dos dientes se llama ranura de viruta **(fig. 32,1)**.

Formas de los dientes. Los dientes de la fresa están o bien tallados en el macizo de una pieza o bien fijados uno a uno en un cuerpo de base.

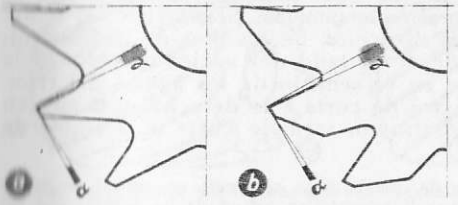


Fig. 33,1 Influencia de la forma de la ranura de virutas sobre la forma del diente.

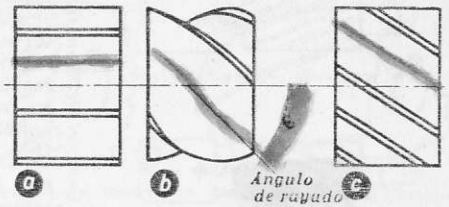


Fig. 33,2 Sesgo de los dientes: a) con ranura recta, b) con ran. en espiral; c) con ran. inc.

Dientes tallados en el macizo de una pieza: Generalmente recibe el diente su forma mediante *fresado* o mediante *destalonado* **(figs. 32,2 a y b)**. Los dientes fresados son más fáciles de fabricar y abaratan, por lo tanto, la pieza. Los ángulos de corte pueden adaptarse mejor a las necesidades de cada caso, se consiguen rendimientos de corte más elevados así como mayor duración de los filos y superficies más limpias en las piezas obtenidas. Si ello es posible se preferirá por lo tanto esta forma de dientes. Así por ejemplo en todas las fresas con que se quiera obtener superficies llanas (fresas cilíndricas, fresas angulares, fresas para ranurar).
Si por el contrario se trata de fresar con precisión superficies curvas, se emplearán generalmente dientes destalonados. Tienen estos dientes la ventaja de que mediante un afilado bien hecho se mantiene la forma exacta del diente pudiendo utilizarse éste hasta un punto de desgaste en que quede sólo un pequeño resto. Constituyen otros tantos inconvenientes el elevado costo de fabricación y los a veces verdaderamente desfavorables ángulos de corte (ángulo de ataque generalmente 0°).
Dientes de fresa que constituyen especiales cuerpos cortantes: Con objeto de que en las fresas de grandes dimensiones se ahorre el valioso material necesario para los filos se hace frecuentemente el cuerpo de base de la fresa en acero de construcción barato y se le aplican filos de material cortante de alto valor en forma de plaquitas o cuchillas. Estas cuchillas pueden estar firmemente unidas al cuerpo de base o bien ser recambiables (cabezal de cuchillas).
La unión firme puede obtenerse por ejemplo mediante encaje de las cuchillas a presión. Otro método consiste en aprovechar la circunstancia de que el acero templable ocupe después de templado un volumen mayor que el que tenía. La cuchilla adaptada exactamente en el cuerpo de base quedará firmemente sujeta por lo tanto después del temple.
Las cuchillas intercambiables se sujetan al cuerpo de base mediante clavijas o tornillos.

Influencia de la ranura de virutas sobre la forma de los dientes. La forma de los dientes depende de la forma de la ranura para virutas. Las ranuras para virutas grandes y profundas proporcionan en verdad capacidad para alojamiento de las virutas que se van produciendo pero con frecuencia debilitan en cambio notablemente al diente. En virtud de una apropiada constitución de la ranura para viruta se puede evitar ampliamente este inconveniente **(fig. 33,1)**.
Sesgo de los dientes. Se distingue entre fresas con ranura recta, con ranura espiral y con ranura inclinada **(fig. 33,2)**.
En las fresas con ranura recta el filo va paralelo al eje de la herramienta. Con esto se origina el inconveniente de que toda la arista del filo muerde simultáneamente la pieza y sale simultáneamente de ella. La fresa trabaja a golpes. Cuantos menos dientes están en el corte tanto más se nota esta desventaja.
En las fresas con ranura en espiral el filo tiene la forma de una línea helicoidal. La inclinación del filo respecto al eje de la herramienta se llama ángulo de rayado (ε). El diente penetra paulatinamente en el material y produce un corte cizallante como de mondar o de descortezar. La superficie de la pieza resulta más limpia. El avance y la profundidad de corte pueden ser mayores. El rendimiento de corte resulta también mayor. Cuando el ángulo de rayado es grande (más de 30°) se habla también de dientes de mondar o descortezar.
En el caso de fresas de ranura inclinada el filo forma una línea inclinada respecto al eje de la herramienta. Se encuentra este tipo de fabricación especialmente en las fresas con dientes postizos ya que en éstos la forma helicoidal que corresponde a la espiral de los dientes es de difícil ejecución o de difícil montaje en las fresas. La ventaja es análoga a la de las fresas de ranura espiral. Supone una leve desventaja la circunstancia de que tanto el ángulo de ataque como el de inclinación (inclinación de rayado) no tienen la misma magnitud en toda la anchura del diente.

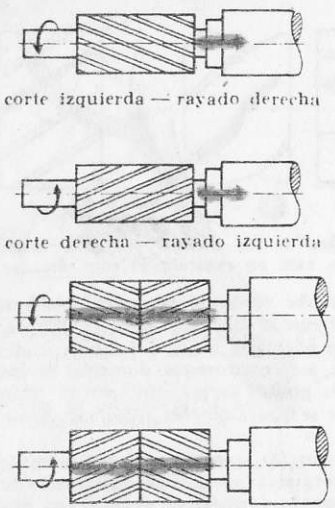


Fig. 34,1 Dirección del filo. Dirección de la ranura de virutas. Presión longitudinal (fresa cilíndrica)

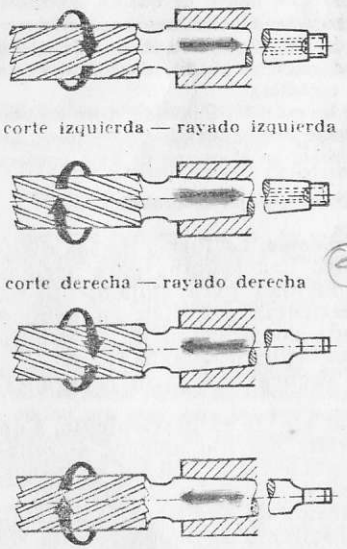


Fig. 34,2 Dirección del filo. Dirección de la ranura de virutas. Presión longitudinal (fresa de vástago).

Dirección de los filos, dirección de las ranuras de virutas y presión longitudinal. Según DIN 857 se determina la dirección de los filos de la fresa mirándola desde el lado del accionamiento. Si la fresa gira en el sentido de las agujas del reloj, se le llamará de corte a la derecha, y si gira en sentido contrario, será de corte a la izquierda **(fig. 34,1)**.

Con objeto de que la fresa ranurada en espiral no pueda salirse de su alojamiento en virtud de las fuerzas que actúan en sentido longitudinal (fuerzas axiales) y para evitar vibraciones y superficies trabajadas poco limpias, deberán tener las fresas cilíndricas con giro a la derecha, rayado izquierdo y las que giran a la izquierda, rayado derecho. A veces se acoplan dos fresas con rayados de direcciones opuestas. Con esta disposición se compensan las fuerzas axiales.

En las fresas frontales se daría lugar en el caso de direcciones de giro y de rayado opuestas a un desfavorable ángulo de corte en las esquinas de la fresa. Por esta razón se emplean en general para fresas frontales de giro a la derecha rayado también a la derecha y para las de giro a la izquierda rayado a la izquierda pero habrá que asegurar entonces la fresa contra la fuerza axial que tiende a sacarla de su alojamiento **(fig. 34,2)**.

Magnitud de los ángulos de corte

La magnitud de los necesarios ángulos se rige en primer término por el material de la herramienta y por el de la pieza. Tiene, empero, también mucha importancia la clase de corte con que se trabaje. En las fresas de corte paralelo, el ángulo de incidencia (α) y el de ataque (γ) tienen que elegirse notablemente más grandes que cuando se fresa en contradirección **(T. 34.1)**.

En las fresas con despulla (o sea destalonadas) el ángulo de ataque es generalmente de 0°, porque de este modo es más fácil conseguir la forma del diente. Si se quieren tener otros ángulos de ataque más favorables, habrá que tener esto en cuenta al realizar la forma, puesto que al variar el ángulo de ataque se produce también una variación de la forma. Para juzgar sobre los ángulos de corte en fresas dentadas en espiral o de modo oblicuo tiene importancia el hecho de que los ángulos de corte reales han de medirse perpendicularmente a la arista del filo, es decir que son distintos que los que se determinan en el lado frontal. La diferencia es tanto más grande cuanto más grandes sean el ángulo de rayado y el de inclinación. Para un ángulo de rayado de 45° el verdadero ángulo de ataque es por ejemplo unos 4° más pequeño que el que se mediría en el lado frontal de la fresa.

Tabla 34,1

	Corte en contradirección			Corte paralelo		
	α	γ	ε	α	γ	ε
Aceros normales	7°	10°	38°	12°	16°	35°
Materiales duros	4°	5°	35°	8°	12°	30°
Metales ligeros	8°	25°	45°	14°	30°	45°

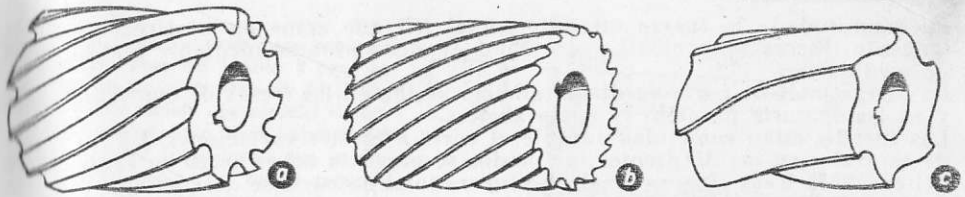


Fig. 35,1 Tipos de herramienta: a) Fresa cilíndrica para materiales normales (N); b) fresa cilíndrica para materiales duros (H); c) fresa cilíndrica para materiales blandos (W) (*).

Tipificación de las herramientas

Tomando las cosas con todo rigor deberíamos en cada caso particular emplear en la herramienta distintos ángulos de corte y de rayado, distinto número de dientes, etc., según sean el material de la pieza y el procedimiento de trabajo que se utilice.
Con objeto de unificar la forma de las fresas, de evitar grandes existencias en almacén, para simplificar la fabricación y especialmente para facilitar al operario la elección de la herramienta correcta, se han establecido tres tipos de herramienta (N, H, W) (*) **(fig. 35,1)**.

Según DIN 1836 se emplean:

El tipo de herramienta N (Normal) para aceros de blandos a semiduros, fundición gris blanda, fundición maleable, acero colado, aleaciones de cobre agrias y materiales sintéticos no estratificados.
El tipo de herramienta H (Hart = duro) para materiales muy duros, por ejemplo, aceros tenaces duros y fundición gris dura.
El tipo de herramientas W (Weich = blando) para materiales blandos y tenaces, por ejemplo para aleaciones de cobre blandas, aleaciones blandas de metal ligero y materiales sintéticos en capas.

Acción de los esfuerzos sobre la fresa

Las fuerzas que actúan sobre la fresa y que solicitan tanto la herramienta misma como los elementos constructivos de la máquina y los aparatos de sujeción de la herramienta y de la pieza pueden ponerse claramente de manifiesto mediante el paralelogramo de fuerzas **(fig. 35,2)**.
La fuerza vertical (S) y la horizontal de avance (V) que actúan sobre la fresa en las direcciones citadas pueden medirse en el banco de pruebas. Componiéndolas se puede determinar la fuerza total de corte (F). Descomponiendo la fuerza total de corte (F) se obtiene la magnitud de la fuerza (M) que actúan en el centro de la fresa así como la fuerza circunferencial, periférica o tangencial (U).

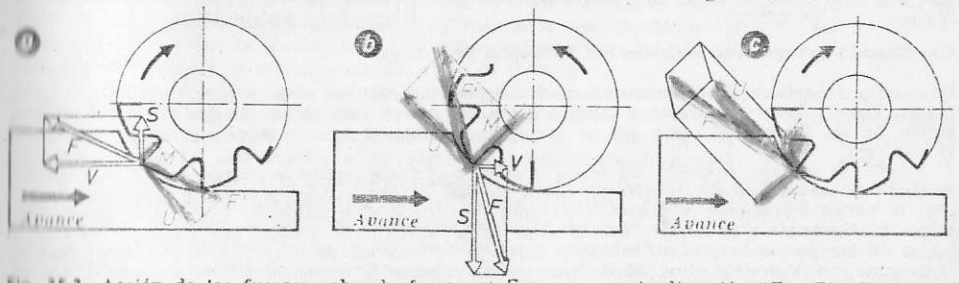


Fig. 35,2 Acción de las fuerzas sobre la fresa: a) Fresas en contradirección ($F = F'$); b) fresas trabajando con corte paralelo; c) acción de las fuerzas en la fresa con dentado espiral (fuerza total de corte descompuesta según 3 direcciones normales entre sí en el espacio) A = fuerza axial.

(*) *Nota del traductor:* Las letras N, H y W hacen referencia a las palabras alemanas Normal, Hart y Weich (normal, duro y blando, respectivamente).

La magnitud de la fuerza circunferencial (U) que actúa en la dirección de la tangente (fuerza tangencial) puede también determinarse mediante instrumentos de medida.
La fuerza total de corte va dirigida hacia arriba en las fresas de contradirección y en las de corte paralelo va hacia abajo.
Las fuerzas están sometidas durante el corte a fuertes variaciones. En las fresas de espiral o en las de dientes inclinados se presenta un esfuerzo en la dirección del eje de la fresa (fuerza axial). La fuerza total de corte se descompone por esta razón *en el espacio* **(fig. 35,2 c)**.

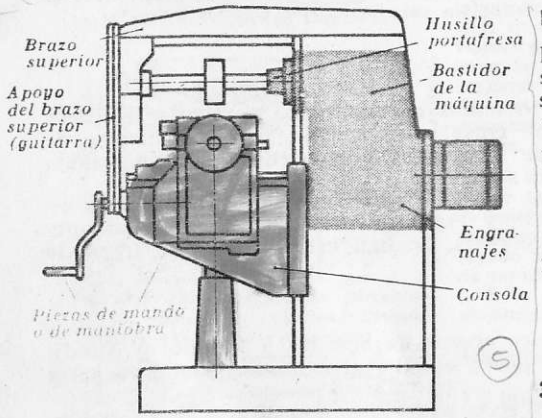


Fig. 36,1 Partes principales de la fresadora.

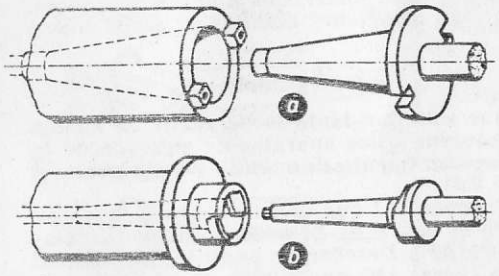


Fig. 36,2 Cabezas de husillo de trabajo. a) según DIN 2079 (ISO), b) según DIN 2201 con cono Morse.

Máquinas fresadoras — Clases

La estructuración de las máquinas fresadoras es muy variada. Se pueden clasificar bajo los siguientes puntos de vista:

1. *Según la posición del husillo de trabajo:*
   Fresadoras horizontales.
   Fresadoras verticales.
2. *Según los movimientos de la mesa:*
   Fresadoras sencillas.
   Fresadoras universales
   Fresadoras para planear.
   Fresadora paralela.
3. *Según el número de husillos de fresar:*
   Fresadoras de un solo husillo.
   Fresadoras de varios husillos.
4. *Según el método de trabajo:*
   Fresadoras de marcha paralela y de marcha en contradirección.
   Fresadoras para roscar.
   Fresadoras para trabajar por el procedimiento de envolvente o de rodadura.
   Fresadoras de diente percutor o de un solo diente.
   Fresadoras de copiar.
   Fresadora de grabar.
   Fresadora para ranurar.
   Fresadora de palanca de mano.
   Fresadora automática.

Constitución de una fresadora sencilla horizontal (fig. 36,1).

El *cuerpo o bastidor de la máquina* es el cuerpo principal que aloja o soporta todas las demás piezas. Tiene que ser tan rígido y robusto como sea posible con objeto de que no ceda bajo a la acción de las fuerzas de corte que se presentan durante el fresado y de que no se produzcan vibraciones.
El *husillo de trabajo*, o *husillo de fresar* o *árbol portafresa*, recibe la herramienta y le da el movimiento de corte. Está constituido por acero especial de alta calidad y es corto y robusto, con lo cual se evitan vibraciones y flexiones. El cono interior o el exterior de este husillo sirven para alojar la herramienta de fresar. Con auxilio de un tornillo de apriete que pasa por el espacio hueco del husillo puede quedar firmemente sujeta la herramienta de fresar. Un alojamiento ranurado la asegura contra posible giros. Modernamente las cabezas de los husillos de trabajo están normalizadas, con conos afilados siguiendo el ejemplo americano (DIN 2079) **(fig. 36,2)**. En la cara frontal ranurada de la cabeza del husillo se fijan unos tacos paralelepipédicos que encajan en la valona del vástago del husillo convenientemente conformado para adaptarse en esa cabeza.
El husillo de trabajo va cuidadosamente soportado mediante cojinetes de deslizamiento o de rodadura en el cuerpo o bastidor de la máquina. Los esfuerzos que siguen la dirección del eje del husillo son recibidos por un soporte de bolas acanalado axial.

El *brazo superior* sirve para soportar el extremo libre del husillo y para su apuntalamiento suplementario. El citado brazo puede recibir una especial rigidez mediante lo que se llama apoyo del brazo superior (o guitarra) que se dispone en la mesa. La forma redonda primitiva del brazo superior ha sido reemplazada por la rectangular con ranura en forma de cola de milano.
La *mesa móvil* (consola) con carrito transversal soporta la pieza a trabajar y facilita los necesarios movimientos de ajuste y aproximación. Se desliza en dirección vertical en guías a cola de milano dispuestas en el cuerpo o bastidor de la máquina. Para el ajuste en altura sirve un husillo que se mueve en una pieza-tuerca de la placa de base. A veces ese husillo está conformado telescópicamente, es decir de modo que una parte se enrosque en la otra.
Sobre la mesa móvil (consola) se mueve en guías a cola de milano el carrillo transversal (corredera) y sobre éste perpendicularmente la mesa de fresar.

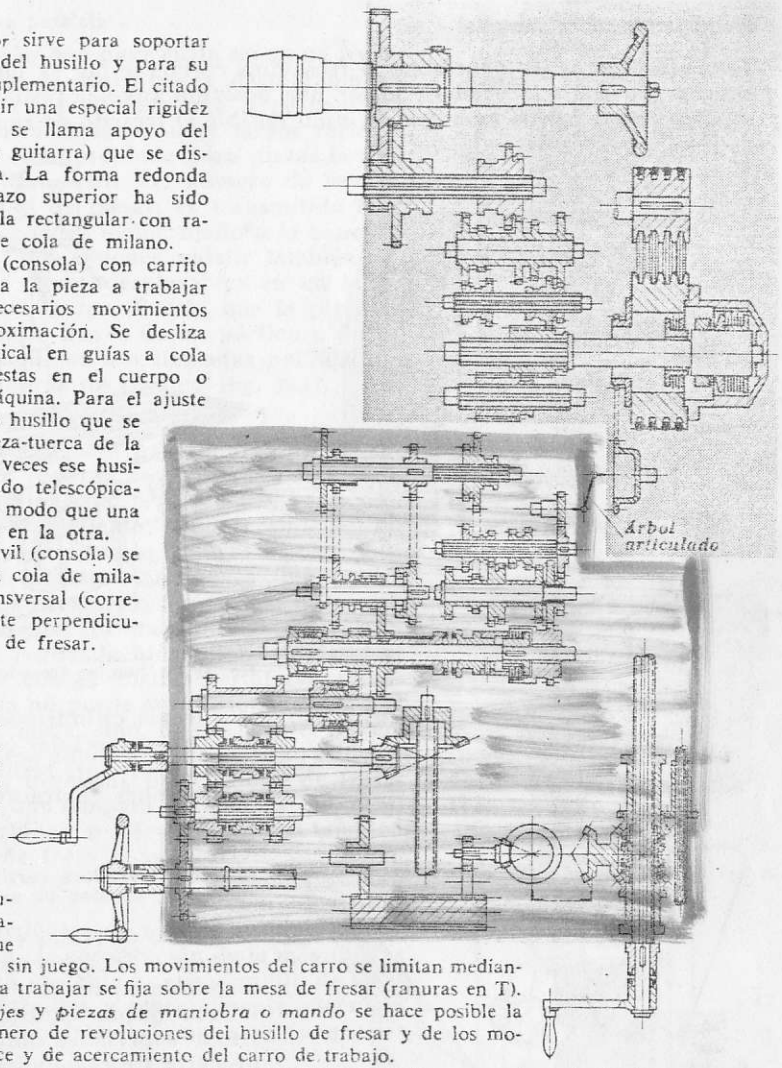


Fig. 37,1 Arriba: Plano de engranajes de una fresadora. Abajo: Transmisión del avance mediante árbol articulado.

Con listones cuneiformes desplazables se consigue que la guía tenga lugar sin juego. Los movimientos del carro se limitan mediante topes. La pieza a trabajar se fija sobre la mesa de fresar (ranuras en T). Mediante *engranajes* y *piezas de maniobra o mando* se hace posible la regulación del número de revoluciones del husillo de fresar y de los movimientos de avance y de acercamiento del carro de trabajo.
Mientras que las máquinas más antiguas van todavía equipadas con accionamiento de poleas escalonadas y contramarcha, las máquinas modernas van con motor acoplado con brida, accionamiento con una sola polea y para la regulación del número de revoluciones un sistema de engranajes (generalmente ruedas desplazables o correderas). Un mecanismo de inversión hace posible que el husillo pueda ir con giro a la derecha o a la izquierda. El movimiento de avance en las máquinas más modernas se deriva, generalmente, no del husillo de trabajo, como en el torno, sino del árbol motor y por lo tanto es regulable independientemente del número de revoluciones del husillo. El avance no se da por esta razón en mm/rev, sino como velocidad de avance en mm/min. La transmisión al carro de trabajo frecuentemente corre a cargo de un árbol articulado **(fig. 37,1)**. El avance automático puede desconectarse a través de un tornillo sin fin de caída, o basculante, mediante topes desplazables.
Las ruedas dentadas templadas y esmeriladas y a veces, en las máquinas modernas, hasta bruñidas, están dispuestas generalmente en árboles de chavetas y son por ello fácilmente maniobradas. Los árboles del mecanismo de engranajes se mueven en cojinetes de rodamientos. Todas las piezas están bien equilibradas.

Máquina fresadora universal

Esta máquina se diferencia de la fresadora corriente por la mesa basculante de que va provista y que puede tomar una posición angular respecto al eje del husillo de fresar lo que hace por ejemplo posible el fresado de ranuras helicoidales

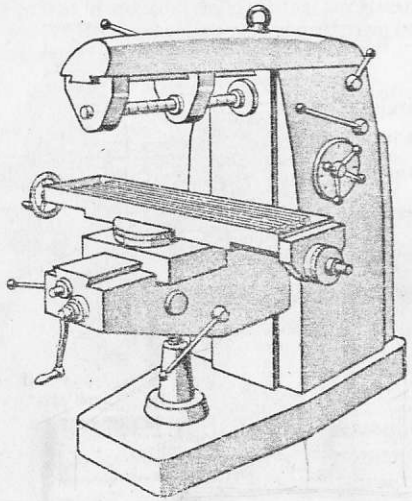


Fig. 38,1 Máquina fresadora universal.

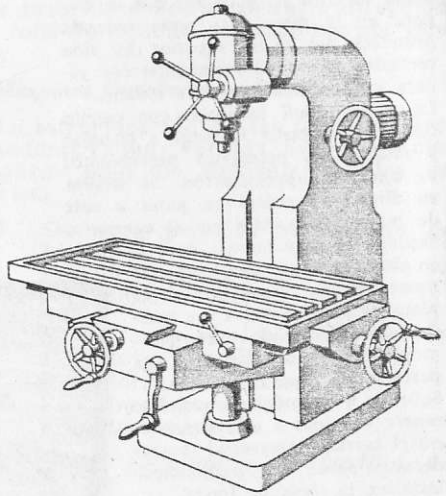


Fig. 38,2 Máquina fresadora vertical.

en cuerpos cilíndricos. En unión de dispositivos especiales como, por ejemplo, el plato divisor, resulta la máquina de aplicaciones extraordinariamente variadas.

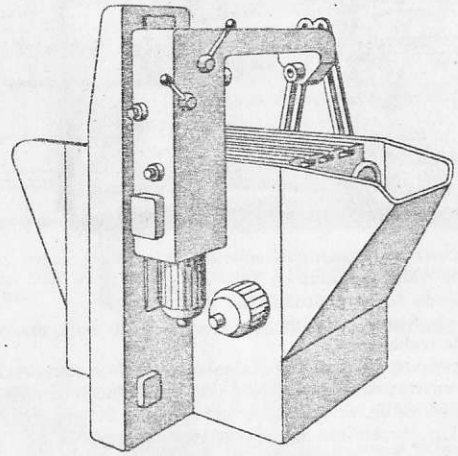


Fig. 38,3 Máquina fresadora para planear o refrentar.

Máquina fresadora vertical

El husillo de fresar está dispuesto verticalmente. Se encuentra frecuentemente dispuesto en un cabezal basculante con lo que queda facilitado el trabajo de fresar superficies oblicuas. La zona de números de revoluciones del husillo de fresar es generalmente mayor que en la máquina fresadora horizontal (fig. 38,2).

Máquina fresadora para planear o refrentar

En esta máquina no puede desplazarse en altura la mesa de fresar. Por esta razón puede ser construida con guías y apoyos para piezas pesadas. La misión del desplazamiento en altura la toma a su cargo el cabezal portafresa en el que va soportado el husillo de fresar. Este husillo es además desplazable axialmente en una pinula (fig. 38,3).

Máquina fresadora paralela

Análogamente a lo que pasa en la máquina fresadora de planear, la mesa no es desplazable en altura. Desliza, empero, sobre una larga bancada y puede por lo tanto hacer muy largos recorridos siendo por ello apropiada para piezas largas. El avance, independiente del número de revoluciones del husillo de fresar, es transmitido a la mesa de fresar por un motor fijado a la bancada por medio de brida. Pueden existir también varios husillos de fresar desplazables en un bastidor en forma de marco. Puesto que la pieza se hace pasar como a través de un pórtico o portal este tipo de máquinas son llamadas por algunos máquinas fresadoras de pórtico (fig. 39,1).

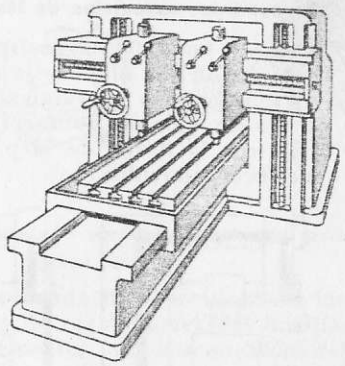


Fig. 39,1 Máquina fresadora paralela.

Máquina fresadora para ranuras largas

Se prestan especialmente para el fresado de ranuras que no se realizan en una sola carrera de trabajo, sino mediante un repetido ir y venir con un simultáneo movimiento de acercamiento de la herramienta (por ejemplo ranuras de chavetas, agujeros largos, aberturas a través de piezas). Los movimientos necesarios los ejecuta la máquina automáticamente. El movimiento de vaivén por ejemplo es realizado hidráulicamente por el carro de fresar con el husillo portafresa, mientras que la mesa no puede ser accionada, para el movimiento de ajuste, sino, manualmente. Al terminarse el proceso automático de trabajo, es decir al alcanzarse la necesaria profundidad de fresado, se enciende una lámpara indicadora (fig. 39,2).

En estas máquinas pueden realizarse también otros trabajos de fresado vertical.

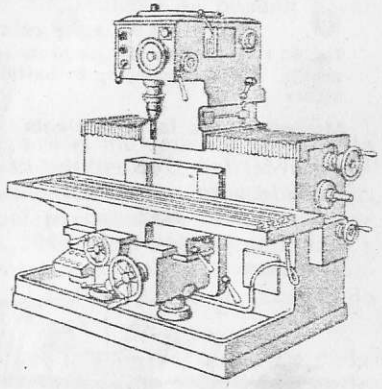


Fig. 39,2 Máquina fresadora para ranuras largas.

Máquina fresadora de palanca de mano

Como los movimientos de avance se realizan solamente a mano, la constitución de la máquina es muy sencilla, no obstante lo cual, resulta de aplicaciones muy variadas y especialmente adecuada para trabajos de fresado cortos y pequeños (fig. 39,3).

Máquina fresadora de engranajes por percusión

Para fresar engranajes por percusión se emplean una herramienta de movimiento rápido y un solo filo o bien una provista de muy pocos filos (fresa de un solo diente). Se presta para ello cualquier fresadora normal, siempre que su construcción sea suficientemente robusta, que tenga poco juego en los cojinetes, elevado número de revoluciones (más de 1000 rev/min) y permita grandes avances (más de 500 mm/min). La potencia de accionamiento tiene que ser proporcionalmente elevada (fig. 98,2).

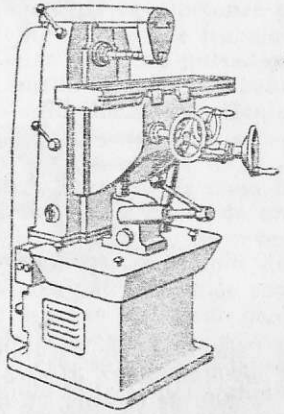


Fig. 39,3 Máquina fresadora de palanca de mano.

Dispositivos especiales de las máquinas fresadoras modernas

Con objeto de poder realizar el trabajo de fresado en un tiempo tan corto como sea posible, de obtener la mejor calidad superficial de las piezas, de aprovechar al máximo las herramientas, pero cuidándolas y elevando su duración, y de tener un empleo polifacético de la máquina, es decir, de adaptarla adecuadamente a la forma de la pieza, se han desarrollado los siguientes dispositivos o perfeccionmientos.

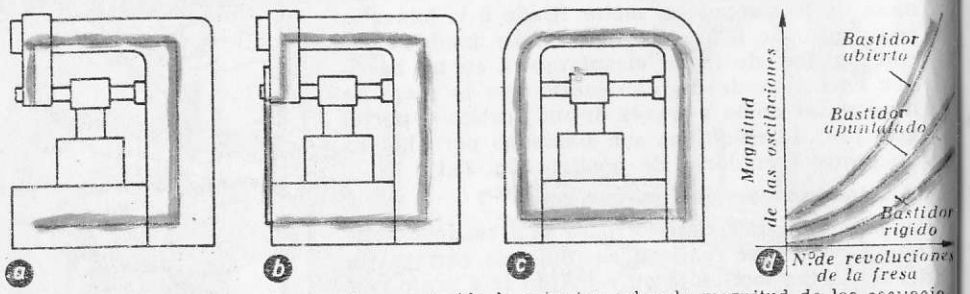
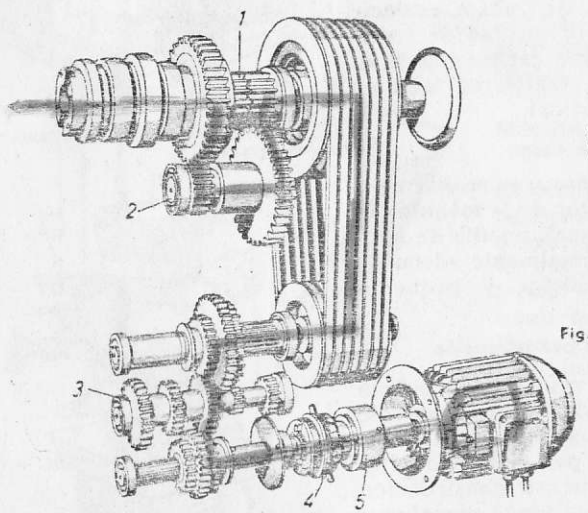


Fig. 40,1 Influencia del modo de estar construida la máquina sobre la magnitud de las oscilaciones: a) bastidor abierto; b) bastidor apuntalado; c) bastidor rígido; d) magnitud de las oscilaciones

Movimiento de la herramienta

Se necesitan gran campo de número de revoluciones del husillo *de fresar* y suficiente número de escalones, con objeto de que la velocidad de corte pueda ser adaptada al diámetro de la fresa y al material de la pieza así como al de la herramienta (ejemplo: 16 ... 1800 rev/min con 42 escalones de número de revoluciones).



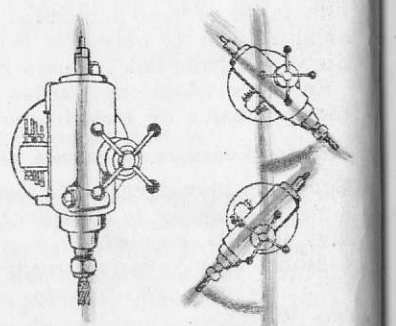


Fig. 40,3 Cabezal portafresas basculante.

Fig. 40,2 Mecanismo de accionamiento del husillo de fresas: 1. Embrague dentado para contramarcha; 2. Contramarcha (basculante); 3. Mecanismo de engranajes desplazables; 4. Freno de discos; acoplamiento de discos.

Especialmente para elevado número de revoluciones se utiliza frecuentemente el *accionamiento directo del husillo de fresar mediante correas trapezoidales* con objeto de obtener un movimiento del útil uniforme, exento de vibraciones. Por el mismo motivo se dota el accionamiento del husillo frecuentemente de piezas muy pesadas o sea de una gran masa centrífuga **(fig. 40,2)**.

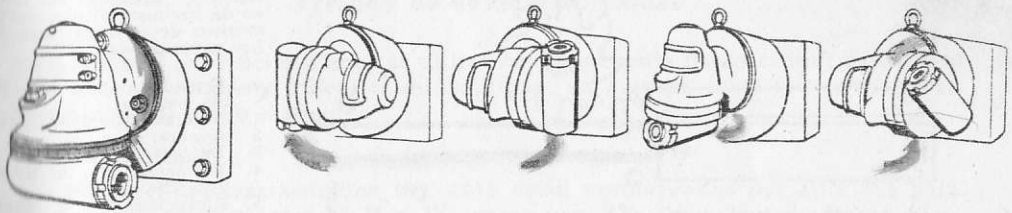


Fig. 41,1 Cabezal portafresas basculante en todos los sentidos (cabezal portafresas universal) para fresadoras horizontales.

Con objeto de que la herramienta no resulte sobrecargada hay que desconectar primeramente el avance y a continuación el número de revoluciones del husillo. Las máquinas modernas tienen por esto, frecuentemente, una *desconexión del número de revoluciones automática y desfasada* respecto del avance.
Algunos husillos de fresar pueden ser detenidos rápidamente mediante un especial dispositivo de frenado **(fig. 40,2)**.
Con ayuda de un *cabezal portafresas recambiable o basculante* se pueden hacer fresados horizontales inclinados o también verticales **(figs. 40,3 y 41,1)**.

Movimiento de la pieza

En proporción bastante elevada lo que se emplea para el movimiento de la mesa son *dispositivos hidráulicos y eléctricos* (electro-hidráulicos).
Para el movimiento longitudinal, transversal y vertical se pueden ajustar *muchas velocidades de avance* dentro de un extenso campo (por ejemplo 50 escalones de avance o regulación sin escalonamiento de 7 ... 2000 mm/min longitudinal y transversalmente, 3,5 ... 1000 mm/min verticalmente), con objeto de poder conseguir el tiempo más económico para el fresado. El avance puede ser conectado en el corte.

Mediante una conexión de marcha rápida se consigue que la pieza sea acercada con la mayor rapidez posible a la herramienta y llevarla después del proceso de fresado a su posición de partida. La marcha rápida se usa también en caso de interrupción de la superficie a fresar, por ejemplo cuando se trata de varias piezas sujetas *(conexión a saltos)*.
Por medio de un *dispositivo preselector* se ajustan el número de revoluciones y el avance ya durante el proceso de fresado para el siguiente proceso de trabajo. Para la maniobra se necesitará después únicamente accionar sobre un pulsador. Para poder también fresar en *marcha paralela*, existe la posibilidad de compensar el juego de la tuerca del husillo de mesa («marcha muerta [loca]») mediante un dispositivo especial. Es frecuente la existencia de una *larga guía de la mesa* con objeto de que no bascule en las posiciones extremas. Con ayuda de levas y de topes de mesa se puede también hacer que para la pieza sujeta en la mesa o para varias piezas se realicen todos los necesarios movimientos de corte de un modo completamente automático y se puede regular también el número de revoluciones del husillo de fresar *(maniobra programada)* **(fig. 42,1)**. Los topes de de mesa desconectan el avance con mucha precisión. Las guías no utilizadas son apretadas automáticamente. Frecuentemente se hace que la mesa de fresar baje algunos milímetros automáticamente durante la marcha de retroceso para volver a su posición de partida en la marcha hacia adelante. Con esto se protejen tanto la superficie de la pieza como la herramienta. Además cuando se trata del fresado de varias piezas seguidas se pueden durante el proceso de fresado reemplazar las piezas terminadas por piezas aún sin trabajar. Es decir, que el trabajo de mecanización no se interrumpe durante la sujeción de las piezas.

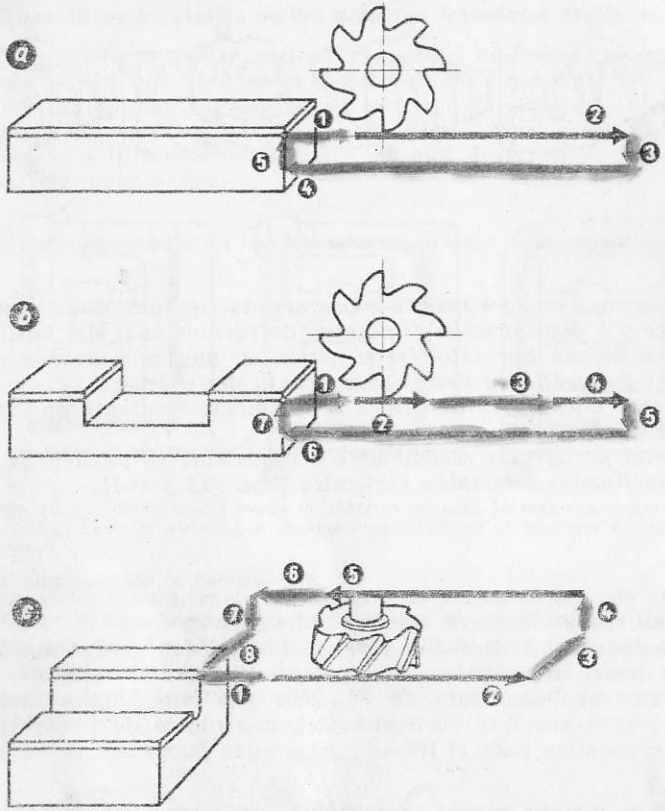


Fig. 42,1 Ejemplos del curso de los movimientos automáticos de la mesa (maniobra programada).

a) Fresado de una superficie sencilla.
1. Acercamiento de la pieza.
2. Avance.
3. Descenso de la mesa.
4. Retroceso de la pieza (marcha rápida).
5. Elevación de la mesa (posición de partida).

b) Fresado de varias superficies a la misma altura o de diversas piezas (maniobra a saltos).
1. Acercamiento de la pieza (marcha rápida).
2. Avance.
3. Acercamiento de la superficie II (marcha rápida, maniobra a saltos).
4. Avance.
5. Descenso de la mesa.
6. Retroceso de la pieza (marcha rápida).
7. Elevación de la mesa (posición de partida).

c) Fresado de varias superficies a distintas alturas.
1. Acercamiento de la pieza (marcha rápida).
2. Avance (superficie I).
3. Conducción transversal de la pieza.
4. Elevación de la mesa.
5. Avance (II).
6. Retroceso de la pieza (marcha rápida).
7. Descenso de la mesa.
8. Movimiento transversal hacia la posición de partida.

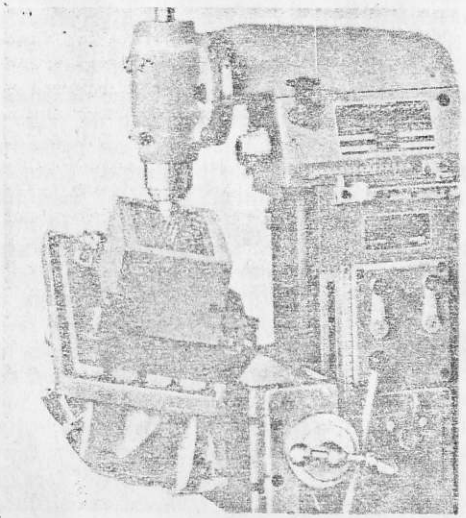


Fig. 42,2 Mesa de fresar basculante.

Con objeto de poder dar a la pieza durante el fresado cualquier posición que se desee se han desarrollado máquinas provistas de mesa de fresar basculante (fig. 42,2).

Maniobras y cuidados

Todas las partes a maniobrar son cómodamente accesibles desde el puesto de trabajo del operario. Los movimientos necesarios pueden obtenerse mediante *la más sencilla disposición de mandos* (pulsadores o maniobra por una sola palanca).

Los errores de maniobra están cumplidamente impedidos. No se puede por ejemplo maniobrar el avance sino cuado ya funcione el movimiento de la fresa.

Grandes arcos graduados con anchas distancias entre divisiones y escalas en los patines facilitan el ajuste.

Las guías están bien protegidas contra ensuciamiento. Un *sistema de engrase bien concebido* hace que la lubricación sea abundante y segura.

Fresado de superficies planas

Para trabajar superficies planas se utilizan especialmente fresas cilíndricas, fresas cilíndricas frontales y cabezales de cuchillas; en muchos casos se usan también fresas con vástago o mango.

Fresas cilíndricas

Las fresas cilíndricas sencillas **(fig. 43,1)** están normalizadas por DIN 884 para los tipos de herramientas N, H y W (véase pág. 35). Diámetros de fresa: 40 ... 160 mm ∅; anchura de fresa: 20 ... 160 mm.

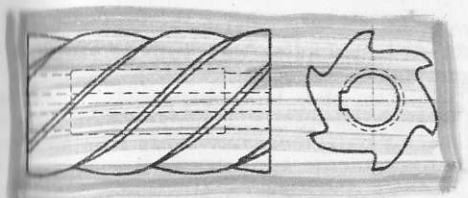


Fig. 43,1 Fresa cilíndrica según DIN 884.

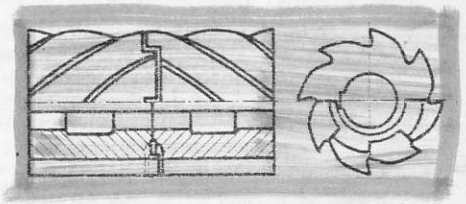


Fig. 43,2 Fresa cilíndrica acoplada según DIN 1892.

Ejemplo de normalización:

Fresa cilíndrica 40 × 50 N DIN 884
= Fresa cilíndrica con torsión a la derecha, 40 mm ∅, 50 mm de anchura, por ejemplo para acero St. 34.

Si la fresa debe tener la hélice con inclinación o torsión a la izquierda deberá indicarse esto especialmente, por ejemplo: 40 × 50 N inclinación a la izquierda DIN 884.

El diámetro del taladro según se indica en la hoja de normas es de 16 mm. El material es acero rápido.

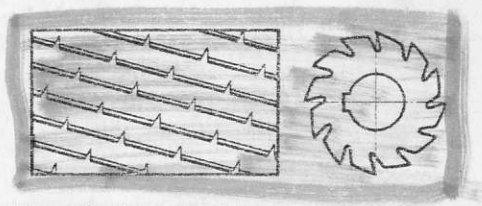


Fig. 43,3 Fresa cilíndrica con ranuras rompevirutas.

Fresas cilíndricas acopladas (fig. 43,2). Estas fresas se usan para superficies muy anchas. Las caras frontales interiores están mecanizadas de tal modo que sus dientes engranan entre sí. Se evita con esto las faltas de planitud de la superficie de trabajo. La dirección de las hélices respectivas debe ser encontrada, con objeto de que se contrarresten los esfuerzos axiales y además de tal modo dispuesta que las virutas sean expulsadas lateralmente.

Ejemplo de normalización:

Fresa cilíndrica 100 × 160 DIN 1892 SS = fresa cilíndrica acoplada, 100 mm ∅, 160 mm de anchura, de acero rápido.

La designación del material a trabajar (N, H, W) se omite, puesto que las fresas cilíndricas acopladas están normalizadas únicamente para material de dureza normal (N). Los diámetros de las fresas son de 80 ∅ ... 160 ∅; las anchuras de 80 mm ... 250 mm.

Las fresas cilíndricas anchas van provistas frecuentemente de ranuras rompevirutas **(fig. 43,3)**. Se evitan con ello las virutas anchas que son difíciles de expulsar y pueden dar origen a superficies fresadas poco limpias. Las ranuras deben disponerse desplazadas entre sí para evitar la formación de surcos en la superficie trabajada.

Las fresas cilíndricas no se emplean en general, sino en fresadoras horizontales en unión de un vástago portafresa.

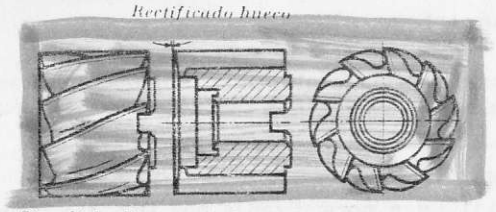


Fig. 44,1 Fresa cilíndrica frontal según DIN 1880 con ranura transversal.

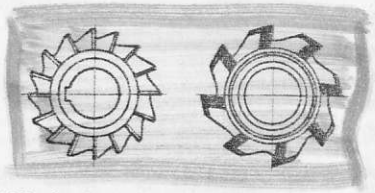


Fig. 44,2 Izqda.: Fresa cilínd. frontal con ranura longitudinal (DIN 841); Dcha.: Fresa cilíndrica frontal de metal duro (DIN 8056).

Fig. 44,3 Plato o cabezal de cuchill. ajus.

Fig. 44,4 Plato o cabezal de cuch. plano.

Fig. 44,5 Plato o cab. de cuch. muchos dtes.

Fig. 44,6 Plato o cab. de cuch. con plac. de exp. (placas de inv.).

Fresas cilíndricas frontales

Las fresas cilíndricas frontales **(fig. 44,1)** se prestan muy bien tanto para el fresado de superficies que van de extremo a extremo como para las que tienen que llevar un saliente. Además de en su periferia, van también provistas de cuchillas en una de las caras frontales, pero trabajan principalmente con los dientes periféricos. Las caras frontales van esmeriladas de modo ligeramente cóncavo. Del sentido de la inclinación de los dientes periféricos (inclinación de las hélices) depende no solamente el sentido de las fuerzas axiales, sino también el ángulo de ataque de los dientes frontales (véase pág. 34).

La duración se puede elevar notablemente mediante redondeamiento de las esquinas. Las fresas cilíndricas frontales se afianzan sobre un mandril (en voladizo). Normalización según DIN 1880 para fresas con ranura transversal: Diámetro de la fresa 40 ... 160 mm; anchura de la fresa 32 ... 63 mm. Las fresas cilíndricas frontales con ranura longitudinal **(fig. 44,2)**, en virtud del mayor peligro de rotura que presentan a causa del cubo debilitado por la ranura deben dejar ya de emplearse en lo posible.

Los cabezales o platos de cuchillas (fig. 44,3 ... 6) se han acreditado especialmente para el trabajo de grandes superficies planas. Consisten en un cuerpo de base en que van dispuestas las cuchillas de acero rápido de alto rendimiento o con soporte de metal duro. Las cuchillas deterioradas o gastadas pueden recambiarse.

Para la sujeción se utilizan por ejemplo clavijas cónicas, que ensanchan el cuerpo de base o también clavijas cilíndricas con superficie de apoyo inclinada que aprietan la cuchilla directamente. Muchas veces se utilizan tornillos que actúan sobre listones cuneiformes o sobre casquillos sujetando así firmemente las cuchillas. También se utilizan garras de sujeción **(fig. 45,1)**. A veces las cuchillas van provistas de estrías con objeto de que no puedan correrse durante el trabajo. Para control del movimiento redondo y plano con frecuencia llevan los cabezales de cuchillas modernamente en el lado frontal superficies anulares de control.

Las fresas de vástago o de mango tienen aplicaciones muy variadas. El vástago y la parte o cuerpo que lleva las cuchillas son de una sola pieza o bien esta última parte, hecha de acero rápido de elevado coste va soldada a tope con el vástago. El vástago, o mango, puede ser cónico o cilíndrico. Lo mismo que en las fresas cilíndricas frontales dependen también aquí del sentido de inclinación de las hélices tanto la dirección de la fuerza axial como el ángulo de ataque en el lado frontal de la fresa. Si las fresas de vástago que cortan hacia la derecha tienen inclinación de los filos también hacia la derecha habrá que dotar al vástago de una rosca de retención (véase pág. 34).

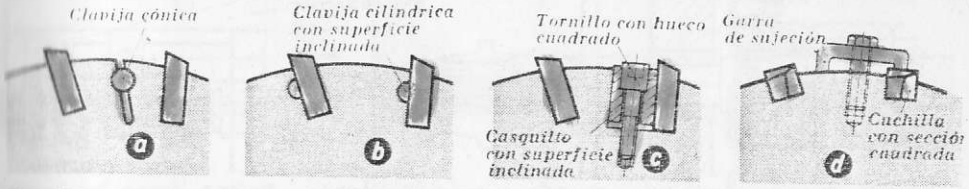


Fig. 45,1 Afianzamiento de las cuchillas en el cabezal portacuchillas: a) Ensanchamiento del cuerpo de base por medio de una clavija cónica; b) fijación de las cuchillas con clavijas cilíndricas con superficie inclinada; c) fijación de las cuchillas mediante apriete de un casquillo con superficie inclinada; d) fijación de las cuchillas por medio de garras de sujeción.

DIN 844 normaliza las fresas de vástago con vástago cilíndrico (véase pág. 47); diámetro de la fresa 2 ... 14 mm. DIN 845 se ocupa de normalizar las de vástago cónico; diámetro de la fresa 10 ... 63 mm. Son de acero rápido (N, H, W), van provistas de arrastre (A) o de rosca de retención (B). Las fresas de vástago con filos de metal duro están normalizadas por DIN 8045.

Ejemplo de normalización:

Fresa de vástago B 16 W DIN 845 = fresa de vástago de 16 mm ∅ de corte a la derecha con inclinación de los filos a la derecha y rosca de retención, para trabajo de metal ligero.

Sujeción de la fresa

La fresa debe ser arrastrada por el husillo de trabajo con tanta seguridad como sea posible y funcionar con movimiento exento de sacudidas. En las fresas que funcionan a golpes los dientes resultan irregularmente solicitados y pueden romperse fácilmente. La superficie que se trabaja resulta poco lisa y con estrías. Para la sujeción se utilizan mandriles de fresado con soporte, husillos enchufables (sin soporte) así como boquillas de sujeción, o también, la herramienta se afianza directamente en el husillo de fresar.

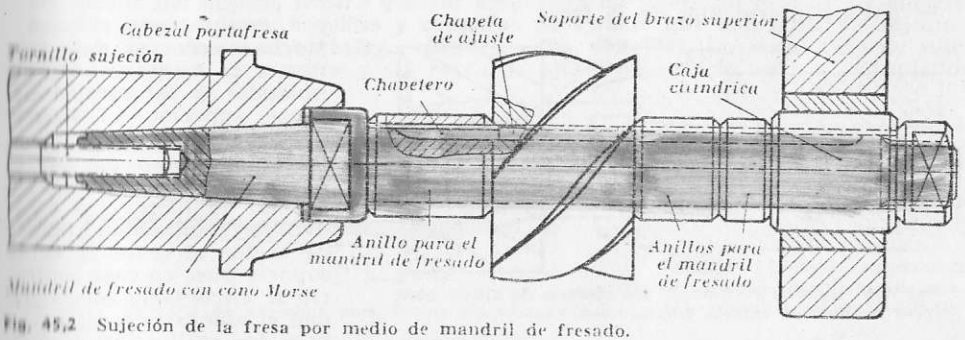


Fig. 45,2 Sujeción de la fresa por medio de mandril de fresado.

Sujeción de la fresa por medio de mandril de fresado (fig. 45,2). La guía y el arrastre se hacen posibles por un lado del mandril mediante cono, superficie de arrastre y tornillo de sujeción. El otro extremo del mandril con una caja cilíndrica, o un muñón o gorrón especial en el soporte del brazo superior. A veces para la guía se utiliza una punta de contrapunta **(fig. 46,2)**. La fresa se enchufa en el mandril. Mediante unos anillos intermedios se consigue la posición correcta. Para la transmisión de esfuerzo se han previsto encajes de cuña y chavetas de ajuste. Hay que tener en cuenta lo siguiente:

1. El mandril de fresado hay que mantenerlo tan fuertemente y tan corto como sea posible porque de lo contrario cede mucho bajo la presión de corte, da origen a vibraciones de la fresa o se deforma fácilmente y golpea. Por otra

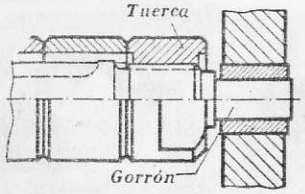


Fig. 46,1 Extremo de mandril con gorrón o muñón.

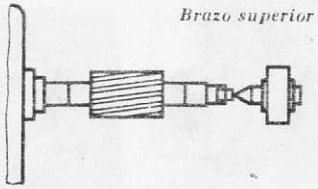


Fig. 46,2 Apoyo del mandril de fresar mediante contrapunta.

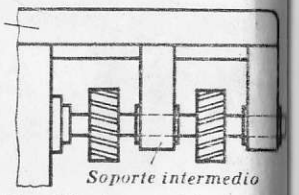


Fig. 46,3 Apoyo del mandril de fresar mediante un soporte intermedio.

parte el mandril no puede hacerse arbitrariamente grueso puesto que el taladro de la fresa no puede ser demasiado grande.

2. El alojamiento cónico, el mandril y los anillos intermedios deben limpiarse cuidadosamente.
3. Es conveniente engrasar un poco el cono del mandril antes de colocarlo en su alojamiento, porque de este modo podrá extraerse después más fácilmente. También hay que engrasar el taladro de la fresa y el mandril antes de colocar el útil con objeto de que no se agarren.
4. La fresa debe ajustar exactamente sobre el mandril. No debe ir ni demasiado floja ni demasiado apretada. Las fresas flojas, golpean; las demasiado apretadas pueden reventar. En las fresas dentadas en espiral hay que tener en cuenta la dirección de la presión axial. La fresa debe estar situada tan pegada a la cabeza del husillo como sea posible. En otro caso, y especialmente en cortes difíciles habrá que apoyarlo en un soporte intermedio (fig. 46,3). Las superficies de apoyo de los anillos intermedios tienen que ser paralelas y planas y no estar dañadas debiendo además ser exactamente perpendiculares al eje del taladro.
5. La guia del mandril mediante contrapunta o mediante un gorrón (fig. 46,1 y 46,2) del mandril no se utiliza sino en el caso de trabajos de fresado ligeros. El diámetro del casquillo de guia tiene que ser algo mayor que el de los anillos intermedios de la fresa.

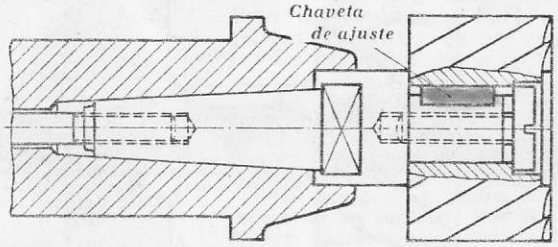


Fig. 46,4 Mandril enchufable con chaveta de ajuste para fresa frontal con ranura longitudinal.

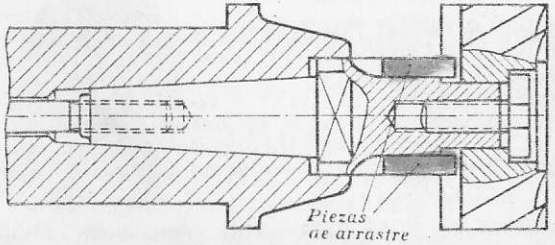


Fig. 46,5 Mandril de fresado enchufable con piezas de arrastre colocadas, para fresa frontal con ranura transv.

6. Muchas veces se deja funcionar la máquina antes de proceder a la sujeción del brazo superior. El soporte del brazo superior podrá de este modo centrarse por sí mismo. Es de recomendar no apretar la tuerca del mandril de fresado sino después de meter el mandril en el soporte pues en caso contrario se encorvaría con facilidad el mandril especialmente si los anillos intermedios no tienen posición exactamente paralela.

Sujeción de la fresa mediante mandril enchufable. El mandril de fresado se afianza también en el husillo de fresar y es movido mediante piezas de arrastre. Para recibir la fresa se utiliza un muñón cilíndrico o cónico. Para la transmisión de fuerza sobre la fresa. se utilizan chaveta longitudinales o transversales. Las longitudinales son menos apropiadas, porque la ranura en el taladro de la fresa redunda en una debilitación de la sección del cubo. Un tornillo evita que la fresa se deslice saliéndose del mandril. Los mandriles enchufables se emplean para fresas frontales y pequeños cabezales de cuchillas (figs. 46,4 y 5; 47,1 y 2).

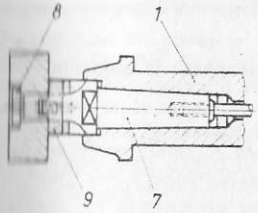


Fig. 47,1 Mandril enchufable con anillo de arrastre para fresas frontales con ranura transversal. Para las fresas con corte a la derecha el tornillo de apriete tiene rosca a la derecha, y para las de corte a la izquierda, rosca a la izquierda.

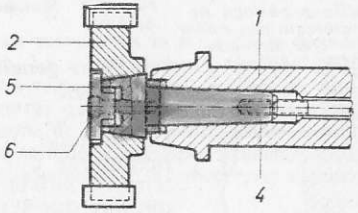


Fig. 47,2 Mandril portátil para cabezal de cuchillas.

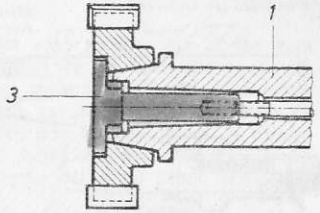


Fig. 47,3 Asiento directo del cabezal de cuchillas sobre el husillo de fresar.

1. Cabeza de husillo; 2. Cabezal de cuchillas; 3. Perno de arrastre; 4. Mandril portaútil para cabezales de cuchillas; 5. Pieza de arrastre; 6. Tornillos de arrastre; 7. Mandril enchufable; 8. Tornillo de ajuste; 9. Anillo de arrastre.

Asiento directo de la herramienta a través del husillo de fresar (figs. 47,3 y 48,2). Frecuentemente se empujan los cabezales de cuchillas o las grandes fresas frontales directamente sobre la cabeza de husillo de conformación exterior cónica y se sujetan mediante pernos de arrastre y tornillos de presión. Resulta especialmente ventajoso con esto el hecho de que de este modo queda la fresa apoyada directamente delante del soporte principal con lo cual su funcionamiento es muy silencioso.

Las fresas con vástago cónico se asientan directamente, a veces también mediante utilización de un casquillo intermedio. Cuando en las fresas de vástago con dentado helicoidal obra la fuerza axial de tal modo que la fresa tienda a ser sacada del husillo, tendrá que ser asegurada mediante un tornillo de apriete.

Sujeción con mordazas, boquillas y casquillos de apriete. Las mordazas de sujeción se usan para fresas con vástago cilíndrico (fig. 47,4 .. 6). Los casquillos de sujeción con orejas de arrastre y sin rosca de ajuste o sujeción, no son apropiados para trabajos de fresado.

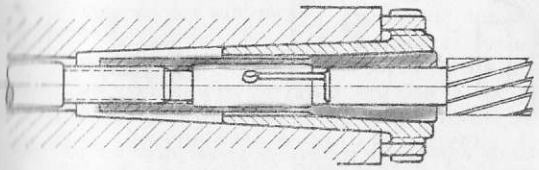


Fig. 47,4 Boquilla de sujeción para fresas de vástago cilíndrico.

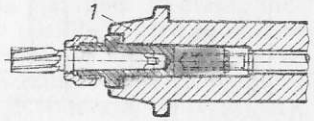


Fig. 47,5 Afianzam. con mandril de sujeción para fresas de vástago cónico. 1, cabeza de husillo.

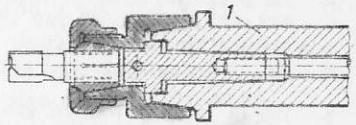


Fig. 47,6 Afianzamiento con mordazas para fresa con vástago cilíndrico. 1, cabeza de husillo.

Sujeción por medio de conos empinados (gran ángulo) ISO (DIN 2079 y 2089). Como los husillos de muchas máquinas modernas llevan frecuentemente en vez de los antiguos conos Morse (relación de conicidad de 1:20), los conos empinados ISO (relación de conicidad 1:3,429), los vastagos de los mandriles portaútiles y análogos tienen que tener una conformación que se corresponda con esa conicidad (figs. 48,1 ... 3).

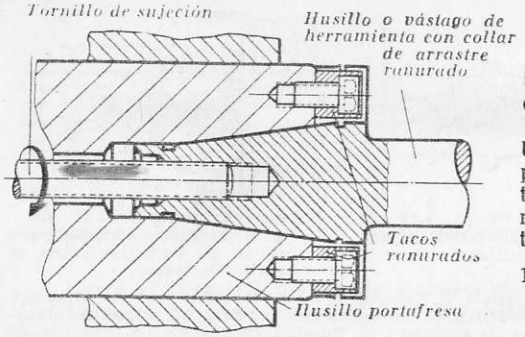


Fig. 48,1 Mandril portaútil con cono empinado ISO.

Principios generales para la sujeción de la pieza

Un trabajo irreprochable de fresado presupone que la pieza esté convenientemente sujeta. Para conseguir esto último hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

1. La pieza ha de estar unida a la mesa de tal modo que a consecuencia de los esfuerzos de corte no pueda ni levantarse, ni correrse (fig. 48,4).

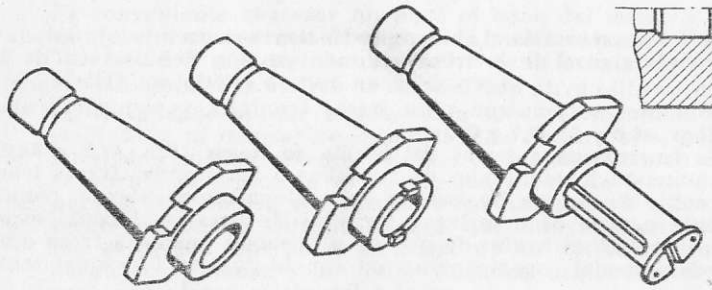


Fig. 48,2 Afianzamiento con mandril dotado de cono empinado ISO.

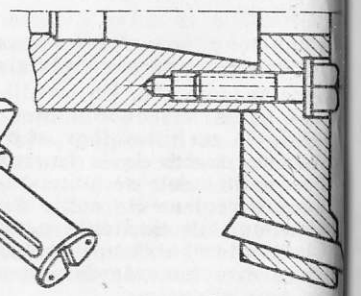


Fig. 48,3 Afianzamiento directo de un cabezal de cuchillas en el husillo portaútil según DIN 2079.

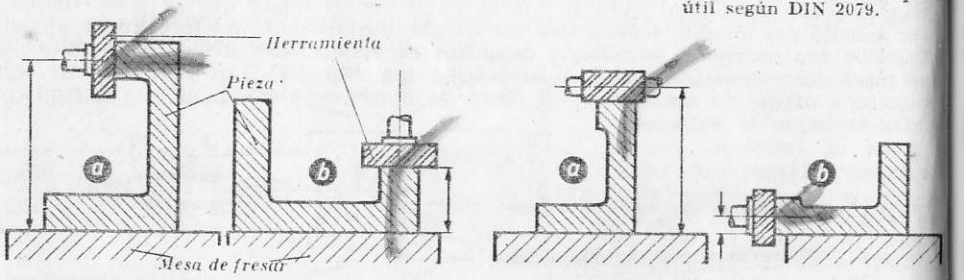


Fig. 48,4 Sujeción de las piezas. La distancia entre fresa y mesa de fresar debe ser tan pequeña como sea posible. a) incorrecto; b) correcto.

2. La pieza no debe deformarse en la sujeción. Tiene que apoyar bien. Las piezas en bruto hay que apoyarlas mediante calzos; todas las tuercas deben ser apretadas por igual.
3. En el proceso de sujeción se debe invertir tan poco tiempo como sea posible.
4. En la fabricación en gran escala, el trabajo de corte de la fresa deberá interrumpirse tan poco como sea posible para la sujeción de las piezas.
5. Las superficies trabajadas no deberán sufrir deterioros a consecuencia de la sujeción.
6. A veces hay que nivelar, o centrar la pieza exactamente, antes de proceder a la sujeción. En piezas dotadas de líneas de trazado se tendrán en cuenta los ejes.

Ranuras y tornillo de sujeción

Para afianzar las piezas se han previsto en la mesa de la fresadora unas ranuras que sirven para alojar los tornillos de sujeción. La cabeza de estos tornillos tiene superficie de base que puede ser cuadrada pero también a veces rectangular. Los tornillos de cabeza cuadrada se introducen desde el extremo de la ranura, mientras que los de sección rectangular se aplican en cualquier sitio de la ranura. Para ranuras en forma de cola de milano existen tornillos que tienen también la cabeza con esta misma forma. A cada tornillo le corresponde además de la tuerca una arandela. Las roscas no tienen que presentar entorpecimientos y la cabeza y el diámetro del perno no deben ser demasiado pequeños.

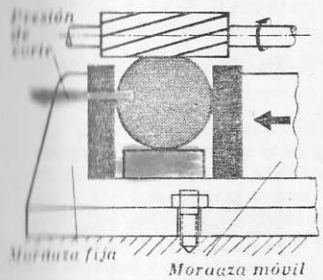


Fig. 49,1 La presión axial debe estar dirigida contra la mordaza fija.

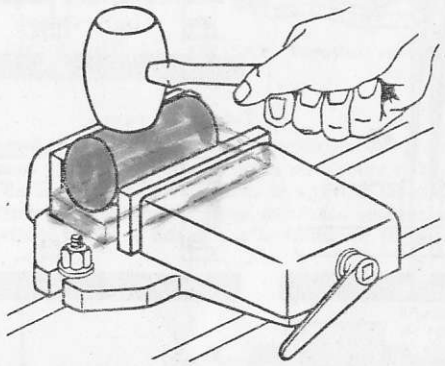


Fig. 49,2 Buen asiento de la pieza mediante golpeadura.

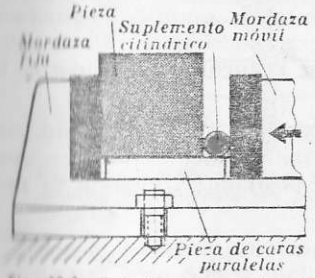


Fig. 49,3 Sujeción con suplemento cilíndrico.

Sujeción mediante tornillo de banco

Tornillo mecánico. Las piezas pequeñas se pueden sujetar en un tornillo (de banco) mecánico que va fijado a la mesa de la fresadora mediante tornillos de sujeción. En lo posible deberá estar dispuesto el tornillo mecánico de tal modo que la mordaza fija absorba los esfuerzos de corte. Si la presión de trabajo va dirigida contra la mordaza móvil resultará sobrecargado el husillo del tornillo mecánico y la pieza quedará afianzada de modo poco seguro. Si la superficie de fresado es estrecha, las fuerzas principales de corte, si son pequeñas, se dejará que actúen también paralelamente a las mordazas. En las fresas de dentado espiral, hay que tener cuidado de que los esfuerzos axiales vayan en lo posible dirigidos contra la mordaza fija (fig. 49,1).

Como la pieza al ser sujetada puede tender algo a levantarse, se la golpea con un mazo de madera, o algo análogo, para que asiente de modo seguro. Cuando se trata de piezas planas se emplean piezas intermedias de base (fig. 49,2).

Para fresar en el tornillo mecánico superficies en ángulo recto, es corriente intercalar entre la pieza y la mordaza móvil un suplemento redondo porque de este modo asentará bien contra la mordaza fija la superficie opuesta (fig. 49,3).

La pieza no debe sobresalir demasiado por fuera de las mordazas de sujeción porque durante el fresado podría flexar y también ser fácilmente expulsada. En caso necesario habrá que buscar otras posibilidades de sujeción (fig. 50,1).

Para piezas perfiladas habrá que emplear suplementos convenientemente con formados o mordazas especiales.
Para determinados casos es ventajoso el empleo de tornillos mecánicos es peciales:

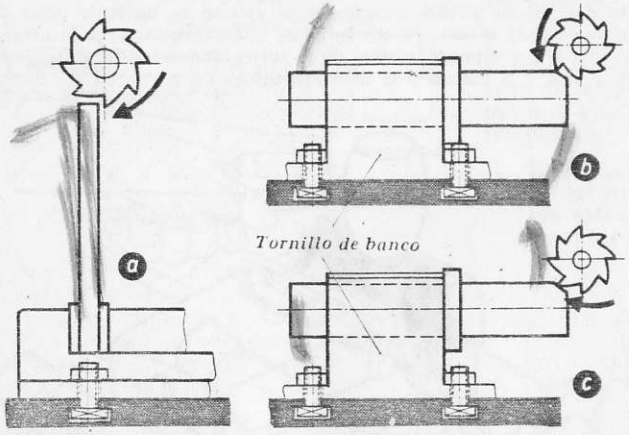


Fig. 50,1 Sujeción incorrecta d una pieza: a) la pieza flexa; b la pieza es expulsada; c) la pie za se levanta y destroza la fresa

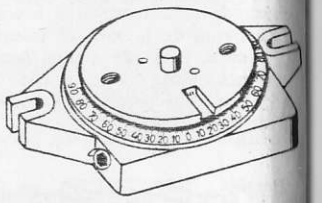


Fig. 50,2 Placa giratoria.

Tornillo mecánico giratorio. El tornillo de banco mecánico ordinario puede por l general sujetarse sobre la mesa de la fresadora tanto en sentido longitudina como en sentido transversal. Con objeto de poder mover horizontalmente la piez o el tornillo en un ángulo arbitrario, se dispone entre el tornillo y la mesa de l máquina una placa giratoria **(fig. 50,2)**.

Tornillo mecánico universal. Este tornillo puede girar no sólo horizontal, sino tam bién verticalmente. Es decir que la pieza puede mediante él ser llevada a ocupa una posición cualquiera. Para facilitar el ajuste en posición el aparato va pró visto de escalas **(fig. 50,3)**.

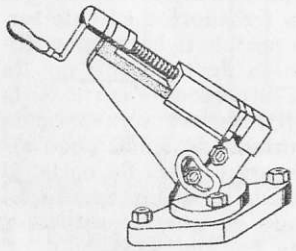


Fig. 50,3 Tornillo mecánico universal.

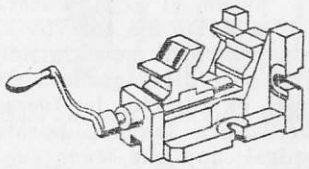


Fig. 50,4 Tornillo mecánico para sujeción centrada.

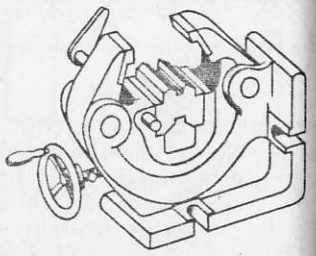


Fig. 50,5 Tornillo mecánico par sujeción centrada, provisto d tope.

Tornillo mecánico para sujeción centrada de piezas redondas. El tornillo lleva morda zas prismáticas recambiables. Ambas mordazas son movibles; con ello se con sigue una sujeción concéntrica de piezas cilíndricas (árboles, pernos, etc.) co ahorro de tiempo. Frecuentemente el tornillo de banco puede sujetarse en l mesa no sólo horizontalmente sino también en posición vertical. Con esto s consigue que puedan ser ejecutados por ejemplo chaveteros tanto en máquina fresadoras horizontales como verticales **(figs. 50,4 y 5)**.

Tornillos rápidos. Las piezas quedan sujetas mediante el accionamiento de una palanca. Con la palanca se hace girar un perno excéntrico y se provoca así el movimiento de sujeción de las mordazas. En virtud de la sencillez y rapidez de su manejo resulta este tornillo especialmente adecuado para la fabricación en gran escala **(fig. 51,1)**.

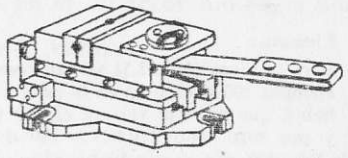


Fig. 51,1 Tornillo mecánico rápido.

Tornillo mecánico con mordazas de compensación. Con objeto de poder sujetar con seguridad piezas de forma irregular, se han desarrollado dispositivos mediante los cuales las mandíbulas se adaptan por sí solas a la forma de la pieza **(fig. 51,2)**.

En un tornillo de banco dotado de dispositivo hidráulico de compensación, las mordazas están compuestas cada una de ocho placas de acero yuxtapuestas que deslizan unas sobre otras. Cada placa va unida a un émbolo. Mediante presión de aceite sobre los émbolos se aprietan las placas de acero todas con igual fuerza contra la pieza. Otro tipo de tornillo tiene mordazas compuestas de varias piezas en forma de segmento circular movibles y que se adaptan a la forma de la pieza (mordazas de reacción).

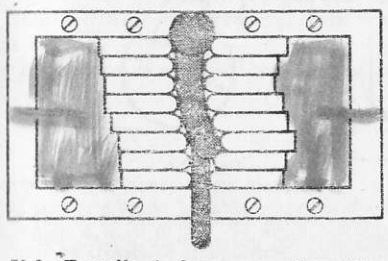


Fig. 51,2 Tornillo de banco con dispositivo hidráulico de compensación par piezas de forma irregular.

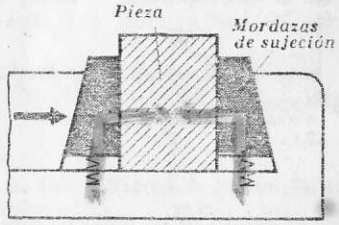


Fig. 51,3 Tornillo de banco con mordazas de sujeción hacia abajo.

Tornillo de banco con mordazas de sujeción hacia abajo. Las mordazas van provistas de una cara dorsal inclinada sobre la cual deslizan cuando se realiza el apriete sujetando la pieza firmemente contra la base. La pieza no podrá por esa razón levantarse y apoyará con seguridad **(fig. 51,3)**.

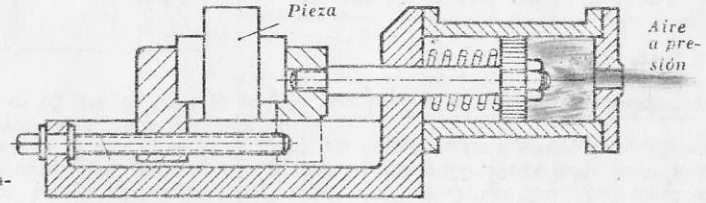


Fig. 51,4 Tornillo de banco, de aire a presión.

Tornillos de banco mecánicos accionados por medio de un fluido a presión. Se emplea generalmente aire comprimido a 6 at efect. Los tiempos empleados en la sujeción resultan sumamente reducidos. La facilidad de manejo reduce también el trabajo del hombre. Los martillazos sobre la palanca de sujeción que son corrientes en los tornillos ordinarios, quedan suprimidos **(fig. 51,4)**.

Cálculo y ajuste de la profundidad de fresado

Para ajustar la profundidad de fresado se deja que la fresa muerda ligeramente, se retira la mesa de fresar con la pieza y se ajusta la necesaria profundidad por medio del anillo con escala.

Ejemplo:

Para la pieza (**fig. 52,1**) se dan como profundidad de corte 5,5 y 7 mm. Si el disco divisor tiene por ejemplo 100 divisiones en la periferia y se corre el carro en 0,025 mm por cada división de la escala, habrá que girar el volante en 5,5 : 0,025 mm = 220 divisiones = 2 vueltas completas y 20 divisiones y por otro lado 7 : 0,025 = 280 divisiones = 2 revoluciones completas y 80 divisiones.

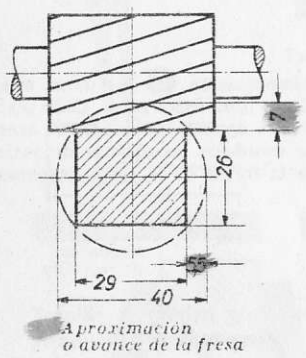


Fig. 52,1

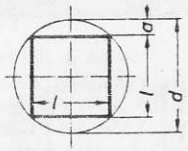


Fig. 52,2

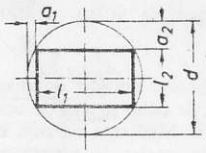


Fig. 52,3

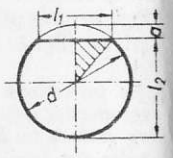


Fig. 52,4

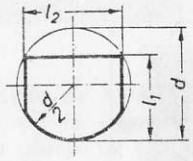


Fig. 52,5

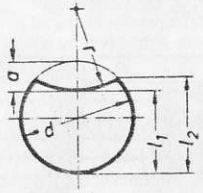


Fig. 52,6

Ejercicios:

Calcúlense además de las profundidades de fresado los movimientos de ajuste, sabiendo que el disco graduado tiene 100 divisiones en la periferia y que cada división corresponde a 0,05 mm de movimiento del carro:

1. **(Fig. 52,2)**

	a	b	c	d	e	f
$d =$	60	30	50	65	?	?
$l =$	44	22,5	?	?	30	42
$a =$	?	?	?	?	?	?

2. **(Fig. 52,3)**

	a	b	c	d	e	f
$d =$	40	70	90	90	150	115
$l_1 =$	36	?	72	85	125	?
$l_2 =$	21	42	?	30	?	65
$a_1 =$	?	?	?	?	?	?
$a_2 =$	?	?	?	?	?	?

3. **(Fig. 52,4)**

	a	b	c	d
$d =$	50	125	70	110
$l_1 =$	40	100	50	85
$a =$	?	?	?	?
$l_2 =$	?	?	?	?

4. Datos (fig. 52,5): $d = 160$ mm ∅ y $l_1 = 130$ mm
   Calcúlese: l_2
5. Datos (fig. 52,6): $d = 120$ mm ∅ (95 mm ∅), $r = 90$ mm (50 mm), $l_2 = 100$ mm (70 mm)
   Calcúlense: l_1 y a

Velocidad de corte y número de revoluciones

El movimiento de corte en el fresado es circular. Para un diámetro de la fresa de d mm el recorrido de la cuchilla en una revolución es $d \cdot \pi$ mm y en n revoluciones por minuto será $d \cdot \pi \cdot n$ en mm y $\frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$ en m. El recorrido en m por minuto, o sea la velocidad de corte (v) valdrá por lo tanto:

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

Obtenemos por lo tanto la misma ecuación para la velocidad de corte que en el torneado.

Ejemplo: Para una fresa cilíndrica frontal siendo el diámetro $d = 80$ mm y $n = 70$ rev/min, se tiene:

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} = \frac{80 \text{ m} \cdot 3{,}14 \cdot 70 \text{ 1/min}}{1000} = 17{,}6 \text{ m/min}$$

La velocidad de corte se rige por el material de la herramienta, por el de la pieza, por el procedimiento de trabajo (desbastado — afinado, aplanado — refrentado, etc.), por el medio refrigerante, por el funcionamiento más o menos tranquilo de la máquina, por la sujeción de la pieza y también por la anchura y profundidad de fresado. Los valores de orientación pueden ser tomados de una tabla.

De la misma ecuación se deduce para valor del número de revoluciones:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{d \cdot \pi}$$

Ejemplo: Para trabajar una pieza de St 34 se dispone de una fresa cilíndrica de 50 mm ∅. La velocidad de corte según la tabla correspondientes es para el desbastado $v = 17$ m/min y para el alisado o afinado, $v = 20$ m/min. Se desea calcular los números de revoluciones con que se ha de trabajar teniendo la fresadora el siguiente escalonamiento de revoluciones: 16; 22,4; 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710 (serie DIN).

Solución:

Desbastado:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{d \cdot \pi} = \frac{17 \text{ m/min} \cdot 1000}{50 \text{ m} \cdot 3{,}14} = 108{,}2 \text{ 1/min}$$

Se elige $n = 90$ rev/min

Afinado:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{d \cdot \pi} = \frac{20 \text{ m/min} \cdot 1000}{50 \text{ m} \cdot 3{,}14} = 127{,}3 \text{ 1/min}$$

Se elige $n = 125$ rev/min

Ejercicios:

1. Una fresa cilíndrica de 60 mm ∅ hace 75 rev/min. Determínese si la fresa va sobrecargada, siendo la máxima velocidad de corte admisible de 15 m/min.
2. Con una fresa de disco de 95 mm ∅ se ha de fresar una ranura en acero aleado de 90 kg/mm² de resistencia a la tracción. ¿Qué números de revoluciones deberán escogerse de la serie citada en el ejemplo anterior, para el desbastado y para el afinado? (los valores que faltan deben ser tomados de una tabla).
3. Establézcase un diagrama en sierra para la serie de revoluciones arriba citada. Determínese el salto del escalonamiento.
4. Una fresa de 130 mm ∅ da $n = 65$ rev/min. Hay que cambiarla por otra de 90 mm ∅. Para una misma velocidad de corte, ¿qué valor deberá tener su número de revoluciones?
5. El diámetro menor de una fresa agrupada o combinada (**fig. 68,1**) es $d = 65$ mm ∅ y el mayor 110 mm ∅. El número de revoluciones es $n = 63$ rev/min. ¿Qué valor tiene la diferencia de velocidades entre ambas fresas? ¿En qué % se sobrepasa (o se queda por debajo de ella) una velocidad de corte dada $v = 20$ m/min?

Fresado de ranuras, hendiduras y agujeros largos

La ejecución de ranuras, rendijas y agujeros largos es cosa que se presenta frecuentemente en el mecanizado de piezas. Las ranuras en forma de cola de milano sirven por ejemplo para la guía de carros de las máquinas herramientas, las ranuras en T se presentan en las mesas de trabajo de las máquinas herramientas para alojamiento de los pernos de sujeción. Muchas veces hay que dotar de ranuras las caras frontales de piezas cilíndricas. Las ranuras pueden también tener una forma encorvada en su sección transversal como sucede por ejemplo en las ranuras de virutas de las herramientas de varios filos. Llamamos aquí hendiduras a las estrechas ranuras de que van provistas las cabezas de tornillo y las tuercas, los mandriles extensibles, etc. Los agujeros oblongos se tienen por ejemplo en uniones con chaveta transversal y en boquillas para sujeción de herramientas de taladrar **(fig. 54,1)**.

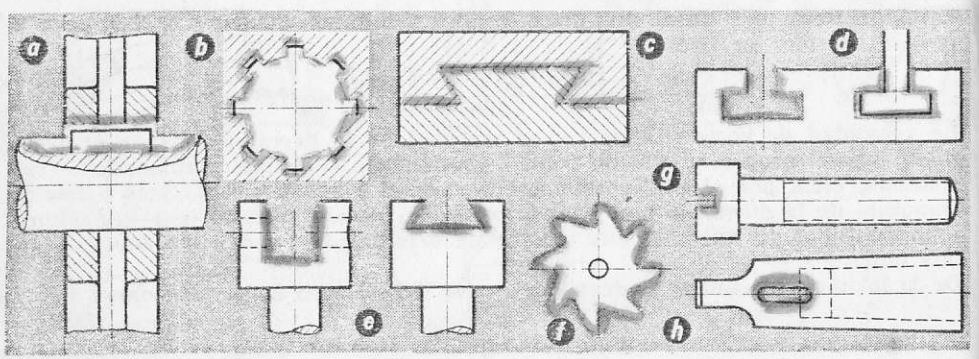


Fig. 54,1 Tipo de ranuras: a) Arbol con chavetero; b) árbol de chavetero múltiple; c) guía en cola de milano; d) ranura en T; e) ranuras en la cara frontal de piezas; f) ranuras de virutas en un escariador; g) hendidura en un tornillo; h) manguito intermedio con agujero oblongo.

Para la transmisión de fuerza de árboles a ruedas, poleas y análogos se emplean, entre otras cosas, las chavetas o lengüetas que se alojan en las correspondientes ranuras (chaveteros) de las piezas y que han de ser ajustadas convenientemente por el operario **(figs. 54,2 y 55.1)**.

Las **chavetas** tienen conicidad, es decir una inclinación de 1:100. Se introducen forzándolas a modo de cuñas y obtienen con ello una presión en las superficies central y dorsal. El árbol y la rueda quedan de este modo sujetos entre sí. Especialmente en árboles que giran a gran velocidad puede hacerse patente el inconveniente de que la rueda resulte descentrada **(fig. 54,2 a)**.

Las **lengüetas** no tienen conicidad. Transmiten el esfuerzo por sus caras laterales **(fig. 54,2 b)**.

Las *chavetas de guía* están lateralmente alojadas de modo firme en el chavetero del árbol y también sin juego en el del cubo.

Las *lengüetas de deslizamiento* se emplean cuando las piezas han de poderse desplazar sobre el árbol. Se alojan firmemente en el chavetero del árbol, mientras que el chavetero del cubo tiene juego por todos lados. A veces las lengüetas de deslizamiento van atornilladas en el chavetero del árbol **(fig. 54,2 c)**.

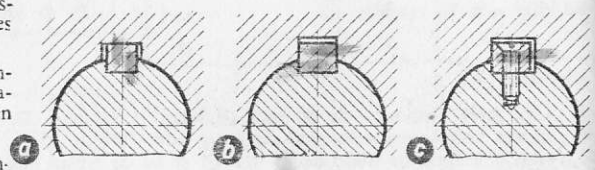


Fig. 54,2 Transmisión de fuerza mediante chavetas y lengüetas. a) chaveta longitudinal; b) chaveta de guía; c) chaveta de deslizamiento.

Las chavetas y las lengüetas pueden ser frontalmente rectas o curvas.

Las *lengüetas de disco*, o *chavetas de disco* (chavetas Woodruff) tienen la forma de segmento circular y se alojan en una ranura de la misma forma practicada en el árbol. Este chavetero es fácil de ejecutar, pero como es relativamente profundo el árbol resulta con él muy debilitado **(fig. 55,1 h)**. Para transmisión de grandes esfuerzos, se provee al árbol de chaveteros en toda su periferia (árbol de chaveta múltiple) **(fig. 54,1 b)**.

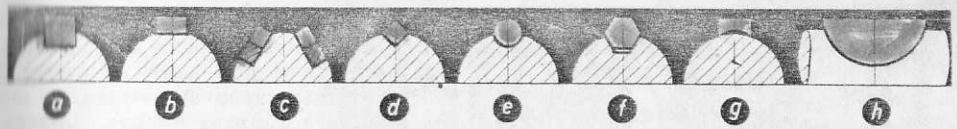


Fig. 55,1 Formas de ranuras (chaveteros) para chavetas y lengüetas; a) chaveta embutida; b) chaveta plana; c) par de chavetas tangenciales; d) clavija cuadrada; e) chaveta o clavija redonda; f) chaveta alfa; g) chaveta hueca (árbol sin chavetero); h) chaveta o lengüeta de disco.

Fresas en forma de disco para ranurar

Fresas para ranurar. Bajo esta denominación **(fig. 55,2)** se comprenden en general las fresas en forma de disco que no van dentadas sino en su periferia. Tienen tendencia a atascarse o enclavarse lateralmente y por esta razón las partes de detrás de los filos se mantienen estrechas, se proveen de un aligeramiento o se ahuecan por esmerilado. Se emplean predominantemente para ranuras planas y cortas. En DIN 1890 se normalizan fresas para ranurar, con dentado cruzado, destalonadas; diámetros de fresa, 50 ... 200 mm, anchura de fresa, 4 ... 32 mm.

Fresas de disco. En oposición con las de ranurar estas fresas van dentadas también lateralmente **(fig. 55,3)**. El trabajo principal lo realizan sin embargo los dientes periféricos, sirviendo los laterales únicamente para alisar. Como con el desgaste se hace necesario también un afilado lateral, disminuye con esto la anchura de la fresa.

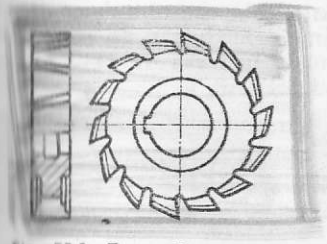


Fig. 55,2 Fresa de ranurar (DIN 1890).

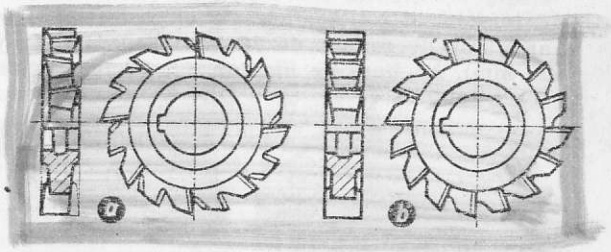


Fig. 55,3 Fresas de disco según DIN 885; a) con dentado cruzado; b) con dentado recto.

En las fresas de dentado espiral u oblicuo, el ángulo de ataque resulta negativo en uno de los lados. Esta desventaja se soslaya mediante el dentado cruzado. Los dientes sobresalen alternativamente a la izquierda y a la derecha y tienen además alternativamente inclinación a la derecha y a la izquierda.

A veces se emplean también fresas de disco con cuchillas recambiables. Las cuchillas se pueden ajustar de modo adecuado a la anchura de la ranura que se trata de hacer.

Las fresas de disco están normalizadas por DIN 885, diámetro de fresa 50 ... 20 mm, anchura de fresa 5 ... 32 mm; las fresas de disco con cuchillas insertadas vienen normalizadas en DIN 1831: diámetro de fresa 160 ... 315 mm, anchura de fresa 22 ... 50 mm; las de cuchillas recambiables tienen su normalización en DIN 1831 y las de arista cortante postiza de metal duro en DIN 8047 **(fig. 55,4)**, diámetro de fresa 80 ... 125 mm, anchura de fresa 8 ... 20 mm.

Ejemplo de normalización:

Fresa de disco con dentado cruzado, 80 mm ∅, 16 mm ancho, para materiales blandos:
Fresa de disco 80 × 16 W * DIN 885.

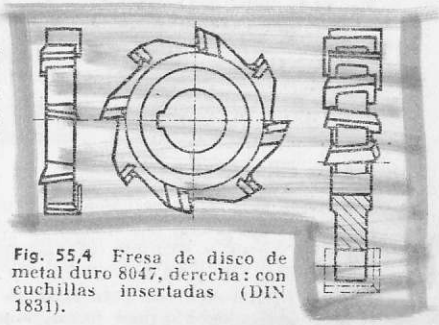


Fig. 55,4 Fresa de disco de metal duro 8047, derecha: con cuchillas insertadas (DIN 1831).

* *Nota del traductor:* La W hace referencia a la palabra alemana Weich = blando que se refiere a ser la fresa para materiales blandos.

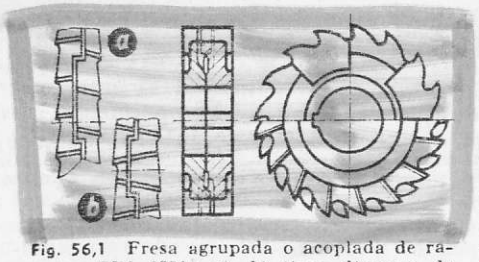


Fig. 56,1 Fresa agrupada o acoplada de ranurar DIN 1891: a), b) tipos diversos de ejecución.

Fresa acoplada de ranurar. Estas fresas constan de dos fresas en forma de disco que se enlazan entre sí por medio de garras **(fig. 56,1)**. Por esta razón se prestan de modo especial para ranuras anchas. Además, y dentro de ciertos límites, puede ajustarse la distancia entre las fresas, mediante empleo de suplementos, para la necesaria anchura de la ranura o también para compensar la diferencia producida por el desgaste o el reafilado. Las fresas acopladas de ranurar llevan dentado lateral (DIN 1891).

Fresas para hendir (DIN 850). Con estas fresas se ejecutan las ranuras para lengüetas de disco **(fig. 56,2)**. La fresa y el vástago son de una pieza. Inmediatamente junto al disco de la fresa presenta el vástago un estrechamiento con objeto de fresar lo más profundamente que sea posible. La magnitud de las lengüetas de disco es según DIN 6888 1 × 1,4 ... 10 × 16.

Fresas para ranuras en T (DIN 851). Estas fresas van con dentado lateral a cuyo efecto los dientes sobresalen alternativamente a derecha e izquierda **(fig. 56,3)**. El vástago y la fresa son de una pieza. El vástago puede ser cilíndrico (hasta anchuras de ranura de 18 mm) o cónico (a partir de anchuras de ranura de 20 mm). Anchura de filos de 5 ... 22 mm; diámetro de la fresa de 11 ... 54 mm (para ranuras en T, según DIN 650, 6 ... 32 mm de anchura).

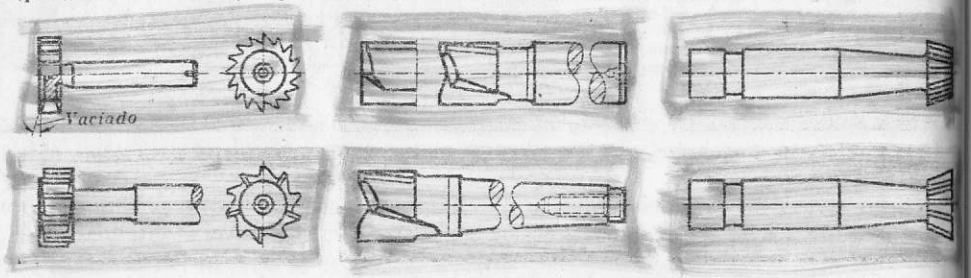


Fig. 56,2 (arriba) Fresa para hendiduras según DIN 850.

Fig. 56,3 (abajo) Fresa de vástago para ranuras en T según DIN 851.

Fig. 56,4 (arriba) Fresa para agujeros oblongos, con vástago cilíndrico.

Fig. 56,5 (abajo) Fresa para agujeros oblongos con vástago cónico y rosca de atracción (DIN 326).

Fig. 56,6 (arriba) Fresa angular con vástago cilíndrico (DIN 1833) Forma A.

Fig. 56,7 (abajo) Fresa angular con vástago cilíndrico (DIN 1833) Forma B.

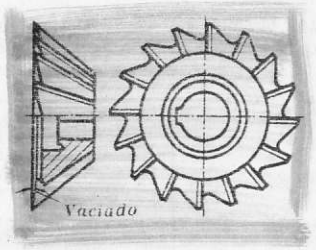
Sierra circular para metales. Se emplea para la ejecución de ranuras estrechas, de hendiduras y también para cortar. Un esmerilado lateral libre evita los atasques (véase pág. 200).

Fresas cilíndricas para ranurar

Las **fresas para agujeros oblongos** se utilizan especialmente para practicar agujeros de este tipo y ranuras para chavetas o lengüetas de caras frontales redondeadas **(figs. 56,4 y 5)**. Van provistas de dos filos cortos y robustos. El vástago, generalmente soldado a tope, es cilíndrico (DIN 327) o cónico (DIN 326) y va provisto en este último caso de tornillo de atracción o de orejas de arrastre. La cara frontal en fresas para agujeros oblongos con ranuras rectas, es también recta y cuando las ranuras son en espiral tiene forma hueca. Existen también fresas para ranurar, dotadas de filos de metal duro (DIN 8026). Diámetro de las fresas: 2... 40 mm.

Fresas frontales angulares. Estas fresas **(fig. 57,1)** se emplean principalmente para

Fig. 57,1 Fresa frontal angular (DIN 842).



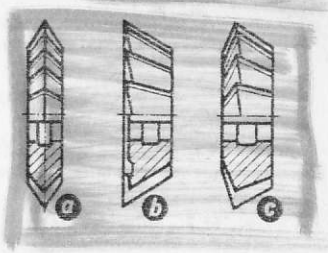


Fig. 57,2 a) Fresa prismática (DIN 847). b) Fresa angular (DIN 1823) para ranuras de viruta rectas. c) Fresa angular (DIN 1823) para ranuras de viruta helicoidales.

la preparación de guías en cola de milano. El ángulo se ha fijado modernamente en 50°. Para un período de transición son admisibles como tipos especiales ángulos de 55° y 60°.

Fresa angular. Se han previsto para herramientas con dientes fresados. Para ranuras rectas se asemejan, menos en las magnitudes angulares y el rectificado hueco o vaciado de las cuchillas frontales, a las fresas frontales angulares (forma A); para ranuras de virutas con sesgo helicoidal están achaflanadas por ambos lados (forma B) **(figs. 57,2 b y c)**.

Para la forma A se han previsto los ángulos 60°, 65°, 70°, 75°, 80° y 85°; para la forma B los 55°, 60°, 65°, 70°, 75°, 80°, 90° y 100°. Para ranuras pequeñas existen fresas angulares con vástago cilíndrico (DIN 1833), con los ángulos 45°, 60° y 70° **(fig. 56,6 y 7)**.

Fresas prismáticas. Se utilizan para hacer guías prismáticas. Según DIN 847 los ángulos de la fresa son 45°, 60° y 90° **(fig. 57,2 a)**.

Sujeción mediante planchas, bridas o grapas

Estas piezas de sujeción tienen múltiples aplicaciones y son especialmente adecuadas para piezas grandes.

A veces se prevén para ello en las piezas salientes especiales (orejas o lóbulos de sujeción) que se eliminan después del mecanizado **(fig. 57,3)**.

Hay que tener en cuenta que la pieza de sujeción vaya paralelamente a la mesa de la fresadora y que por lo tanto el suplemento tenga la altura correcta para ello. Es cómodo el uso de suplementos escalonados, tornillos de ajuste o planchas que se ajustan mediante un hexágono con perno soportado excéntricamente **(fig. 57,4)**.

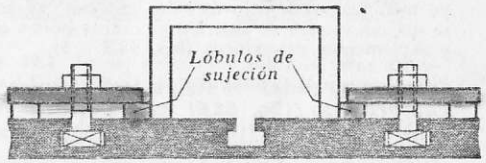


Fig. 57,3 Pieza con lóbulos de sujeción.

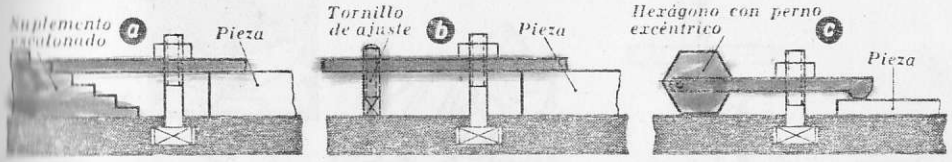


Fig. 57,4 Suplementos ajustables.

Hay también bridas de sujeción que pueden emplearse en posición inclinada **(fig. 58,1)**. Con objeto de impedir que la tuerca del tornillo de sujeción choque contra la herramienta o su sujeción, se emplean con frecuencia chapas acodadas.

Para que el esfuerzo de apriete sea correctamente aprovechado, hay que aplicar el tornillo de sujeción junto a la pieza. La separación entre los suplementos de la plancha de sujeción no debe ser demasiado grande para que no se flexe fácilmente.

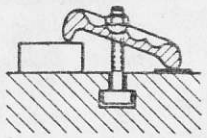


Fig. 58,1 Plancha de sujeción para trabajar en posición inclinada.

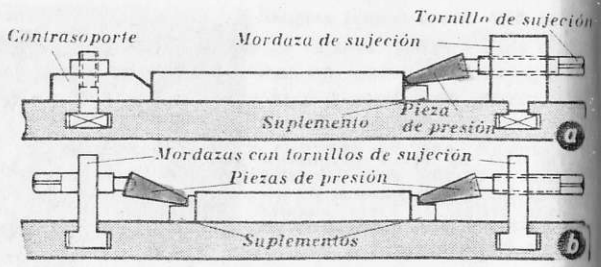


Fig. 58,2 Sujeción lateral de la pieza.

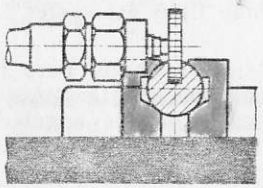


Fig. 58,3 Sujeción de piezas cilin. en el tor. de banco por medio de mord. esp.

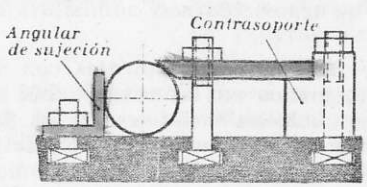


Fig. 58,4 Sujeción de piezas cilíndricas mediante escuadras de sujeción.

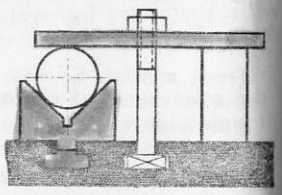


Fig. 58,5 Sujeción de piezas cilíndricas en el prisma.

Si no puede sujetarse la pieza desde arriba, se afianza desde los lados por medio de un soporte de sujeción, tornillos, piezas de presión y contrasoporte. Las piezas de presión tienen que tener una cierta inclinación, con objeto de que la pieza sea suficientemente apretada contra la mesa. El suplemento no debe ser demasiado pequeño (rotura de las aristas). Especialmente en el caso de piezas delgadas y anchas existe el peligro de que se produzca un encorvamiento con la sujeción lateral (fig. 58,2).

Las piezas pequeñas cilíndricas pueden sujetarse en un tornillo de banco de mecánico o en otro tornillo especial adecuado; para piezas grandes se utilizan hierros de sujeción y contrasoportes o bien planchas de sujeción y suplementos prismáticos (figs. 58,3 ... 5).

Ofrecen grandes ventajas los *bloques de sujeción por aire comprimido* (fig. 58,6) por permitir acortar notablemente los tiempos invertidos en la sujeción y ser fáciles de manejar.

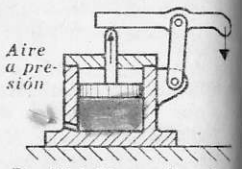


Fig. 58,6 Bloque de sujeción por aire a presión.

Escuadra de sujeción

La escuadra fija de sujeción sirve para sujetar piezas por sus superficies verticales (fig. 58,7).

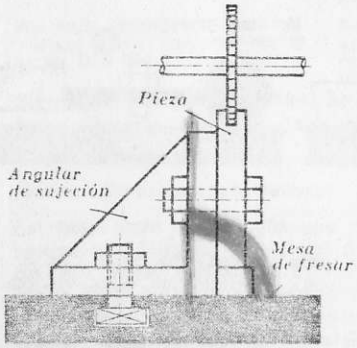


Fig. 58,7 Sujeción con escuadra fija.

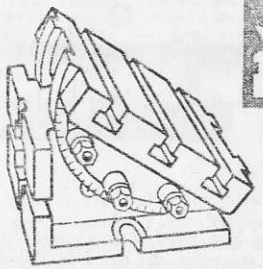


Fig. 58,8 Escuadra ajustable de sujeción.

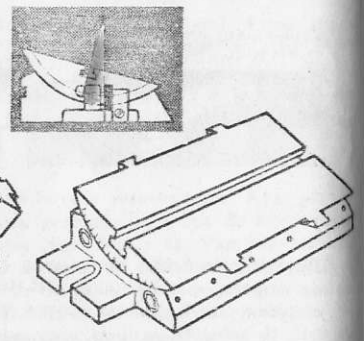


Fig. 58,9 Placa ajustable de sujeción.

Si una superficie debe trabajarse para que guarde un determinado ángulo con respecto a otra puede utilizarse una pieza angular de sujeción de ángulo ajustable. Este ángulo puede leerse en una escala graduada (fig. 58,8).

En muchos casos es cómodo el empleo de una placa de sujeción. Presenta ésta la ventaja, con respecto a la pieza angular ajustable, de ser de altura menor; no puede en cambio girar nada más que hasta unos 30°. El ángulo puede ajustarse muy exactamente. Puede combinarse sin dificultad con un tornillo de banco mecánico (fig. 58,9).

Mesa circular

Si las ranuras u otras formas fresadas han de tener un sesgo no lineal, sino de forma circular, habría que imprimir a la pieza que se fresa un conveniente movimiento de avance. Ahora bien, como la mesa de fresar no permite normalmente nada más que un movimiento longitudinal y no transversal, lo que se hace es utilizar un dispositivo especial, la llamada mesa circular, que hace posible el movimiento de avance circular (fig. 59,1). La mesa circular se afianza sobre la mesa corriente de la fresadora con ayuda de tornillos de sujeción. Para el movimiento automático se la enlaza generalmente con el mecanismo de avance de la fresadora mediante un árbol articulado.

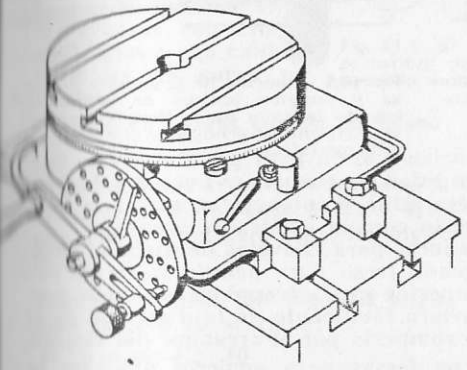


Fig. 59,1 Mesa circular.

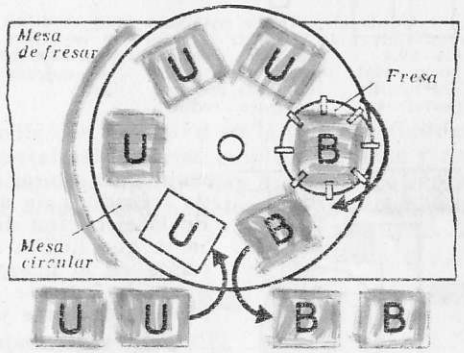


Fig. 59,2 Fresado continuo sobre la mesa circular. U = piezas sin trabajar; B = piezas ya trabajadas.

La mesa circular puede emplearse también en el caso de fabricación en gran escala sujetando sobre ella varias piezas formando una circunferencia, fresándolas una tras otra cambiando continuamente durante el proceso de cada fresado las piezas ya trabajadas por piezas sin trabajar (fig. 59,2).

Mediante un mecanismo de plato divisor pueden realizarse también en la mesa circular trabajos de copia valiéndose de un dispositivo copiador.

Herramientas (sujeción, ajuste, modo de trabajar)

En virtud del batido lateral de la fresa de disco, resulta la anchura de la ranura mayor que la que corresponde a la de la fresa. Antes de sujetar la fresa hay que atender a la limpieza de las superficies de contacto y verificar su recorrido lateral con un micrómetro de cuadrante.

El juego axial del husillo portafresa origina también ranuras poco limpias y demasiado anchas **(fig. 60,1)**. Para ajustar la fresa de ranurar se determina la distancia entre el diámetro del árbol y la fresa por medio de una escuadra y calibres normales de caras paralelas **(figs. 60,2 y 91,1)**.

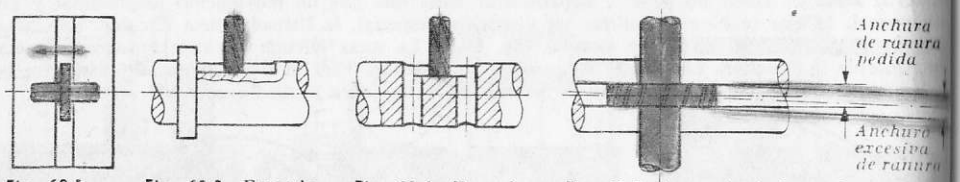


Fig. 60,1 Juego axial del husillo portafresa.

Fig. 60,3 Fresado de ranuras para lengüetas de caras frontales redond.

Fig. 60,4 Fresado de agujeros oblongos.

Fig. 60,5 Aumento de la anchura de fresa y posición oblicua de la ranura, cuando la pieza no es llevada de modo exactamente perpendicular al eje del husillo portafresas.

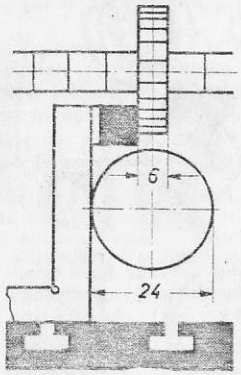


Fig. 60,2 Ajuste de la fresa mediante calibres normales de caras paralelas.

Para ajustar la profundidad de ranura, se hace que la fresa empiece a rascar ligeramente y entonces se acerca la mesa de fresadora de acuerdo con un cuadrante graduado.

En la ejecucion de ranuras para chavetas de disco se afianza la que hemos llamado *fresa para hendir* mediante una punta en el brazo superior de la fresadora. En caso contrario la fresa se desviará fácilmente de la dirección de la presión de corte y se romperia por el arranque del vástago.

Cuando se trabaja con fresas para agujeros oblongos se empieza por hacer con la cara frontal de la fresa un agujero ciego de muy poca profundidad y después se mueve lateralmente la mesa de la fresadora en la magnitud que corresponda a la longitud de la ranura. En esta operación la fresa corta con los dientes periféricos **(fig.60,3)**. Muchas veces lo que se hace es taladrar previamente los dos extremos del agujero oblongo con una broca helicoidal y después se fresa la parte comprendida entre ambos taladros con varias pasadas de ida y vuelta **(fig. 60,4)**.

Para trabajar sacando viruta con sierras circulares para metales se escogen para cortes gruesos sierras circulares con dientes bastos y para cortes más delgados, sierras con dientes más finos. Para que las virutas que se desprenden tengan sitio se emplea avance pequeño pero velocidad de corte grande.

Máquinas

El carro y por lo tanto la pieza han de ser conducidos de modo exactamente perpendicular al eje del husillo de la fresa porque en caso contrario la ranura no resultaria paralela a la pieza y además podria resultar demasiado ancha **(fig. 60,5)**.

Piezas

A veces las piezas grandes o largas obtenidas por colada, laminado, estirado, etc., resultan con tensiones internas que se liberan con el fresado pudiendo como consecuencia deformar la pieza.

Medición de chaveteros

La profundidad del chavetero del eje se mide a partir de la parte alta del eje y no desde el borde del chavetero, entre otras cosas porque las rebarbas producidas con el fresado hacen que la medición no pueda ser exacta. De modo análogo la profundidad del chavetero del cubo se mide hasta el punto diametralmente opuesto del taladro.

La profundidad de la ranura se puede medir directamente con calibres especiales para chaveteros (nonio $^1/_{10}$; $^1/_{20}$ ó $^1/_{50}$ mm) **(fig. 61,1)**.

Frecuentemente se utiliza el pie de rey **(fig. 61,2)**.

La anchura de la ranura puede medirse entre otras cosas con chapas calibradas o con calibres normales de caras paralelas.

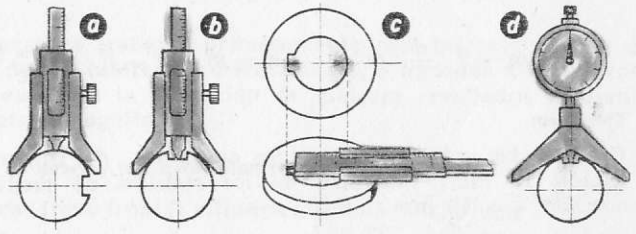


Fig. 61,1 a), b) Calibres para medición exterior de chaveteros; c) calibre para medición interior; d) calibres para chaveteros provisto de micrómetro de esfera.

Medición de ranuras en cola de milano

Las cotas *a* y *b* **(fig. 61,3)** no se pueden medir con exactitud en la práctica (bordes desportillados, ángulos redondeados, etc., etc.). Por eso se emplean zapatas y rodillos de medición **(figs. 61,3 a ... d)**. A la magnitud medida hay que sumar o restar una cierta cantidad. Analiticamente las cotas pueden obtenerse del siguiente modo:

Zapatas de medición **(fig. 61,3 e)**.; si se conoce la cota 10, se tiene:

a) $a = m - 2 \cdot 10$

$b = m - 2x = m - 20 - 2 \cdot y$

$\cot \alpha = \frac{y}{c}; \quad y = c \cdot \cot \alpha$

$b = m - 20 - 2 \cdot c \cdot \cot \alpha$

b) $b = n + 2 \cdot 10$

$a = n + 2x = n + 20 + 2 \cdot c \cdot \cot \alpha$

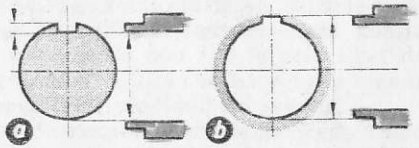


Fig. 61,2 a), b) Medición de la profundidad de chavetero utilizando el pie de rey.

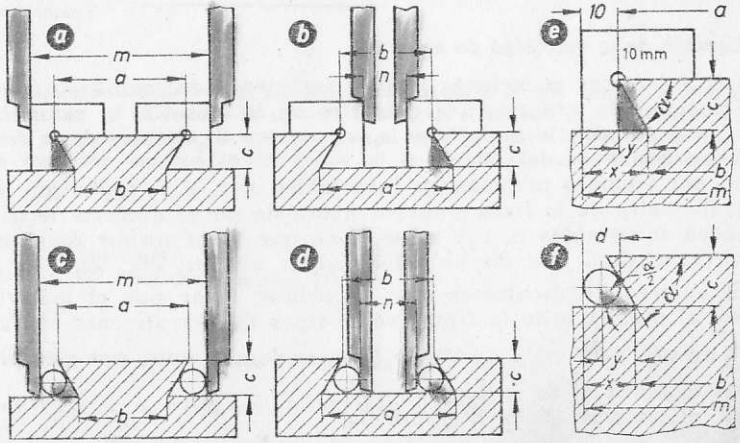


Fig. 61,3 Medición y cálculo de chaveteros en cola de milano.

Rodillos de medición (fig. 61,3 f):

c) $b = m - 2x = m - d - 2y$

$$\cot\frac{\alpha}{2} = \frac{y}{\frac{d}{2}}; \quad y = \frac{d}{2}\cdot\cot\frac{\alpha}{2}$$

d) $a = n + 2x = n + d + 2y$

$$a = n + d + d\cdot\cot\frac{\alpha}{2}$$

$$b = m - 2\cdot\frac{d}{2}\cdot\cot\frac{\alpha}{2} - d = m - d - d\cdot\cot\frac{\alpha}{2}$$

Ejercicio:

Calcular las cotas m y n en los casos a) ... d). Dimensión de las zapatas de medición 15 mm; diámetro de los rodillos de medición 10 mm. $a = 60$ mm, $\alpha = 55°$, $c = 12$ mm.

Velocidad de avance

En el fresado entendemos por velocidad de avance el recorrido en mm que realiza la pieza en un minuto durante el proceso de fresado.

Si el avance s_z con que debe trabajar el diente de la fresa nos es conocido, se obtendrá el avance s_u para una revolución de la fresa multiplicando el número de dientes z de la fresa por el avance s_z de cada diente de la fresa. Se tiene de este modo:

$$s_u = z \cdot s_z$$

En el caso de n revoluciones de la fresa por minuto el avance por minuto es decir la necesaria velocidad de avance s' se deducirá de:

$$s' = n \cdot s_u = n \cdot z \cdot s_z$$

Si se pone

$$n = \frac{1000 \cdot v}{d \cdot \pi}$$

se tendrá

$$s' = \frac{1000 \cdot v \cdot z \cdot s_z}{d \cdot \pi}$$

Elección de la velocidad de avance

Las anteriores ecuaciones ponen claramente de manifiesto la relación entre la velocidad de avance s', el diámetro de la fresa d, la velocidad de corte v, el avance por diente de la fresa s_z, el número de dientes de la fresa z y el número de revoluciones de la fresa n.
Si, por ejemplo permanecen invariables v, s_z y s', se ve que cuanto mayor sea el diámetro de la fresa d mayor habrá de ser el número de diente z; si permanecen invariables v, z y s_z se tiene que a un menor diámetro de la fresa le corresponderá una mayor velocidad de avance, etc., etc.

El número de dientes se rige en primer lugar por el material de la pieza y por el diámetro de la fresa (véase tipos de herramienta en la pág. 35).

El avance para cada diente de fresa es dependiente, por ejemplo, de

a) el material de la pieza,
b) el material de la herramienta,

c) la clase de fresado (fresado de rodadura o cilíndrico, fresado frontal, fresado de ranuras, desbastado, afinado, etc.)
d) la profundidad de fresado,
e) la potencia disponible en la máquina.

Puesto que la velocidad de avance depende de tantas magnitudes, es evidente que será difícil determinar de antemano cuál será la velocidad de corte más adecuada.

Pero lo que se puede hacer es trabajar primeramente con las velocidades de avance calculadas a base de los valores de orientación s_z o tomadas directamente de una tabla y ensayar entonces la obtención de mejores resultados mediante variación de unas o de otras magnitudes.

Valores de orientación para el avance por cada diente s_z en el desbastado:

Fresa cilíndrica, fresa frontal cilíndrica	0,05 ... 0,25 mm
Fresa de disco	0,02 ... 0,15 mm
Fresa de vástago, fresa de forma	0,02 ... 0,08 mm
Fresa para roscar	0,01 ... 0,06 mm
Cabezal de cuchillas (cuchillas de acero rápido o de metal duro)	0,05 ... 0,35 mm

Los valores menores corresponden a los materiales más duros y a mayor profundidad de fresado mientras que los mayores se refieren a materiales blandos y a menores profundidades de fresado.

Ajuste de la velocidad de avance en la fresadora

La velocidad de avance es en las fresadoras por lo general ajustable independientemente del número de revoluciones (véase la pág. 37). Cuando se varía por lo tanto el número de revoluciones de la fresa, no se varía con ello la velocidad de avance, pero sí, en cambio, el avance por diente. Este último se hace pues menor para un mayor número de revoluciones y una misma velocidad de avance.
Hay máquinas en las cuales tanto el número de revoluciones de la fresa como la velocidad de avance pueden regularse de modo escalonado mientras que la velocidad de avance se regula sin escalonamiento.

Contrariamente a lo que pasa en el fresado, en el torneado se da el avance en milímetros por revolución de la pieza. Ambos movimientos están aquí acoplados entre sí. Cuanto mayor es el número de revoluciones del husillo principal tanto mayor es el recorrido del útil de corte por minuto, es decir la velocidad de avance.

Ejemplo:

Se trata de determinar la velocidad de avance necesaria para una fresa de seis dientes, 50 mm ∅, las velocidades de corte son en el desbastado $v_1 = 17$ m/min, en el afinado $v_2 = 22$ m/min y el avance por diente en el primer caso es $s_{z1} = 0{,}18$ mm y en el segundo $s_{z2} = 0{,}08$ mm. Los números de revoluciones son regulables escalonadamente (véase en la pág. 53 la serie de números de revoluciones).

Solución:

a) Los números de revoluciones son:
$n_1 = 90$ rev/min, $n_2 = 127$ rev/min (véase pág. 53).

b) Velocidad de avance:
Desbaste

$$s'_1 = s_{z1} \cdot z \cdot n_1 = 0{,}18 \text{ mm} \cdot 6 \cdot 90\ ^1/\text{min} = 97{,}2 \text{ mm/min}$$

Afinado

$$s'_2 = s_{z2} \cdot z \cdot n_2 = 0{,}08 \text{ mm} : 6 \cdot 127\ ^1/\text{min} = 60{,}96 \text{ mm/min}$$

Ejercicios

1. Calcular las velocidades de avance en el ejemplo anterior cuando la máquina posee una regulación del número de revoluciones sin escalonamiento (el cálculo debe hacerse directamente, es decir, sin determinación del número de revoluciones).
2. ¿Qué magnitud tiene el avance por diente para una fresa de 12 dientes cuando el número de revoluciones es $n = 180$ rev/min y la velocidad de avance es $s' = 120$ mm/min?
3. ¿Qué número de dientes tiene que tener una fresa cuando se ha de trabajar con un número de revoluciones $n = 180$ rev/min, con un avance por diente $s_z = 0{,}05$ mm y una velocidad de avance $s' = 72$ mm/min?
4. ¿Qué número de revoluciones hay que ajustar para una fresa de 14 dientes, cuando para una velocidad de avance de $s' = 50$ mm/min el avance por diente deba ser $s_z = 0{,}03$ mm?
5. Una fresa de 90 mm ∅ con $z = 12$ dientes ha de trabajar con una velocidad de corte $v = 14$ m/min y una velocidad de avance $s' = 90$ mm/min. Determínese el avance por diente de la fresa.
6. Una fresa de 110 mm ∅ con $z = 20$ dientes tiene que trabajar con una velocidad de corte $v = 16$ m/min y un avance por diente de fresa hasta $s_z = 0{,}1$ mm. ¿Qué velocidad de avance podrá ajustarse?
7. Una fresa de 65 mm ∅ tiene que trabajar con una velocidad de corte $v = 14$ m/min y una velocidad de avance $s' = 90$ mm. El avance por diente puede valer $s_z = 0{,}1 \ldots s_z = 0{,}15$ mm. ¿Cuántos dientes de fresa son necesarios?
8. En una fresa vienen dados, la velocidad de corte por $v = 20$ m/min, el número de dientes por $z = 4$, el avance por diente por $s_z = 0{,}25$ mm. La velocidad de avance prevista es de $s' = 120$ mm/min ¿Qué magnitud habrá de tener el diámetro de la fresa?
9. Se trata de desbastar mediante una fresa de vástago de 20 mm ∅ un acero aleado de resistencia igual a 70 kg. El número de dientes es $z = 8$. ¿Qué valor tendrá el avance por diente? Los valores de la velocidad de corte y de la velocidad de avance pueden tomarse de una tabla.
10. ¿Qué número de cuchillas tiene que tener un cabezal que se quiere emplear para el desbaste de fundición gris blanda? El diámetro de la fresa puede llegar a ser hasta de 160 mm y el avance por diente hasta de $s_z = 0{,}3$ mm. Los valores de la velocidad de corte y de la velocidad de avance se toman de una tabla.

Cálculo de la velocidad de avance partiendo de la potencia de la máquina (cantidad de viruta)

Cuanto mayor es la potencia de una fresadora tanto mayor es la cantidad de viruta que se puede arrancar con ella por unidad de tiempo.
Si se quiere aprovechar al máximo mediante un proceso de fresado la potencia de la máquina, deberá tomarse esa potencia como base para el cálculo de la velocidad de avance.
La cantidad de viruta que se puede suponer arrancada por cada kW en una máquina la designaremos como cantidad de viruta admisible V'. La mediremos en cm³ por minuto y kW. Los valores, diferentes para cada tipo de fresado y cada tipo de material, pueden tomarse de una tabla.

$$V' = 10 \text{ cm}^3/\text{kW min significa}$$

que por cada 1 kW de potencia pueden considerarse arrancados 10 cm³ de viruta por minuto. La cantidad total de viruta V para una potencia P de la máquina será así:

$$V = V' \cdot P$$

Ejemplo:
Se trata de calcular la cantidad total de viruta (máxima cantidad de viruta) que se produce en una fresadora de potencia $P = 6$ kW cuando se trabaje fundición gris semidura ($V' = 22$ cm³ por kW min).
Solución:

$$V = V' \cdot P = 22 \text{ cm}^3/\text{kW min} \cdot 6 \text{ kW} = 132 \text{ cm}^3/\text{min}$$

La cantidad de viruta arrancada de una pieza se compone de la profundidad de fresado (a), la anchura de fresado (b) y el avance en mm por minuto, es decir la velocidad de avance (s'):

con a y b en mm y s' en mm/min se obtiene:

$$V = \frac{a \cdot b \cdot s'}{1000} \text{ en cm}^3/\text{min}$$

De esta ecuación podemos deducir la velocidad de avance:

$$s' = \frac{V \cdot 1000}{a \cdot b}$$

Ejemplo:
Se trata de trabajar por refrentado una pieza de fundición gris ($V' = 22$ cm³ por kW min). Profundidad de fresado $a = 8$ mm, anchura de fresado $b = 70$ mm. Potencia de la máquina $P = 4$ kW. Se trata de determinar la velocidad de avance necesaria:
Solución:

$$V = V' \cdot P = 22 \text{ cm}^3/\text{kW min} \cdot 4 \text{ kW} = 88 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$s' = \frac{V \cdot 1000}{a \cdot b} = \frac{88 \text{ cm}^3/\text{min} \cdot 1000}{8 \text{ mm} \cdot 70 \text{ mm}} = 157{,}2 \text{ mm/min}$$

Ejercicio:
Datos:
1. Potencia de la máquina = 6 kW
2. Material: St 34; según tablas $V' = 12$ cm³/kW min
3. Clase de fresado: de rodadura o cilíndrico
4. Profundidad de fresado: 8 mm
5. Anchura de fresado: 90 mm
6. Velocidad de corte: 15 m/min
7. Número de dientes de la fresa: 8
8. Diámetro de la fresa: 75 mm.

Con los anteriores datos se trata de determinar:
a) la velocidad de avance; b) el número de revoluciones que hemos de ajustar en la máquina; c) el avance por diente de la fresa.

Fresado de superficies curvas

Nos encontramos superficies curvas por ejemplo en las superficies de contorno de palancas, levas y mordazas, en las ranuras para viruta de algunas herramientas, en los dientes de las ruedas dentadas, en las curvaturas de los discos de levas y en piezas curvadas por toda su superficie como ocurre en muchas que se obtienen por estampación o por prensado **(fig. 66,1 y 2)**.

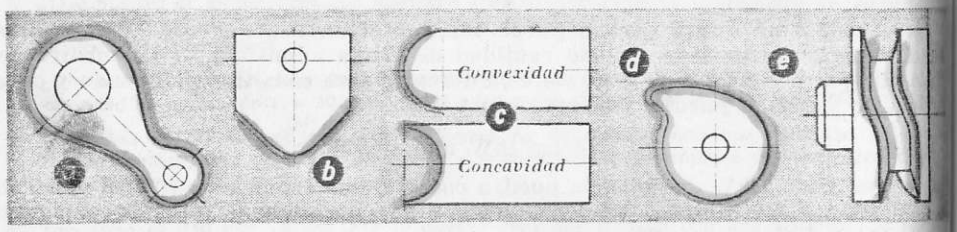


Fig. 66,1 Piezas con superficies curvas; a) palanca; b) leva de arranque; c) convexo = abombado hacia fuera, cóncavo = abombado hacia dentro; d) disco de levas; e) ranura curvada.

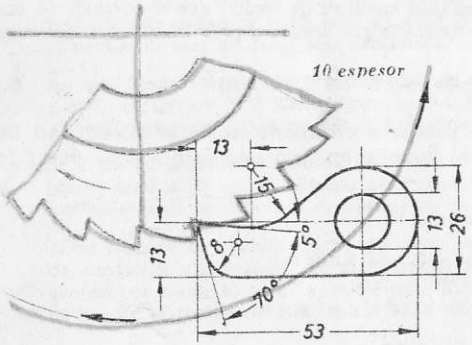


Fig. 66,2 Trinquete de parada o detención.

Las formas abombadas o curvadas hacia fuera se llaman convexas y las que lo están hacia dentro, cóncavas.

Para la fabricación de esta clase de superficies tiene el fresado una especial importancia porque en muchos casos no puede ser reemplazado por ningún otro procedimiento más económico de trabajo. En el *fresado de forma*, la pieza obtiene su forma en virtud de la especial conformación del corte de la fresa **(fig. 66,3)**. Una forma convexa de la fresa nos proporciona en la pieza una forma cóncava e inversamente, una forma cóncava de la fresa nos da una

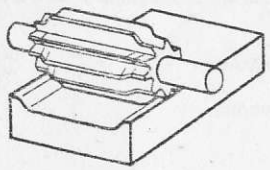


Fig. 66,3 Fresado de forma.

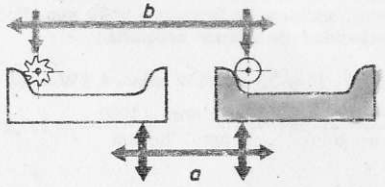


Fig. 66,4 Fresado copiador, análogo movimiento de avance, a) en la plantilla y la pieza, b) perno palpador y fresa.

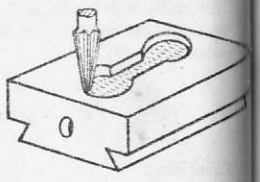
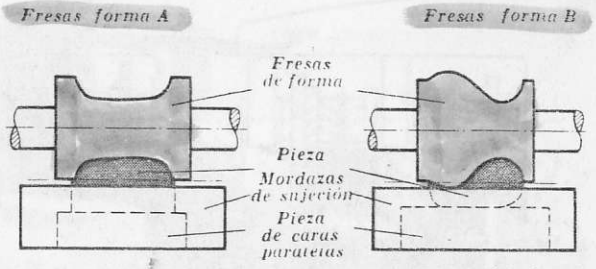


Fig. 66,5 Fresado de una matriz.

forma convexa en la pieza que se trabaja. Frecuentemente es necesario emplear varias fresas de forma y cambiar varias veces la fresa de modo de sujeción para obtener la pieza con la forma deseada **(fig. 67,1)**.

En el *fresado copiador* y en el *fresado de una matriz o estampa* la forma de la pieza se obtiene mediante un adecuado movimiento de avance de la pieza o de la herramienta **(figs. 66,4 y 5)**. No se necesita en este caso una fresa de forma de tipo especial (véanse págs. 68 y 69).

Fig. 67,1 Fresado de un trinquete de parada **(fig. 66,2)**.



Fresa de forma

Como las formas que se obtienen mediante fresado de forma son muy variadas, por lo general lo que se hace es preparar fresas de forma especiales.

Están normalizadas, y por lo tanto se encuentran habitualmente en el comercio, las siguientes fresas: fresas semicirculares cóncavas (DIN 855) y convexas (DIN 856), fresas en cuarto de círculo (DIN 6513), fresas para huecos (DIN 1824), fresas para ranuras de fresas, de brocas espirales, de machos de roscar, etc.: estas fresas tienen los dientes fresados y también con despulla. También hay fresas para fresar llaves inglesas **(figs. 67,2 ... 6)**.

En las fresas semicirculares y de cuarto de circunferencia la norma prevé dientes con despulla (o sea destalonados) y un ángulo de ataque de unos 8°. Con esto se consigue una pequeña deformación no corregida.

En las fresas para ranuras las formas A y B tienen dientes fresados, las C y D dientes destalonados, las formas A y C son para ranuras rectas y las B y D para ranuras de viruta conformadas en espiral. Los ángulos son de 18°, 24° ó 30° **(figs. 67,5 y 6)**.

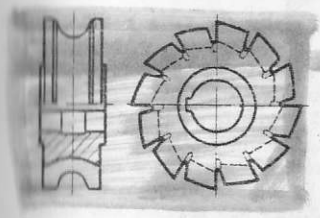


Fig. 67,2 Fresa semicircular, cóncava.

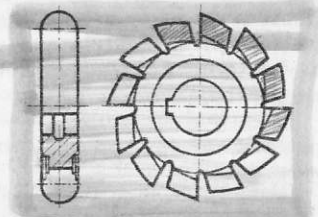


Fig. 67,3 Fresa semicircular, convexa.

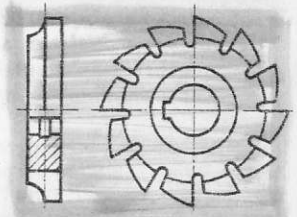


Fig. 67,4 Fresa de cuarto de circunferencia.

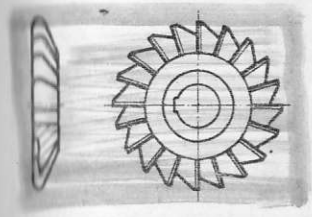


Fig. 67,5 Fresa para ranuras con dientes fresados (for. A).

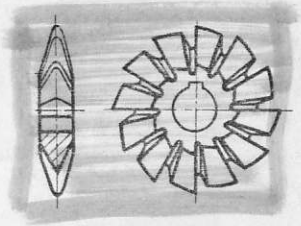


Fig. 67,6 Fresa para ranuras con dientes destalon. (for. D).

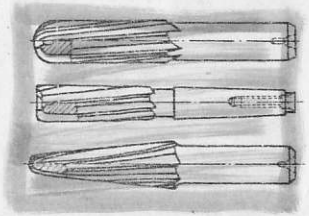


Fig. 67,7 Fresa para estampas y matrices (formas B, C, F).

Fresas para estampas y matrices

Las estampas y matrices o moldes son formas huecas en que se introduce la pieza en bruto que ha de ser trabajada o también una primera materia en forma de masa o pasta. Mediante prensado en caliente o en frío obtiene el material una forma que se corresponde con el espacio hueco del molde o matriz. De este modo se obtienen por ejemplo palancas, bielas, piezas de carrocería y los más variados objetos de resinas sintéticas. Las formas, a veces realmente complicadas, de los moldes pueden obtenerse mediante las que hemos llamado fresas para estampas y matrices **(fig. 67,7)**.

Según DIN 1889 se distinguen los siguientes tipos:

Forma A Parte cortante y vástago cilíndricos, parte frontal recta.
Forma B Vástago y parte cortante cilíndricos, parte frontal semicircular.
Forma C Parte cortante cilíndrica, vástago cónico, parte frontal recta.
Forma D Parte cortante cilíndrica, vástago cónico, parte frontal semicircular.
Forma E Parte cortante cónica, vástago cilíndrico, parte frontal recta.
Forma F Parte cortante cónica, vástago cilíndrico, parte frontal semicircular.

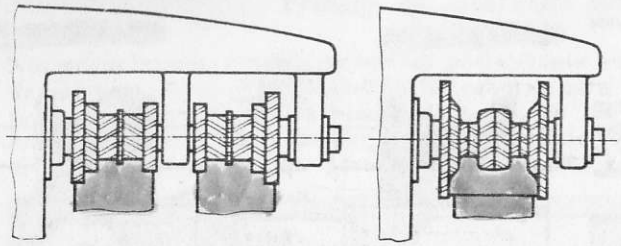


Fig. 68,1 Juego de fresas

Juegos de fresas

Las superficies especialmente an chas, las que presentan resaltos, las que están compuestas por di versas formas, pueden obtener mediante la combinación de varia fresas. La totalidad de la superf cie de fresado se abarca entonce en una sola pasada. De este mod se ahorran los elevados precios d costo de las fresas especiale **(fig. 68,1).**

Como las distintas fresas empleadas en esta combinación tienen diámetros desiguales pero están animadas con el mismo número de revoluciones, la velocidad de corte es distinta. Con objeto de poder aprovechar plenamente la herramienta y obtener así tiempos de fresado tan cortos como sea posible, se fabrican las fresas grandes de acero rápido mejor (más caro) que las pequeñas.

Máquinas para fresado copiador

Mediante el fresado copiador se hace posible la obtención de formas que no se obtienen con el fresado de forma. Además se evita así, el empleo de las fresas de forma que son muy caras.

En el procedimiento de fresado por copia hay una varilla de guía o un rodillo de guía que deslizan sobre una pieza modelo que se mantiene firmemente sujeta o sea sobre una plantilla y se guía de acuerdo con esa forma la herramienta o la mesa con la pieza que se trabaja.

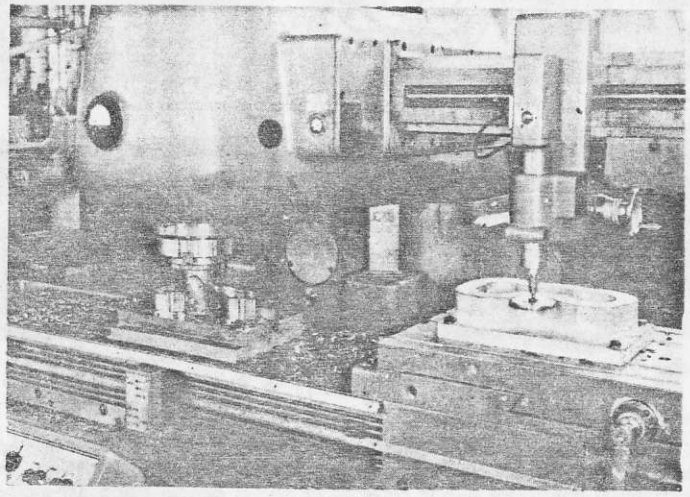
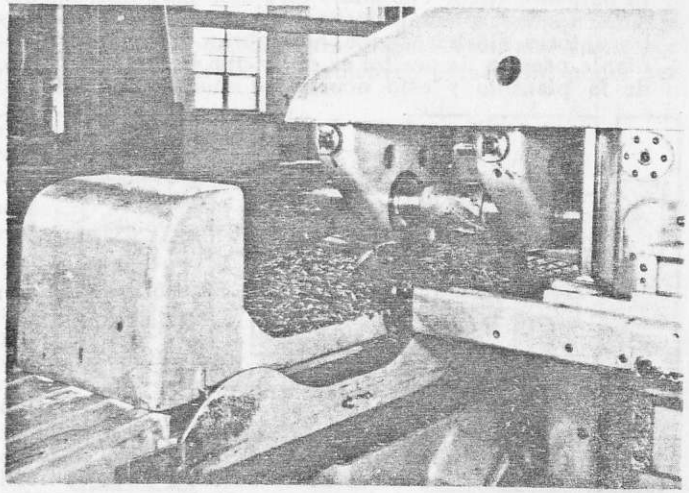


Fig. 68,2 Palpador y soporte de la plantilla en una fresadora vertical de copiar.

Según el tipo de la máquina que se emplee, los necesarios movimientos de la mesa o del carro se realizan ya sea a mano ya sea automáticamente. En los modelos más antiguos se encuentran todavía contrapesos que aproximan el carro porta herramientas con la varilla de guía a la pieza de muestra o a la plantilla mien tras que la mesa de la fresadora se mueve, a mano o automáticamente, en direc ción transversal **(figs. 68,2 y 69,1).**

En el copiado de contornos la herramienta o la pieza se mueven en dos direc ciones (bidimensionalmente) y en el copiado estéreo por el contrario existen tres direcciones de movimiento (movimiento tridimensional).

Fig. 69,1 Palpador y soporte de la plantilla en una fresadora horizontal



Montaje copiador en una fresadora vertical de un husillo

Para trabajos ligeros de fresado copiador se presta bien por ejemplo el siguiente montaje que puede disponerse en cualquier fresadora vertical corriente:

Sobre la mesa de la máquina se sujeta una mesa especial copiadora. Esta mesa consta de dos carros que pueden correrse en direcciones perpendiculares entre sí. Por medio de un asidero en forma de bola se puede desplazar con facilidad la mesa en todas direcciones. Sobre la mesa de copiar se sujetan una plantilla con superficiales de deslizamiento oblicuas y la pieza que se ha de trabajar. En la cabeza del husillo hay un soporte con varilla cónica de guía (dedo copiador). El árbol portafresa se provee de una fresa de vástago. Para trabajar la pieza se pasa la superficie de deslizamiento de la plantilla por el dedo copiador, mediante accionamiento del asidero en forma de bola que hemos mencionado. La fresa de vástago fresa al mismo tiempo la forma correspondiente. En virtud de la posición inclinada del dedo copiador se tiene la posibilidad de regular el arranque de viruta, ajustando adecuadamente en altura la mesa.

Fresadora de dos husillos

Se emplea preferentemente para la fabricación en grandes series. Uno de los husillos puede emplearse para el fresado previo y el otro para el de acabado sin necesidad de cambiar la sujeción de la pieza o de la herramienta.

Dispositivo electro-hidráulico para fresado copiador

Las máquinas fresadoras modernas están a veces dotadas de un mando electro-hidráulico para el palpado. La plantilla se desliza también aquí junto a un palpador. El carro no se mueve, empero, directamente, con lo que por ejemplo se produce una gran presión mutua entre plantilla y palpador, sino que varía su dirección de movimiento de un modo indirecto **(fig 69,2).**

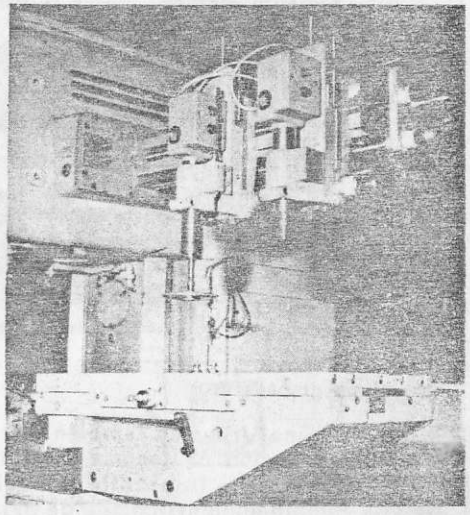


Fig. 69,2 Fresadora copiadora autom. con mando eléctr. del palpador (mov. tridimensional).

El palpador (dedo copiador) toca sólo muy ligeramente a la plantilla. Tan pronto como varía la presión de contacto se pone en funcionamiento un sistema de interruptores eléctricos que maniobran la mesa fresadora hidráulicamente (mediante presión de aceite) es decir que la mesa se mueve de acuerdo con la forma de la plantilla y esto ocurre de modo automático (véanse págs. 227 y 228).

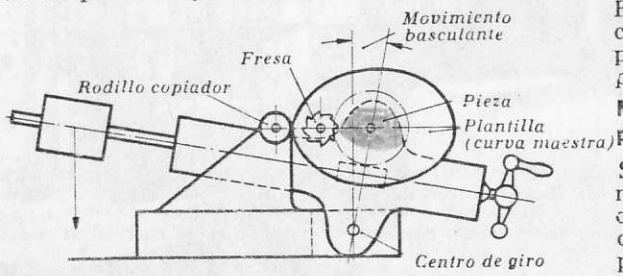


Fig. 70,1 Fresado copiador de formas curvas.

Esta clase de máquinas se construyen tanto para el copiado de contornos como para el copiado estéreo.

Máquinas fresadoras para formas curvas

Sirven estas máquinas, en primer término, para la fabricación de discos de levas, levas curvas planas, etc., es decir para la ejecución de superficies fresadas que constituyan una forma curva cerrada.

Muchas veces se emplea como plantilla una que podríamos llamar «curva maestra» que va dispuesta en el mismo husillo que la pieza que se trabaja. El husillo va soportado en un carro basculante. Al girar el husillo la curva maestra rueda sobre un rodillo copiador que va fijado comunicándose al carro un movimiento basculante de acuerdo con la forma de la curva. Mientras la pieza hace también el movimiento de giro y basculación, la fresa que está fija va fresando la curva deseada (fig. 70,1).

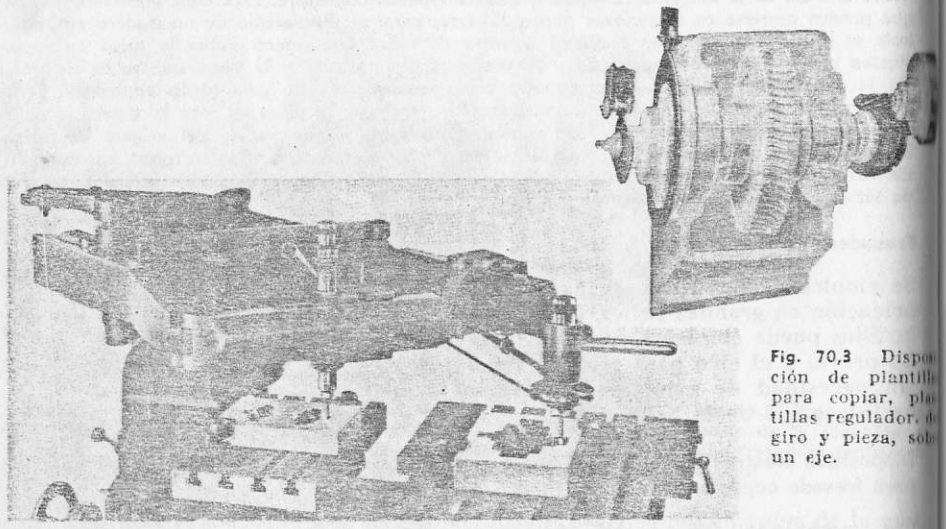


Fig. 70,3 Disposición de plantilla para copiar, plantillas regulador, de giro y pieza, sobre un eje.

Fig. 70,2 Ampliación de un molde de coquilla según una forma moldeada de porcelana

Máquinas grabadoras

Estas máquinas trabajan también por el procedimiento de copiar. Se usan mucho para la obtención de formas complicadas en punzones, matrices, rodillos para estampar, etc. Para transmitir el movimiento del dedo palpador a la fresa se utiliza una combinación articulada de palancas, el pantógrafo. Se pueden obtener también con estas máquinas ampliaciones o reducciones de la muestra (figs. 70,2 y 3).

Montajes

La sujeción de las piezas con ayuda de los dispositivos usados ordinariamente para ello resulta con frecuencia incómoda, insegura y sobre todo engorrosa por requerir mucho tiempo. La máquina entretanto permanece parada sin poder ser aprovechada.

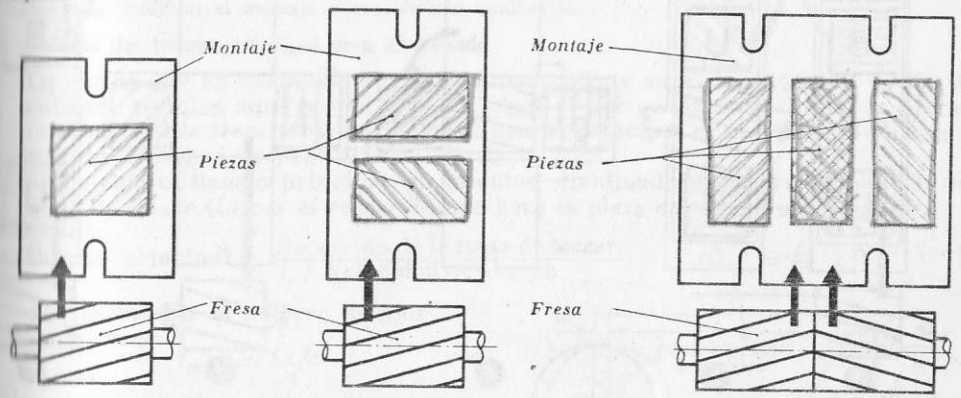


Fig. 71,1 Montaje sencillo.

Fig. 71,2 Montaje en series.

Fig. 71,3 Montaje múltiple.

En muchos casos resulta adecuado para ello el empleo de dispositivos especiales de sujeción (montajes). Según sea la disposición de las piezas se distinguen los siguientes montajes:

1. *Montajes sencillos* **(fig. 71,1).** Sirven únicamente para recibir una sola pieza.
2. *Montaje en series* **(fig. 71,2).** Sirven para varias piezas dispuestas unas tras otras. Después de una pieza se fresa otra.
3. *Montajes múltiples* **(fig. 71,3).** Sirven igualmente para varias piezas dispuestas una al lado de la otra. Todas las piezas se trabajan a un mismo tiempo.
4. *Montajes para el fresado pendular* **(fig. 71,4).** Durante el fresado de una pieza se cambia la fresada anteriormente por otra todavía sin fresar. Cuando está terminada una pieza se mueve hacia atrás la mesa de la fresadora y se fresa inmediatamente la nueva pieza recién colocada. Como el avance está dirigido alternativamente hacia la izquierda y hacia la derecha hay que emplear una fresa frontal. En el fresado de rodadura la fresa iría una vez en la dirección de la marcha y otra en contradirección. Pueden emplearse también dos fresas con distinta dirección de corte, pero en este caso habría que cambiar cada vez el sentido de giro del husillo principal.
5. *Montajes basculantes* **(fig. 72,1).** También aquí durante el trabajo de una pieza se cambia la recién fresada por otra pendiente de ser fresada. Pero para no tener que hacer retroceder la fresa sobre la superficie de trabajo, terminada, se bascula el montaje primero en 90°, se retira la mesa de trabajo y se bascula el montaje en otros 90°. Con esto queda la pieza en posición para ser trabajada.

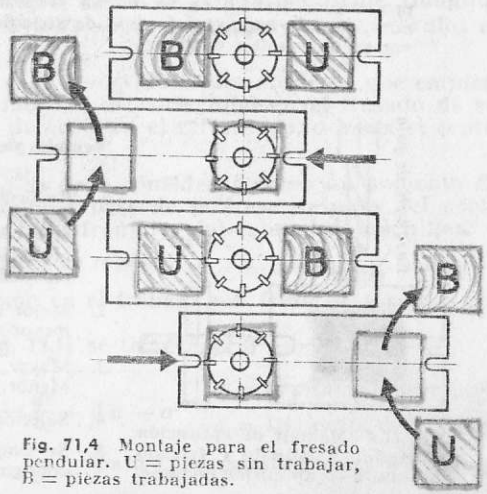


Fig. 71,4 Montaje para el fresado pendular. U = piezas sin trabajar, B = piezas trabajadas.

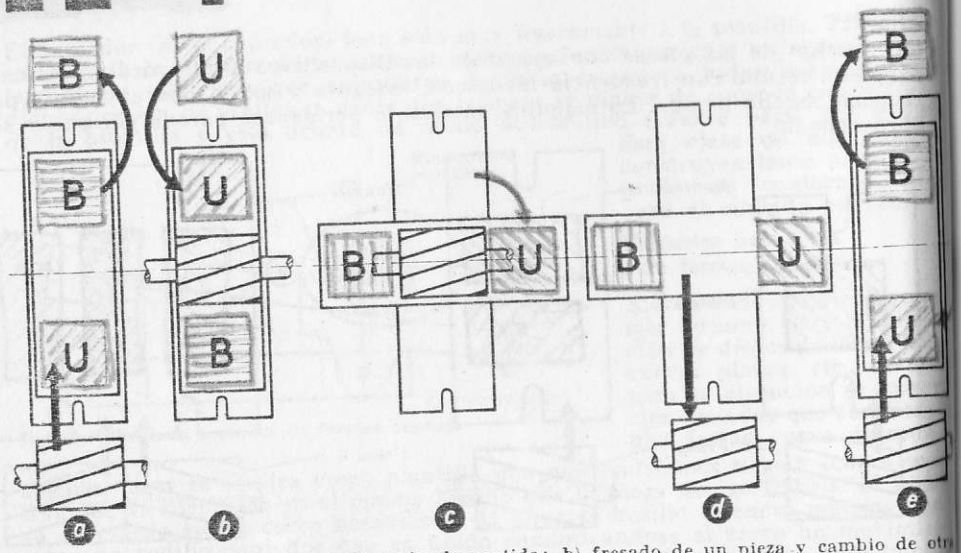


Fig. 72,1 Montaje basculante. a) Posición de partida; b) fresado de un pieza y cambio de otra; c) primer movimiento de basculación; d) retroceso de la fresa; e) segundo movimiento basculante, posición de partida.

6. *Montajes móviles o montajes para fresado continuo* (fig. 59,2). Se sujetan varias piezas sobre una mesa de trabajo soportada vertical u horizontalmente y que se mueve lentamente según la velocidad de avance. Las piezas terminadas se reemplazan continuamente por otras y trabajar. La máquina puede de este modo trabajar sin descanso.

7. *Montajes de aplicación múltiple* (fig. 72,2). En general se construyen montajes especiales para los distintos procedimientos y procesos de trabajo. De acuerdo con esto se distingue entre montajes para fresar, para taladrar y para tornear. Si por otro lado se necesita realizar varios trabajos de fresado, se sujetará la pieza frecuentemente para cada trabajo en un montaje distinto. Los montajes de aplicación múltiple nos permitirán trabajar la pieza mediante distintos procedimiento de mecanizado (por ejemplo fresado y taladrado) o también ejecutar distintos procesos de trabajo en un mismo procedimiento de mecanizado (por ejemplo fresado de ranura, fresado angular y fresado de superficie) sin necesidad de sujetar para ello la pieza cada vez en un montaje distinto.

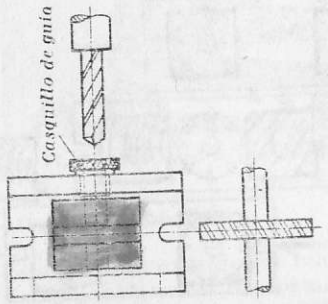


Fig. 72,2 Montaje de aplicación múltiple: Taladrado y fresado de ranura en un mismo montaje.

Ventajas de los montajes

1. Reducción del tiempo de trabajo, por ejemplo en virtud del empleo de tiempos de menor duración en la sujeción o por ahorro del trazado previo frecuentemente necesario y de la nivelación de la pieza. Se ahorra también muchas veces la repetida toma de medidas.
2. Mejor aprovechamiento de la máquina porque en virtud de menor tiempo de sujeción está menos tiempo parada.
3. Mayor uniformidad y exactitud de las piezas trabajadas. Menor desperdicio.
4. Sujeción más segura de las piezas.
5. Se simplifica el proceso de trabajo y no se necesita por consiguiente que el operario reúna tan buenas condiciones

Desventajas de los montajes

1. Los montajes son a veces muy caros. Como no pueden ser utilizados nada más que para piezas semejantes no pueden entrar en consideración nada más que para la fabricación en serie o en grandes series.
2. Si se hace necesario establecer variaciones constructivas en la pieza será generalmente indispensable modificar el montaje o considerarlo inutilizable.

Cálculo del tiempo principal para el fresado

Lo mismo que en cualquier otro trabajo consistente en el arranque de viruta se entiende también aqui por tiempo principal el tiempo durante el cual la herramienta (aqui la fresa) está cortando. El tiempo principal es una parte del tiempo total de trabajo (ver pág. 27).

Se obtiene el tiempo principal, en minutos, dividiendo el recorrido total de la mesa de fresar (L) por el recorrido que hace la pieza en un minuto, es decir:

$$\text{Tiempo principal} = \frac{\text{Recorrido de la mesa de fresar}}{\text{Velocidad de avance}} \qquad t_{princ.} = \frac{L}{s'}$$

Si i representa el número de filos de la fresa

$$t_{princ.} = \frac{i \cdot L}{s'}$$

poniendo $s' = s_z \cdot z \cdot n$ y

$$n = \frac{v \cdot 1000}{d \cdot \pi}$$

se obtiene:

$$t_{princ.} = \frac{i \cdot L \cdot d \cdot \pi}{s_z \cdot z \cdot v \cdot 1000}$$

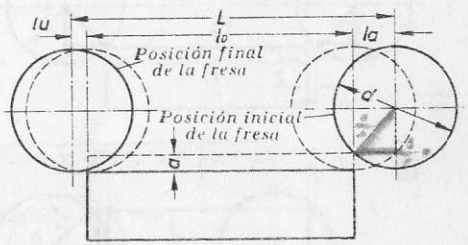


Fig. 73,1 Recorrido de trabajo L en el fresado con fresas de rodadura o con juegos de fresas.

El recorrido de trabajo (L) se compone de la longitud de la pieza (l), del recorrido de arranque de la fresa (l_a) y del recorrido de rebase (l_u) de la fresa:

$$L = l + l_a + l_u$$

Como *longitud (l) de la pieza* se considera la que tiene ésta en el momento en que se la trabaja es decir en el caso en que la pieza haya de ser posteriormente trabajada lateralmente, se tiene en cuenta el exceso correspondiente (longitud en bruto). Lo mismo sucede con la anchura de la pieza (anchura en bruto) en el fresado frontal.

Recorrido de arranque de la fresa (l_a) es el recorrido realizado desde que empieza el corte hasta que se alcanza la profundidad de corte total en el fresado de rodadura o hasta tener la anchura total de corte en el refrentado, o hasta el centro de la fresa en el planeado de afino.

El *recorrido de rebase de la fresa* (l_u) se debe considerar como un aumento difícil de evaluar por cálculo, por ejemplo, rebase de la fresa después del corte, redondeamientos de las esquinas de la fresa frontal o del cabezal de cuchillas.

Determinación de los recorridos de arranque y de rebase:

1. En el fresado de rodadura (asi como en el trabajo con fresa de forma o con juego de fresas).
   Según el teorema de Pitágoras (fig. 73,1) se tiene:

$$l_a = \sqrt{\frac{d^2}{4} - \left(\frac{d}{2} - a\right)^2} \qquad l_a = \sqrt{\frac{d^2}{4} - \frac{d^2}{4} + d\,a - a^2}$$

a = Profundidad de corte
d = Diámetro de la fresa

$$l_a = \sqrt{d\,a - a^2}$$

para l_u se suponen unos 2 ... 5 mm

2. En fresado de ranuras con fresa de disco **(fig. 74.1 a)**:

Para el desbastado como en el fresado de rodadura

$$l_a = \sqrt{d\,a - a^2} \qquad l_u = 2 \ldots 5 \text{ mm}$$

Para el afinado la fresa debe salir totalmente y por tanto se tiene:

$$l_u = l_a + \approx 2 \text{ mm} \qquad \underline{l_u = \sqrt{d\,a - a^2} + 2 \text{ mm}}$$

3. En el fresado frontal (refrentado):

El recorrido de arranque y el de rebase dependen de la anchura de la pieza, del diámetro de la fresa, de la posición de ésta respecto al centro de la pieza y, además, de si se trata de desbastado o afinado.

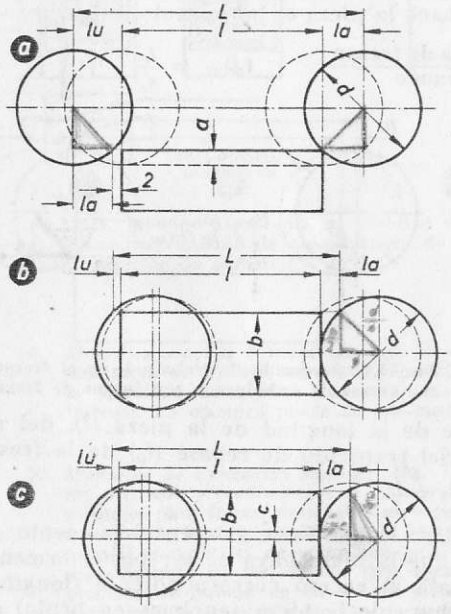


Fig. 74,1 a) Recorrido de trabajo L en el afinado con fresa de disco; b) recorr. de trab. L en el fresado front. cuando la herram. pasa por el centro de la pieza; c) recorr. de trab. en el fresado frontal cuando la herram. discurre paralelamente al eje de la pieza.

Desbastado:

El eje de la fresa pasa por el centro de la pieza **(fig. 74,1 b)**.

$$l_a = \frac{d}{2} - y$$

$$y^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2$$

$$y = \frac{1}{2}\sqrt{d^2 - b^2}$$

$$\underline{l_a = \frac{d}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{d^2 - b^2}}$$

El eje de la fresa pasa fuera del centro de la pieza **(fig. 74,1 c)**.

$$l_a = \frac{d}{2} - y$$

$$y^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2} + c\right)^2 = \frac{d^2}{4} - \frac{b^2}{4} - bc - c^2$$

$$l_a = \frac{d}{2} - \sqrt{\frac{d^2 - b^2}{4} - b\,c - c^2}$$

$$\underline{l_a = \frac{d}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{d^2 - b^2 - 4\,b\,c - 4\,c^2}}$$

c = distancia entre el eje de la fresa y el de la pieza

l_u = unos 3 ... 5 mm

Para cálculos menos exactos puede ponerse también:

$$\underline{l_a + l_u = \frac{d}{2}}$$

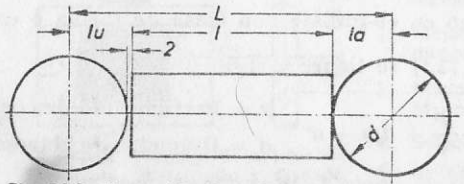


Fig. 74,2 Recorrido de trabajo L en el afinado con fresas frontales.

Afinado **(fig. 74,2)**.

$$l_a = \frac{d}{2} \qquad l_u = \frac{d}{2} + 2$$

$$\underline{l_a + l_u = d + 2 \text{ mm}}$$

Ejemplos:

1. Un listón de guía de 420 mm de longitud en bruto ha de ser aplanado con una fresa de rodadura que tiene $d = 70$ mm Ø. Profundidad de corte $a = 5$ mm, velocidad de avance $s' = 80$ mm/min. Para l_u vamos a suponer un valor de 3 mm. Se trata de calcular el tiempo principal.

Solución

$$L = l + l_a + l_u$$

$$l_a = \sqrt{da - a^2} = \sqrt{70 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} - 25 \text{ mm}} = \sqrt{325 \text{ mm}^2} = 18{,}02 \text{ mm}$$

$$L = 420 \text{ mm} + 18 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 441 \text{ mm}$$

$$t_{princ.} = \frac{L}{s'} = \frac{441 \text{ mm}}{80 \text{ mm/min}} = 5{,}5 \text{ min}$$

2. Una superficie de $l = 500$ mm de longitud en bruto y de $b = 125$ mm de anchura en bruto va a ser primeramente sometida a un desbastado, para aplanarla, con un cabezal de cuchillas de diámetro $d = 175$ mm (velocidad de avance $s' = 70$ mm/min, $l_u = 3$ mm, eje de la fresa desplazado en $c = 10$ mm respecto al de la pieza) A continuación hay que afinar la pieza con la misma fresa ($s' = 50$ mm/min).

Solución:

Desbastado:

$$L = l + l_a + l_u$$

$$l_a = \frac{d}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{d^2 - b^2 - 4\,bc - 4c^2} =$$

$$= 87{,}5 \text{ mm} - \frac{1}{2}\sqrt{30\,625 \text{ mm}^2 - 15\,625 \text{ mm}^2 - 5000 \text{ mm}^2 - 400 \text{ mm}^2} =$$

$$= 87{,}5 \text{ mm} - \frac{1}{2}\sqrt{9600 \text{ mm}^2} = 87{,}5 \text{ mm} - 49 \text{ mm} = 38{,}5 \text{ mm}$$

$$L = 500 \text{ mm} + 38{,}5 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 541{,}5 \text{ mm}$$

$$t_{princ.} = \frac{L}{s'} = \frac{541{,}5 \text{ mm}}{70 \text{ mm/min}} = 7{,}74 \text{ min}$$

Afinado:

$$L = l + l_a + l_u = l + d + 2 \text{ mm} = 677 \text{ mm}$$

$$t_{princ.} = \frac{L}{s'} = \frac{677 \text{ mm}}{50 \text{ mm/min}} = 13{,}54 \text{ min}$$

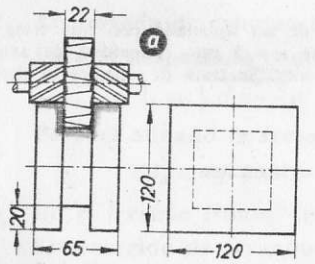


Fig. 76,1

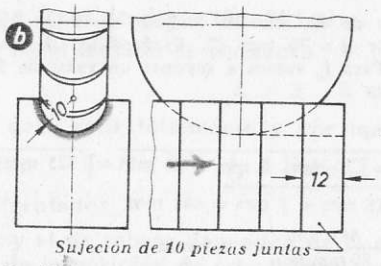


Fig. 76,2

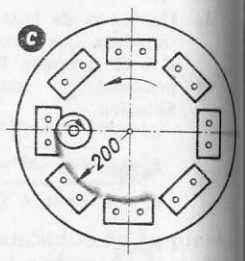


Fig. 76,3

Ejercicios:

1. Una banda de guía de 700 mm de longitud se quiere empezar por desbastarla para después afinarla utilizando una fresa de rodadura de 75 mm de diámetro. La velocidad de avance es $s' = 80$ mm/min en el desbastado y $a = 40$ mm/min en el afinado. Profundidad total de corte $a = 5$ mm, de esta profundidad debe quedar 0,5 mm para el afinado. Se trata de calcular el tiempo principal.

2. Con una fresa de rodadura de diámetro $d = 65$ mm se quieren trabajar en un corte unas placas de fundición de 30 mm . 800 mm. ¿Qué velocidad de avance se escogerá si el tiempo principal ha de ser de 12 minutos por pieza? $l_u = 3$ mm; profundidad de corte $a = 4$ mm.

3. Una superficie de apoyo de 600 . 150 mm ha de ser desbastada, y luego afinada, con un cabezal de cuchillas de diámetro $d = 210$ mm. Desbaste: $s' = 50$ mm/min, $l_u = 5$ mm; afinado: $s' = 42$ mm/min. El eje de la herramienta va desplazado en $^1/_{10}$ de la anchura de la pieza respecto al eje de ésta. Se quiere calcular el tiempo principal.

4. Se quieren fresar ranuras de 20 mm de ancho, 20 mm de profundidad y 250 mm de longitud. Calcúlense los tiempos principales para el desbastado y afinado de 20 piezas.
Desbastado: fresas acopladas de ranurar $d = 100$ mm ∅, número de dientes $z = 14$, avance por diente de fresa $s_z = 0{,}07$ mm, velocidad de corte $v_1 = 18$ m/min, profundidad de ranura 19,5 mm, anchura de ranura 19 mm, $l_u = 3$ mm. La máquina va provista de regulación del número de revoluciones y del avance sin escalonamiento.

5. Se han venido trabajando en un corte unas llantas de acero de 90 mm de anchura y 800 mm de longitud con una fresa de rodadura de 75 mm ∅ y una velocidad de avance de $s_1' = 60$ mm/min, $l_u = 3$ mm. Se quiere emplear ahora un cabezal de cuchillas con filos de metal duro ($d = {}^7/_3$ de la anchura de la pieza) y con velocidad de avance $s_2' = 200$ mm/min. $l_u = 4$ mm. Calcular: a) tiempo principal hasta ahora en el fresado de rodadura que empleábamos; b) tiempo principal en el fresado frontal con el cabezal de metal duro; c) aumento del rendimiento del trabajo en %; d) potencia necesaria en kW si se admite que la cantidad de viruta por cada kWmin es de 22 cm³ en el fresado de rodadura y de 28 cm³ en el frontal.

6. La potencia de una fresadora es de 2,5 kW. Se trata de fresar piezas de 400 mm de longitud y 110 mm de anchura. Profundidad de corte $a = 5$ mm. Cantidad admisible de viruta 20 cm³ por cada kWmin. ¿Qué tiempo principal se puede obtener en el fresado de rodadura? (diámetro de la fresa $d = 90$ mm). $l_u = 3$ mm.

7. Con un juego de fresas se tratan de desbastar de una sola vez las 4 ranuras de alojamiento y la superficie lateral de un soporte de acero para cuatro útiles (**fig. 76,1**). Profundidad de ranura 20 mm, anchura de las ranuras 22 mm (medidas para el desbastado). Diámetro de la fresa de disco $d = 120$ mm. Velocidad de avance $s' = 50$ mm/min. $l_u = 3$ mm. Se quiere calcular el tiempo principal.

8. Con una fresa semicircular hay que fresar piezas de sujeción con espesor de 12 mm. Profundidad de fresado $a = 10$ mm; diámetro de la fresa $d = 90$ mm, velocidad de avance $s' = 30$ mm/min. $l_u = 2$ mm. Calcúlese el tiempo principal de 10 piezas, a) cuando cada pieza se mecaniza por separado, b) cuando 10 piezas se sujetan simultáneamente y se fresan una tras otra.

9. En una mesa redonda se fresan interiormente de modo continuo piezas en forma de segmento (**fig. 76,3**). ¿Cuántas piezas pueden producirse por hora siendo la velocidad de avance $s' = 120$ mm/min, estando 8 piezas sujetas en arco de circunferencia y siendo 200 mm el radio en la pieza?

Fresado de forma

Si se quieren obtener mediante fresado determinadas formas en piezas delgadas habrá que sujetar estas últimas de modo especialmente fijo pues en caso contrario las piezas se curvarían fácilmente. En ciertos casos se hace un fresado previo, se endereza la pieza y se termina de fresar (**fig. 77,1**).

Fresado con juegos de fresas

En los juegos de fresas las ranuras espirales tienen que ir dirigidas de tal modo que las virutas vayan siendo expulsadas hacia fuera durante el fresado y la presión axial debe compensarse mediante pasos opuestos de las espirales o, cuando esto no sea posible, que sea dirigida contra el árbol portafresa.
Las máquinas modernas están a veces organizadas de tal modo que no haya que preocuparse de la presión axial (por ejemplo mediante soportes de rodillos de inclinación doble en el árbol portafresa).

Causas de funcionamiento poco tranquilo de la fresa (vibración).

Máquina. La máquina es demasiado débil para el rendimiento de fresado que se exige.
El soporte del husillo de trabajo o las guías del carro tienen juego.
Se fresa en marcha paralela, cuando la máquina no es adecuada para ello.

Herramienta. El vástago de la fresa es demasiado largo, demasiado débil o no va soportado correctamente (por ejemplo a demasiada distancia del punto de trabajo).
En virtud de un paso incorrecto de la espiral se afloja el vástago en el husillo portafresa.
La fresa es demasiado grande y en caso de filos rectos tiene demasiado paso entre diente y diente.
La fresa no gira redonda (rectificado incorrecto, suciedad o virutas entre superficies en el alojamiento, el husillo de la fresa está curvado).
Demasiada velocidad de corte.
La fresa está embotada

Pieza. La pieza no está sujeta en la mesa de fresar.
La fuerza de corte actúa desfavorablemente o bien porque la pieza está sujeta sobresaliendo mucho o bien porque la superficie de trabajo se halla situada demasiado alta con relación a la mesa fresadora.
La pieza, de poco espesor, no está suficientemente soportada.
La pieza está sometida a tensiones deformativas debidas al modo de estar sujeta.

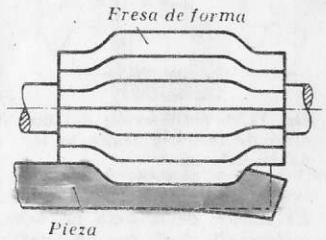


Fig. 77,1 Deformación por curvado de piezas delgadas durante el fresado de forma.

Consecuencias de las vibraciones

La superficie de la pieza resulta poco presentable. El rendimiento de la fresa disminuye. La máquina sufre.

Velocidad de avance, velocidad de corte y profundidad de corte en el fresado.

Si disminuye el número de revoluciones o sea la velocidad de corte, las virutas resultarán más gruesas para una misma velocidad de avance. La cantidad de viruta arrancada en un determinado tiempo no sufre variación (véase pág. 37).
Si la velocidad de corte es demasiado grande sufren los filos de la fresa. El tiempo de duración baja considerablemente cuando se aumenta la velocidad de corte.
Cuando se hace trabajo de afino hay que emplear avances pequeños (superficie más limpia, más presentable). La velocidad de corte queda aumentada en un 20 % al 50 % con respecto a la empleada en el desbastado (véanse tablas).
Es preferible trabajar con gran avance y pequeña profundidad de corte que con pequeño avance y gran profundidad de corte.
Valores de orientación para la profundidad de corte: Desbastado: unos 2 ... 6 mm; afino unos 0,2 ... 1,5 mm.

Refrigerante y lubricante durante el fresado

Mediante el empleo de medios refrigerantes y lubricantes se eleva considerablemente la duración de la fresa. Generalmente se obtiene además con ello una mejor calidad superficial. Aparte de esto con esos medios refrigerantes y lubricantes pueden arrastrarse las virutas.
Para aceros sin alear y aleados, acero fundido, fundición maleable, latón, bronce, aluminio y silumín se emplea por lo general taladrina.
La fundición, las resinas sintéticas y la ebonita se mecanizan mejor en seco.
Para «electron» lo que procede es emplear una solución al 40 % de fluoruro de sodio o trabajarlo en seco.
Es importante hacer que el medio refrigerante incida con un chorro ancho y fuerte sobre la superficie de corte y esto ya antes de que empiece a cortar la fresa (véase pág. 20).

Puntos de vista a tener en cuenta al escoger el diámetro de la fresa

Diámetro de la fresa — Velocidad de corte — Número de revoluciones. Para un mismo número de revoluciones la fresa con diámetro mayor tiene una mayor velocidad de corte.
Si por otro lado ha de ser igual la velocidad de corte, la fresa de menor diámetro habrá de tener mayor número de revoluciones (véase pág. 53).

Diámetro de fresa y solicitación del husillo portafresa. Las fuerzas que intervienen en el proceso de fresado actúan sobre el husillo por un lado perpendicularmente a su eje longitudinal, sometiéndolo por lo tanto a un trabajo de flexión, y por otro lado en la dirección de su periferia solicitándolo con ello a torsión. La fuerza periférica U (véase pág. 35) actúa sobre un brazo de palanca cuya longitud es igual al radio de la fresa **(fig. 78,1).** Según la ley de la palanca

Fuerza por brazo de palanca = Resistencia por brazo de resistencia

$$F \cdot a = Q \cdot b$$

y en el caso actual

$$U \cdot R = Q \cdot r$$

de donde se deduce que

el esfuerzo resistente Q que actúa en la periferia del husillo portafresa crece con la magnitud del radio R de la fresa y disminuye cuando crece el radio r del husillo o vástago de la fresa (suponiendo un mismo esfuerzo periférico U).

Resulta según esto ventajoso para el husillo de la fresa mantener lo más pequeño que sea posible el diámetro de la fresa y lo más grande que se pueda el del husillo.

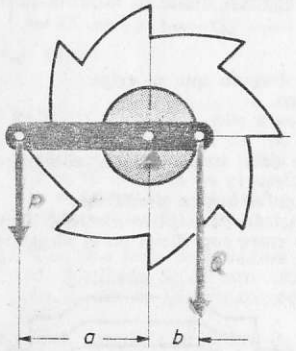


Fig. 78,1 Solicitación del husillo de la fresa según la ley de la palanca.

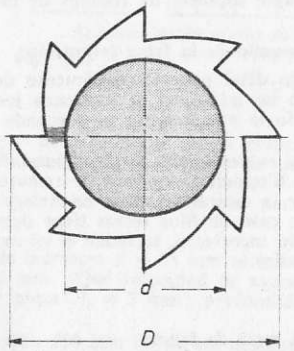


Fig. 78,2 Debilitación de la sec. cuando el dtro. del husillo es muy grande o cuando el de la fresa es muy pequeño.

La sección de la fresa no debe, empero, hacerse demasiado pequeña porque en caso de serlo se rompería la fresa con facilidad **(fig. 78,2).**

Diámetro de la fresa y tiempo de fresado. Antes de que la fresa entre de lleno a cortar necesita un determinado tiempo de arranque. Este es tanto mayor cuanto mayor es el diámetro de la fresa (véase pág. 73).

Diámetro de la fresa y número de dientes. El trabajo de fresado se distribuye entre los distintos dientes. Cuantos más dientes tenga la fresa tanto menos cargado resultará cada uno y tanto más largo será el tiempo de duración. Otra ventaja puede ser la de que, especialmente en el fresado por rodadura y con pequeña profundidad de corte, participan más dientes en el corte y por lo tanto la fresa trabaja más descansada, más tranquila. Las siguientes causas son sin embargo las que hacen poco deseable algunas veces un elevado número de dientes:

1. Cuanto más apretados, unos contra otros, los dientes tanto más pequeñas hay que mantener las ranuras para virutas. Las virutas producidas no tienen, en consecuencia sitio suficiente.
2. Según dice la experiencia, con el número de diente aumenta la potencia necesaria en la máquina.
3. Si se quieren tener muchos dientes y grandes espacios entre ellos, el diámetro de la fresa tendrá que ser mayor. Con esto aumentan el precio de la fresa, el consumo de potencia, la solicitación del husillo y el tiempo de fresado.

En general puede decirse lo siguiente:
Las fresas para material blando, fácilmente mecanizable, llevan pocos dientes y grandes espacios para la viruta.
Las fresas para materiales duros deben tener un número de dientes mayor (véase pág. 35).

Diámetro de la fresa y anchura de fresado. Cuando se fresan frontalmente superficies planas el diámetro de la fresa tiene que ser mayor que la anchura de la superficie de trabajo. Generalmente se considera $D = 1{,}4\ b$ (D = diámetro de la fresa, b = anchura de la pieza). Para la fundición gris se elige también $D = 1{,}3\ b$, para materiales que dan viruta larga hasta $D = 1{,}6\ b$ (véase pág. 31).

Afilado de la fresa

Momento en que procede el afilado de la fresa: El afilado de la fresa ocupa mucho tiempo, pero por las razones que se enumeran a continuación sería erróneo sacar de lo dicho la consecuencia de que se debe hacer trabajar la fresa tanto como se pueda, hasta dejarla casi completamente embotada:

1. Una fresa demasiado desafilada exige un tiempo de afilado desproporcionalmente largo.
2. La fresa se desgasta muy rápidamente.
3. Se produce fuerte calentamiento en la herramienta y en la pieza.
4. Existe el peligro de que se rompan los filos, de que se produzcan grietas en ellos o sea, en resumidas cuentas, de que la fresa se inutilice.
5. Los esfuerzos de corte aumentan notablemente, el consumo de fuerza de la máquina sube.
6. La fresa trabaja de modo agitado, se despega de la pieza.
7. La máquina sufre bajo la elevada solicitación a que se ve sometida.

Por otro lado, tampoco debe procederse al afilado demasiado pronto.

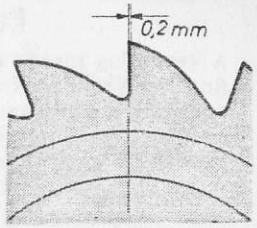


Fig. 79,1 Marca de degaste en la superficie de incidencia del filo principal del diente de la fresa.

Una idea para la elección del momento adecuado nos la da la anchura de la marca de desgaste en la superficie de incidencia **(fig. 79,1).** Esta marca debe ser de 0,2 mm o a lo más de 0,4 mm.

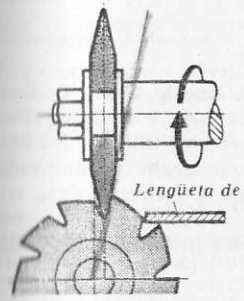


Fig. 79,2 Afilado de una fresa destalonada.

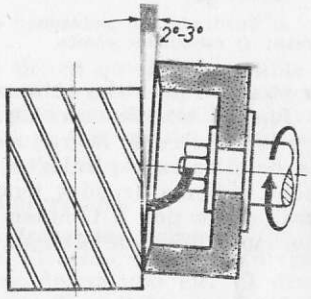


Fig. 79,3 Inclinación del disco de vaso al afilar la fresa en la superficie de incidencia.

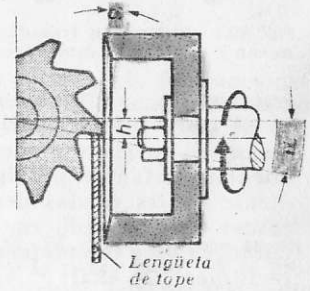


Fig. 79,4 Afilado de una fresa con dientes fresados. La cota h puede tomarse de una tabla.

Reglas para el afilado: El afilado de una fresa exige entrenamiento y experiencia. El trabajo debe por lo tanto ser realizado por buenos operarios afiladores. Unos cuantos de los puntos de vista a tener en cuenta son por ejemplo, los siguientes:

1. La fresa debe «rodar redondo» después del afilado pues de lo contrario los dientes resultarán desigualmente cargados y la herramienta no trabajará reposadamente.
2. Los ángulos de ataque, de incidencia y de inclinación del filo respecto al eje deben permanecer invariables con objeto de que no se alteren en la fresa las condiciones más favorables de corte.
3. Hay que elegir las muelas de afilar correctas. Primeramente se afilan todos los dientes con una muela basta y después se repasan con una más fina.

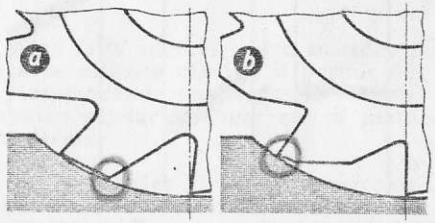


Fig. 79,5 Vaciado hueco de la superficie de incidencia; a) Superficie de incidencia demasiado ancha, la parte trasera oprime; b) Superficie de incidencia libre puesto que la parte posterior ha sido achaflanada por esmerilado.

4. Las fresas de forma se afilan solamente por la superficie de ataque. Para cualquier variación del ángulo de ataque (generalmente de 0°) cambiaría el perfil **(fig. 79,2).**
5. Las fresas de dientes fresados se afilan por la superficie de incidencia a la menor prueba de embotamiento. Cuando el embotamiento es mayor se trabaja primeramente la superficie de ataque, se afila entonces redondeado de modo que se forme un pequeño bisel redondeado y se afila después la superficie de incidencia. La muela debe estar para ello inclinada en unos 2° a 3° **(fig. 79,3).** La magnitud del ángulo de incidencia se obtiene por ejemplo bajando el eje de la muela respecto al de la fresa **(fig. 79,4).** A veces hay que achaflanar el dorso del diente con objeto de que no moleste durante el fresado **(fig. 79,5).**
6. Las cuchillas de los cabezales o platos de cuchillas es preferible no extraerlas para el afilado. Con ello se tiene la garantía de que todos los filos trabajan por igual. Se afila la superficie de incidencia pues afilando la superficie de ataque resultan debilitadas las cuchillas.

Fresado por el procedimiento de división

A veces las piezas deben obtener en un lado frontal un cierto número de superficies o fresaduras dispuestas regularmente como sucede por ejemplo en cuerpos cuadrados o hexagonales, orejas de arrastre, ruedas dentadas, ruedas de cadena, ruedas de trinquete, fresas, escariadores, acoplamientos de garras o mordazas, brocas de espiral, etc. **(fig. 80,1)**.

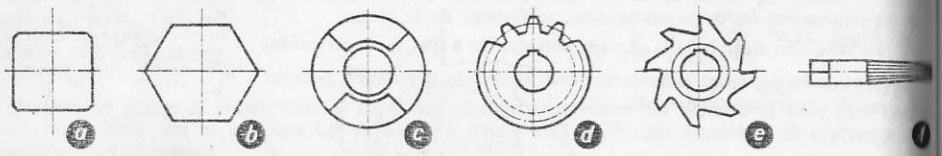


Fig. 80,1 Piezas con fresaduras: a) Cuadrado; b) hexágono; c) garras o mordazas de acoplamiento; d) rueda dentada; e) fresa; f) escariador cónico.

Las fresaduras pueden tener posición paralela, oblicua, inclinada o perpendicular al eje de la pieza **(fig. 80,2)**. Pueden también arrollarse en forma helicoidal alrededor del cuerpo o núcleo de la pieza como las ranuras para virutas de las herramientas cortantes provistas de dientes espirales o los huecos entre diente y diente de las ruedas dentadas oblicuas (ruedas frontales o helicoidales), o las roscas (por ejemplo en tornillos sin fin) o también las ranuras en tambores o cilindros para transformar un movimiento de rotación en un movimiento pendular rectilíneo **(fig. 80,3)**.

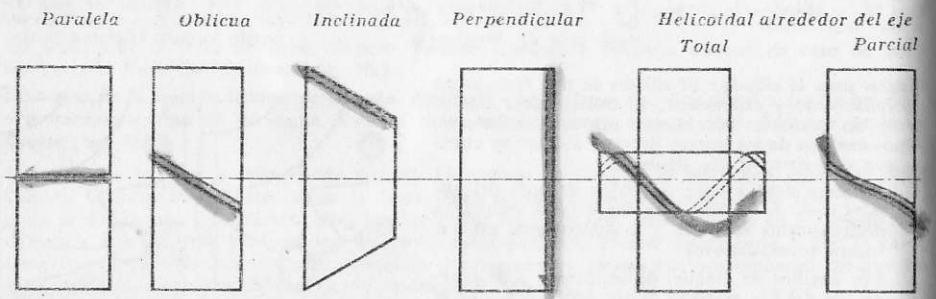


Fig. 80,2 Direcciones de la fresa respecto al eje de la pieza en trabajo con cabezal divisor.

Con objeto de evitar el engorroso y a veces inexacto trabajo y los consiguientes ajustes según trazado previo o también para realmente poder ejecutar esas piezas se vale uno de montajes especiales llamados cabezales o aparatos divisores. A veces estos dispositivos van combinados con otros montajes, por ejemplo con una mesa redonda.

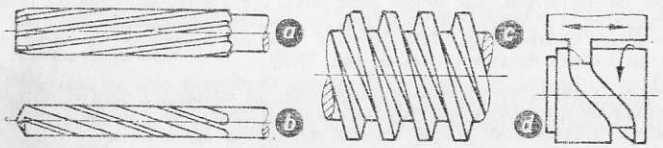


Fig. 80,3 Piezas con ranuras helicoidales; a) escariador con ranura espiral; b) broca espiral; c) tornillo sin fin; d) pieza con ranura espiral.

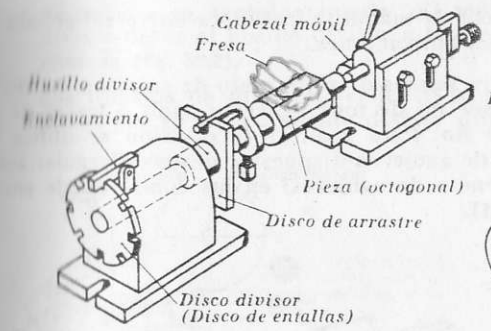


Fig. 81,1 Esquema del aparato divisor sencillo.

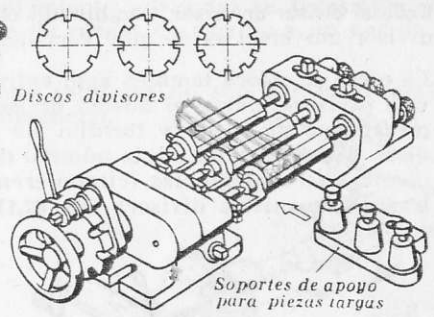


Fig. 81,2 Aparato divisor triple con soportes de apoyo.

Mecanismos divisores

Los mecanismos divisores tienen que hacer posible un giro exacto de fracciones de vuelta en la pieza. Además de esto es muchas veces necesario un ajuste oblicuo o inclinado o también un giro simultáneo de la pieza durante el fresado. Se distinguen los siguientes tipos de mecanismo divisor:

1. Aparatos divisores sencillos.
2. Aparatos o cabezales universales.

Aparatos divisores sencillos (cabezales divisores) (fig. 81,1). El disco divisor se encuentra aquí en el husillo. El disco, el husillo divisor y la pieza giran en el movimiento divisor alrededor del mismo eje. El disco divisor está generalmente constituido a modo de disco de entallas, es decir, que lleva en su periferia fresaduras en las que encaja un trinquete de bloqueo. Habitualmente se prevén 24 entalladuras que hacen posibles las siguientes fracciones de vuelta: 24; 12; 8; 6; 4; 3 y 2. A veces pueden adaptarse al husillo divisor discos de entalladuras con otras divisiones.

Si la pieza ha de ser soportada entre puntas, hará falta además, como sufridera, un cabezal móvil. Para el arrastre de la pieza se utilizan clavijas o pernos de arrastre. Con objeto de que no se curven las piezas cuando son largas se emplea un soporte de apoyo **(fig. 81,2)**. Se puede también sujetar la pieza en un plato de tres mordazas que se atornilla en el husillo divisor.

Además del relativamente pequeño número de divisiones posibles tienen los aparatos divisores de este tipo el inconveniente de que, por lo general, no permiten la ejecución de fresaduras inclinadas o espirales. Pero como por otro lado en los modernos aparatos divisores de precisión el dispositivo de encastre o de retención está ejecutado con mucho cuidado se obtienen con ellos exactitudes muy grandes en la división (hasta unos 0,002 mm).

Para un trabajo realizado verticalmente se utilizan aparatos divisores verticales, los cuales están equipados exclusivamente con platos de sujeción de tres mordazas **(fig. 81,3)**.

Para el trabajo simultáneo de varias piezas existen también aparatos divisores triples **(fig. 81,2)**.

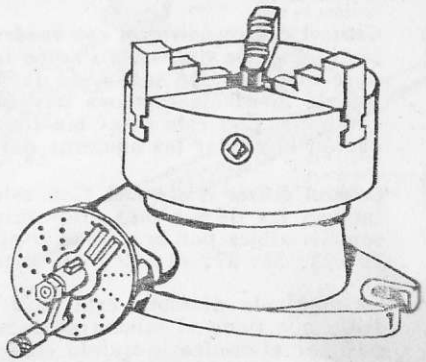
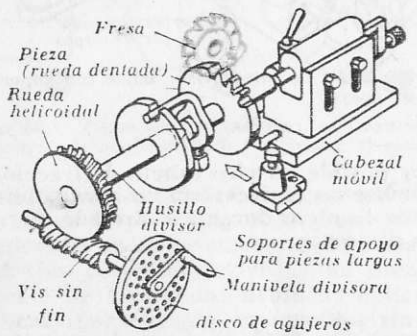


Fig. 81,3 Aparato divisor vertical.

Cabezal divisor universal. Combinado con la máquina fresadora universal el cabe divisor universal es de muy variadas aplicaciones.

La pieza se coloca también aquí entre puntas o en un plato de sujeción. La ma vela divisora mueve el husillo divisor no de modo directo, sino a través de mecanismo de rueda y tornillo sin fin. Para realizar la división se utiliza disco divisor con un cierto número de agujeros dispuestos de modo regular sob diversas circunferencias (circunferencia de agujeros) en las cuales puede en trarse la manivela divisora **(fig. 82,1)**.



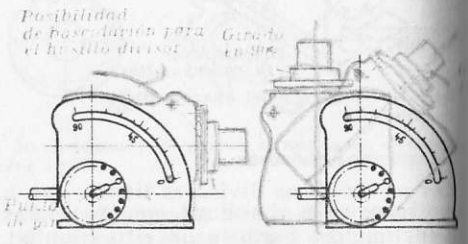


Fig. 82,2 Dispositivo giratorio para el cabezal divisor universal.

Fig. 82,1 (izquierda) Esquema del cabezal devi- sor universal.

En muchos cabezales divisores pueden quedar fuera de engrane el tornillo sin fin y la rueda hacie bascular el tornillo sin fin. El disco de agujeros se sujeta en este caso en el husillo divisor. El ca zal divisir universal podrá así ser utilizado como un aparato divisor sencillo.

Disposición para fresaduras inclinadas. Si el cabezal divisor está dispuesto de mo giratorio podrán ejecutarse también trabajos de división inclinados. Si la pie ha de ser sujetada para ello entre puntos el cabezal móvil habrá de poder regulado en altura **(fig. 82,2)**.

Girando el husillo divisor en 90° se hará posible realizar con el cabezal divi también trabajos verticales.

Precisión. Especialmente en virtud de la intercalación de elementos de transmisión entre el di divisor y el husillo divisor trabajan los cabezales divisores universales generalmente con me precisión que los aparatos sencillos cuando éstos son buenos. La máxima precisión posible en división puede considerarse que es de un minuto.

Cabezal divisor universal con ruedas de cambio. En este cabezal divisor se han di puesto ruedas de cambio entre la manivela divisora y el tornillo sin fin, teni dose que calcular según sea la división de la pieza. Aquí falta el disco divis Con la manivela divisora hay que describir para cada división una revoluci completa. Con esto se evitan los errores que pueden provocarse por una equi cación al contar los agujeros del disco divisor **(fig. 83,1)**.

Cabezal divisor diferencial. Con este cabezal pueden realizarse todas las division incluso las de los más altos números primos (es decir aquellos que solamen son divisibles por la unidad o por sí mismos, por ejemplo, 3; 5; 7; 11; 13; 1 19; 23; 31; 37; 41; 43 y así sucesivamente).

La manivela divisora está directamente dispuesta en el husillo helicoidal, decir que tiene el mismo número de revoluciones que éste. El disco divisor está por el contrario quieto como en la división indirecta, sino que puede ten un movimiento adicional de rotación y esto en el mismo sentido que la maniv

divisora o en sentido opuesto. El movimiento adicional se transmite al disco divisor desde el husillo divisor a través de ruedas de cambio y un par de ruedas cónicas **(fig. 83,2)**.

Los trabajos de división verticales y los espirales no son por lo general realizables por el procedimiento divisor diferencial.

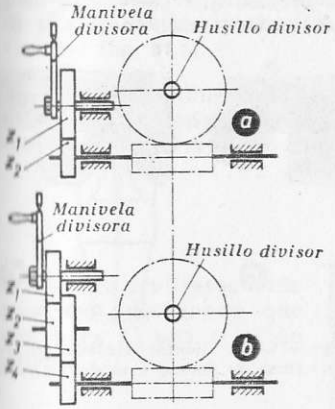


Fig. 83,1 Cabezal divisor con rue- das de cambio.
a) transmisión sencilla
b) transmisión doble.

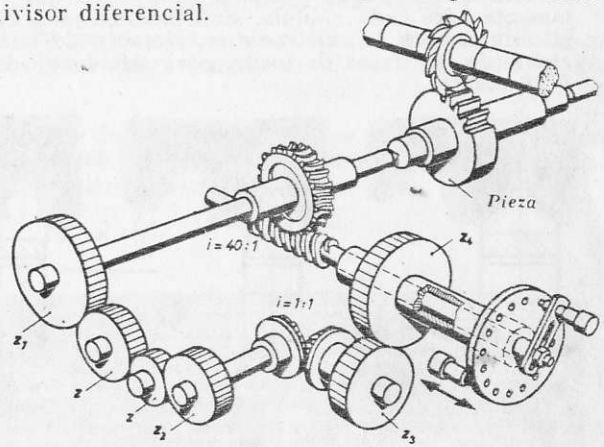


Fig. 83,2 Cabezal diferencial (esquema). $z_1 \dots z_4$: ruedas de cambio; z: ruedas intermedias.

Dispositivos para el fresado de ranuras en espiral. Al fresar este tipo de ranuras se da el necesario movimiento de rotación al husillo divisor con la pieza desde el husillo de la mesa y a través de ruedas de cambio. La mesa de fresar habrá de ser girada de acuerdo con el paso de la espiral **(figura 83,3)**.

Fresado de rodadura con cabezal divisor. Con cabezales de esta clase puede trabajarse no solamente por el procedimiento de división, sino que puede realizarse también fresado de rodadura.

Fresa para tallar perfiles de engranajes

Para la obtención de ruedas dentadas mediante fresado por el sistema de división se utilizan ya sea fresas en forma de disco ya sea fresas con espiga o en punta.

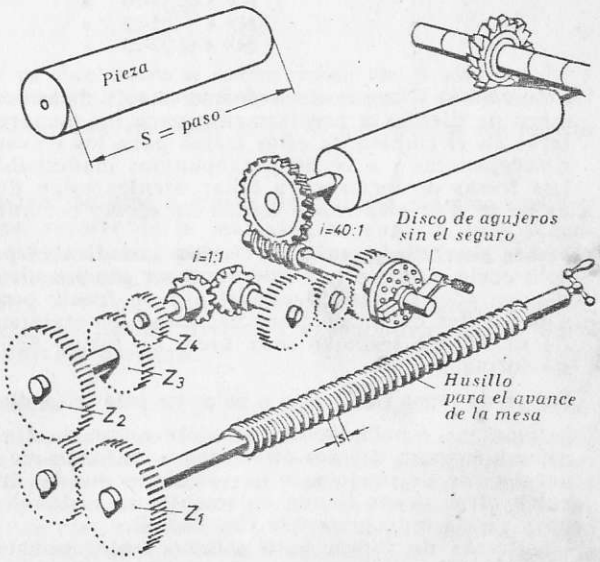


Fig. 83,3 Dispositivo para el fresado espiral.

Fresas para tallado en engranajes (fig. 84,1)

Fresa en forma de disco para el fresado de dientes de engranajes. Con esta fresa se obtiene el hueco entre diente y diente generalmente en un corte.
Como la forma de diente de un módulo tiene también relación con el número de dientes de una rueda dentada, tendríamos que tener una fresa de forma no solamente para cada módulo, sino también para cada número de dientes. Con objeto de reducir la existencia en almacén de estas piezas, que son caras, se han resumido las fresas de forma para tallado de dientes formando juegos de 8, 15 ó 26 piezas.

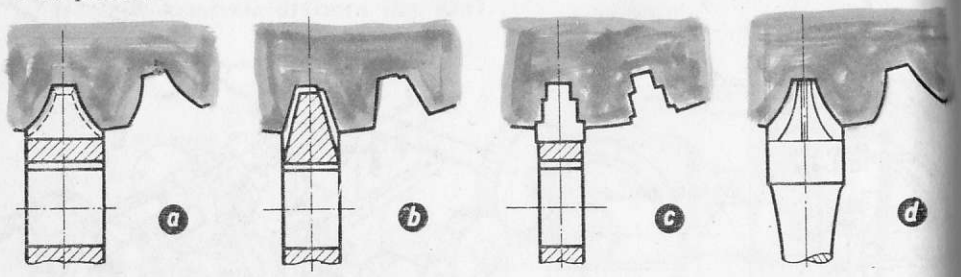


Fig. 84,1 a) Fresa de forma para dientes; b) fresa previa para tallar dientes dentada en cruz; c) fresa previa escalonada para tallar dientes, destalonada; d) fresa de forma a modo de vástago para tallado de dientes (fresa con espiga o fresa en punta).

Juego de 8 piezas (hasta $m = 9$):	N.º 1	12-13 dientes	N.º 5	26- 34 dientes
	N.º 2	14-16 »	N.º 6	35- 54 »
	N.º 3	17-20 »	N.º 7	55-134
	N.º 4	21-25 »	N.º 8	más de 135 y cremalleras
Juego de 15 piezas (más de $m = 9$):	N.º 1	12 dientes	N.º 5	26- 29 dientes
	N.º 1 ½	13 »	N.º 5 ½	30- 34 »
	N.º 2	14 »	N.º 6	35- 41 »
	N.º 2 ½	15-16 »	N.º 6 ½	42- 54 »
	N.º 3	17-18 »	N.º 7	55- 79 »
	N.º 3 ½	19-20 »	N.º 7 ½	80-134 »
	N.º 4	21-22 »	N.º 8	más de 135 y cremalleras
	N.º 4 ½	23-25 »		

Como no se dispone de la forma exacta nada más que para un determinado número de dientes y precisamente para los menores de cada zona, pueden presentarse en el empleo de estas fresas para los elevados números de dientes notables discrepancias y a veces discrepancias inadmisibles.
Las fresas de forma para tallar dientes están destalonadas, el ángulo de ataque es de 0°. Por esta razón tienen un efecto cortante poco ventajoso.

Fresas para tallado previo de dientes. Los dientes pequeños se fresan a veces de un solo corte. Cuando hay que arrancar mucha viruta (en el caso de grandes pasos de dentado) se recomienda el uso de fresas para tallado previo de los dientes. Los dientes de forma trapecial están generalmente dentados y fresados en cruz, de modo que trabajan muy bien. La forma definitiva se obtiene con una fresa de forma.

Fresas de forma con espiga o en punta para tallar dientes

Se emplean especialmente para obtención de dientes oblicuos, dientes en espiral o también para dientes angulares o en forma de flecha; estas fresas trabajan generalmente de modo más desventajoso que las fresas en forma de disco, porque entre otras cosas tienen solamente un reducido número de dientes y ranuras para viruta muy pequeñas (fig. 84,1 d).
Las fresas de forma para tallar dientes por el sistema de división no están normalizadas.

Cálculo del giro fraccionario en el cabezal divisor

Se distinguen los siguientes casos:

1. La división directa.
2. La división indirecta.
3. La división con ruedas de cambio.
4. La división diferencial.

División directa. Se emplea este sistema cuando entre el husillo divisor y el disco divisor no existe transmisión alguna (por ejemplo en el caso de aparatos divisores) (fig. 81,1).

Se obtiene el número de muescas o de agujeros L_z en que tiene que ser girado el disco por cada división dividiendo el número de muescas o agujeros existentes L_k por el número de las divisiones deseadas T.

$$L_z = \frac{L_k}{T}$$

No pueden realizarse nada más que divisiones que den para L_z una relación entera.

Ejemplo (fig. 85,1):
Si el disco de muescas del aparato divisor tiene por ejemplo las habituales, 24 muescas, se obtendrá el número de muescas para cada giro fraccionario empleando la ecuación anteriormente citada:

$$L_z = \frac{L_k}{T} = \frac{24}{4} = 6$$

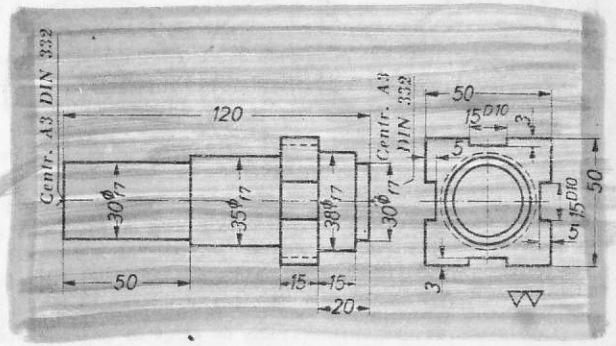


Fig. 85,1 Cabezal de acoplamiento.

Ejercicios:

1. ¿Cuántas muescas tiene que tener un disco cuando se quieren realizar con él una veces dos y otras veces tres y hasta cinco divisiones? ¿Qué otras divisiones será posible realizar con él?
2. ¿Qué divisiones adicionales pueden realizarse con discos de 36, 42 y 60 muescas con respecto a uno de 24 muescas?

División indirecta. El husillo divisor se gira a través de tornillo sin fin, rueda y husillo helicoidal. El pitón con resorte de la manivela se engasta en los agujeros. El disco divisor va provisto de varias circunferencias de agujeros. Además se dispone de varios discos divisores (fig. 82,1).
La relación de transmisión entre el tornillo sin fin y su rueda es generalmente: $i = 40:1$. A una vuelta completa del husillo divisor corresponden por lo tanto 40 vueltas completas de la manivela divisora.

El paso viene dado a modo de dividendo

Si por ejemplo se quiere fresar una rueda dentada de 15 dientes (división $T = 15$) el husillo divisor tendrá que hacer 15 giros parciales o fraccionarios, es decir, que tendrá que girar por cada diente en $^1/_{15}$. El número de vueltas de la manivela es 40 veces mayor y será por lo tanto en este caso $n_k = 40 \cdot {}^1/_{15} = {}^{40}/_{15}$, o sea que la manivela tendrá que hacer por cada giro parcial 2 vueltas completas y $^{10}/_{15}$ de vuelta. Si se dispone de una circunferencia de agujeros con 15 agujeros, se hará girar la manivela 2 vueltas y además 10 agujeros de disco de 15 agujeros.
$^{10}/_{15}$ son $^2/_3$. Podríamos también en vez de contar 10 agujeros en la circunferencia de 15, contar 12 en la de 18 ó también 14 en la de 21; ó 18 en la de 27 agujeros, y así sucesivamente.

Para la división indirecta se calcula el número de revoluciones de la manivela mediante la siguiente igualdad:

$$n_k = \frac{i}{T} \text{ generalmente } n_k = \frac{40}{T}$$

n_k = número de vueltas de la manivela,
i = relación de transmisión en el cabezal divisor,
T = número de divisiones.

Con objeto de evitar el engorro de contar y las posibles equivocaciones al confundir el agujero de partida, se utilizan un par de índices desplazables, que abarcan el número de agujeros precisos y que se giran hasta hacer tope en el pitón con resorte a cada giro parcial. El agujero cerrado con el pitón no debe ser contado **(fig. 86,1)**.

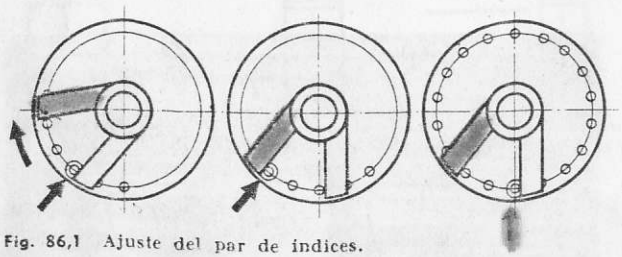


Fig. 86,1 Ajuste del par de índices.

Ejercicios

1. Determinar n_k para las siguientes divisiones: 16, 20, 31, 45, 47, 80, 72, 135. Relaciones del cabezal divisor: a) $i = 40:1$; b) $i = 20:1$.

   Circunferencias de agujeros disponibles:

   Disco I
   15, 16, 17, 18, 19, 20.
   Disco II
   21, 23, 27, 29, 31, 33,
   Disco III
   37, 39, 41, 43, 47, 49.

2. ¿Para qué divisiones (para $i = 40:1$) son necesarias únicamente vueltas completas de la manivela divisora?
3. ¿Con ayuda de qué circunferencia de agujeros se puede fresar una pieza hexagonal ($i = 40:1$)?

El paso vine dado por una medida angular

Como la vuelta completa del husillo divisor corresponde a 360° tendremos que para 1° correspondería $^1/_{360}$ y para α°, $\alpha/360$ revoluciones. El número de revoluciones de la manivela que es i veces mayor valdrá por lo tanto:

$$n_k = \frac{\alpha \cdot i}{360} \text{ para } i = 40:1, \text{ por lo tanto: } n_k = \frac{40 \cdot \alpha}{360} = \frac{\alpha}{9}$$

Ejemplos:

1. Paso pedido $\alpha = 30°$ ($i = 40:1$).

   Solución: $n_k = \frac{\alpha}{9} = \frac{30}{9} = 3\,\frac{1}{3}$

2. Paso pedido $\alpha = 28° 20'$ ($i = 40:1$).

   Solución: $n_k = \frac{\alpha}{9} = \frac{28° 20'}{9} = \frac{28\,\frac{1}{3}°}{9} = \frac{85}{3 \cdot 9} = 3\,^4/_{27}$

3. Paso pedido $\alpha = 43° 50'$ ($i = 40:1$).

   Solución: $n_k = \frac{\alpha}{9} = \frac{43° 50'}{9} = \frac{43\,^5/_6°}{9} = \frac{263}{54} = 4\,^{47}/_{54}$

Mientras que para pasos con 20', 30' y 40' siempre se sale del paso valiéndose de circunferencias de agujeros de 18 y 27, se necesitan para pasos con 10' y 50' frecuentemente una circunferencia especial con 54 agujeros (véase en pág. 87 división compuesta).

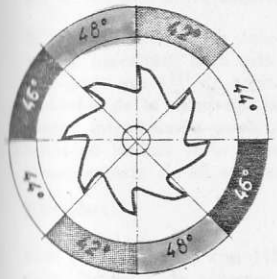


Fig. 87,1 División de un escariador.

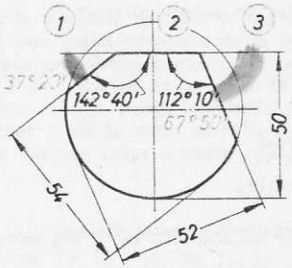


Fig. 87,2 División angular desigual.

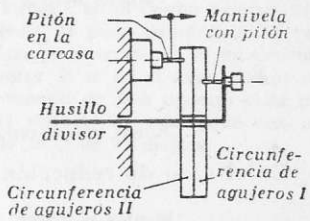


Fig. 87,3 División compuesta.

Ejercicios:

1. Determinar las revoluciones de la manivela o manubrio para los siguientes pasos angulares: 40°; 120°; 22,5°; 19° 40'; 42° 50'; 31° 10' ($i = 40:1$).
2. Se trata de fresar un escariador con los siguientes pasos de dientes **(fig. 87,1)**: 42°, 44°, 46°, 48°. Determinar las revoluciones del husillo divisor.
3. Calcular los movimientos parciales o fraccionarios para el fresado con cabezal divisor de la pieza de **fig. 87,2.** ($i = 40:1$).
4. Las discrepancias del valor nominal para la división por medio del disco de agujeros de un cabezal divisor universal es de 1,5 minutos.
   ¿Qué magnitud tienen la diferencia de cotas en mm de la periferia de una pieza de 180 mm ∅?

División compuesta. Fuera de las piezas que exigen una posición inclinada del husillo divisor, apenas si se emplea este procedimiento. Se necesitan para él dos circunferencias de agujeros y dos pitones divisores **(fig. 87,3)**. Si se dispone de un disco con 54 agujeros como en el ejemplo 3 (pág. 86), se podrá descomponer la fracción $^{263}/_{54}$ en una suma o una diferencia de dos fracciones, por ejemplo:

$$n_k = \frac{263}{54} = \frac{218}{54} + \frac{45}{54} = \frac{109}{27} + \frac{5}{6} = \frac{109}{27} + \frac{15}{18}$$

y el husillo divisor dará de acuerdo con esto dos giros parciales: 1. Con la manivela divisora y el pitón de la carcasa engastado, es decir, con el disco divisor en reposo, $^{109}/_{27} = 4\,^1/_{27}$ revoluciones, (circunferencia de agujeros I) y después 2. Con el pitón de la manivela engastado pero estando sacado el de la carcasa se da otro giro parcial de 15 agujeros (circunferencia de agujeros II). Se tiene por lo tanto:

$$n_k = n_{k_1} + n_{k_2}$$

n_{k_1} = giro parcial 1
n_{k_2} = giro parcial 2

División con ruedas de cambio (fig. 83,1)

Si las ruedas de cambio tienen una transmisión 1:1 el tornillo sin fin dará a cada vuelta de la manivela también una vuelta.
Si la transmisión o reducción entre tornillo sin fin y rueda es $i = 40:1$ para cada vuelta de la manivela girará la pieza 1/40.
En 40 de estos giros parciales da la pieza una vuelta entera es decir que podrían por ejemplo, tallarse en su periferia 40 dientes. Si la pieza no debe tener nada más que 20 dientes, el tornillo sin fin deberá girar el doble para cada giro de la manivela y la relación de las ruedas de cambio debería ser 2:1; para 10 dientes la relación de esas ruedas sería 4:1 y así sucesivamente.

$$\text{Relación de ruedas de cambio} = \frac{1}{1} = \frac{40}{40} = \frac{\text{Reducción cabezal divisor } (i)}{\text{Paso } (T)}$$

$$\text{Relación de ruedas de cambio} = \frac{2}{1} = \frac{40}{20} = \frac{\text{Reducción cabezal divisor } (i)}{\text{Paso } (T)}$$

$$\text{Relación de ruedas de cambio} = \frac{4}{1} = \frac{40}{10} = \frac{\text{Reducción cabezal divisor } (i)}{\text{Paso } (T)}$$

De este modo obtenemos la ecuación general para la división con ruedas de cambio:

Rueda motriz Reducción cabezal divisor

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{i}{T} \qquad \text{para } i = 40:1 \qquad \frac{z_1}{z_2} = \frac{40}{T}$$

Rueda arrastrada Paso

En el caso de reducción doble:

Ruedas motrices Reducción cabezal divisor

$$\frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{i}{T} \qquad \text{o bien } \frac{RM}{RA} = \frac{i}{T}$$

Ruedas arrastradas Paso

Ejemplos [1])

1. Hay que tallar una rueda dentada con 52 dientes. Calcúlense las ruedas de cambio ($i = 40:1$)
   Solución:
   $$\frac{RM}{RA} = \frac{i}{T} = \frac{40}{52} = \frac{10}{13} = \frac{10 \cdot 6}{13 \cdot 6} = \frac{60}{78}$$
   $z_1 = 60$ dientes
   $z_2 = 78$ dientes
2. Paso $T = 63$, $i = 20:1$ (engranaje diferencial).
   Solución:
   $$\frac{RM}{RA} = \frac{i}{T} = \frac{20}{63} = \frac{10 \cdot 2}{7 \cdot 9} = \frac{40 \cdot 24}{36 \cdot 84}$$
   $z_1 = 40$ dientes
   $z_2 = 36$ dientes
   $z_3 = 24$ dientes
   $z_4 = 84$ dientes
3. Angulo de paso $= 28{,}8^\circ$; $i = 40:1$.
   Solución:
   $$\frac{RM}{RA} = \frac{i}{T} = \frac{i \cdot \alpha}{360} = \frac{40 \cdot 28{,}8}{360} = \frac{28{,}8}{9} = \frac{288}{90} = \frac{96}{30}$$
   $z_1 = 96$ dientes
   $z_2 = 30$ dientes

Ejercicios [1])

1. Hay que tallar una rueda dentada con 30 dientes. Calcular las ruedas de cambio ($i = 60:1$).
2. Paso $T = 5$, $i = 30:1$.
3. Hay que fresar una rueda dentada con 84 dientes. Calcular las ruedas de cambio; $i = 40:1$.
4. Paso $T = 240$; $i = 40:1$.
5. Paso $T = 250$; $i = 20:1$.
6. Angulo de paso $\alpha = 3^\circ 45'$; $i = 40:1$.

División diferencial (fig. 83,2). Si se quiere fresar, por ejemplo, una rueda dentada con 118 dientes ($T = 118$), se necesita en el caso de la división indirecta una circunferencia de agujeros con 59 agujeros; en la división por medio de ruedas de cambio se necesita una rueda de cambio con 59 dientes. Pero es corriente que no se disponga de una circunferencia semejante o de esa rueda de 59 dientes. Esta clase de inconvenientes se soslayan con el cabezal divisor diferencial.

Si la manivela divisora da una vuelta completa el husillo divisor en una transmisión de tornillo sin fin de $i = 40:1$, girará en $^1/_{40}$. Este movimiento se transmite al disco divisor. En una transmisión de rueda de cambio de 1:1 el disco divisor realizará un giro de $^1/_{40}$ mientras la manivela daría una vuelta. Si una circunferencia de agujeros tuviera 40 agujeros y el disco y la manivela divisores el mismo sentido de giro, la manivela tendría que engastarse un agujero antes.

[1]) Ruedas de cambio disponibles: 24, 28, 30, 32, 36, 37, 40, 48, 48, 49, 56, 60, 64, 66, 68, 72, 76, 78, 80, 84, 86, 90, 96, 100.

En 40 vueltas de la manivela, la pieza habría dado una vuelta; podrían tallarse 40 dientes.

Si por el contrario se deja que la manivela divisora se engaste siempre en el mismo agujero, cada vez se necesitará algo más que una vuelta completa de la manivela, la pieza girará para un paso algo más que $^1/_{40}$ de vuelta. Para una vuelta completa de la pieza se necesitarían 39 movimientos parciales de la manivela es decir se fresarían en la pieza 39 dientes. Si se da al disco divisor mediante introducción o eliminación de una rueda intermedia un sentido de giro opuesto cada movimiento parcial sería algo menor y en la pieza se tallarían 41 dientes. De este modo con una circunferencia de 40 agujeros se podrían tallar también ruedas de 39 ó de 41 dientes.

Ejemplo:

Una rueda dentada con 118 dientes puede ser obtenida del siguiente modo ($i = 40:1$; existencia de circunferencias de agujeros: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 29, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49; ruedas de cambio disponibles: 24, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 56, 64, 72, 86, 100).
Escogeremos primeramente un paso próximo al paso que se pide ($T = 118$): que llamaremos paso substitutivo T' [1]) y que puede obtenerse mediante división indirecta con un disco de agujeros disponible, por ejemplo $T' = 120$. Se tiene:

$$n_k = \frac{i}{T'} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3} = \frac{9}{27}.$$

Para cada proceso de división la manivela divisora tendría que ser girada 9 agujeros en la circunferencia de 27 agujeros.
Para disco de agujeros en reposo habría que girar 120 veces la división parcial de $^9/_{27}$ para la ejecución de 120 dientes. Pero la pieza no debe tener nada más que 118 dientes. Existe aquí una diferencia de dos divisiones cada una con $^9/_{27}$ de giro de la manivela divisora. Con 118 movimientos parciales obtendríamos $118 \cdot {}^9/_{27}$ movimientos de la manivela. Cada uno de los 118 movimientos parciales tiene por lo tanto que ser algo mayor que $^9/_{27}$. Esta diferencia de

$$\frac{9}{27} \cdot 120 - \frac{9}{27} \cdot 118 = \frac{9}{27}(120 - 118) = \frac{40}{120}(120 - 118) = \frac{i}{T'}(T' - T) = \frac{40 \cdot 2}{120} = \frac{2}{3}$$

tiene que ser compensada mediante un movimiento adicional del disco divisor.
Para una revolución completa del husillo divisor el disco divisor tendrá que moverse en $^2/_3$ de vuelta, es decir que los números de revoluciones del husillo divisor y del disco divisor tendrían que guardar entre sí la relación 3:2 y los números de dientes de las ruedas de cambio al revés es decir la relación 2:3.

Segun esto se tendrán las ruedas de cambio necesarias con la fórmula siguiente:

$$\frac{RM}{RA} = \frac{i}{T'}(T' - T)$$

en el caso anterior:

$$\frac{RM}{RA} = \frac{40}{120}(120 - 118) = \frac{40 \cdot 2}{120} = \frac{2}{3} = \frac{48 \cdot 24}{24 \cdot 72}$$

De las ruedas de cambio dadas se eligen para $z_1 = 48$, para $z_2 = 24$, para $z_3 = 24$, para $z_4 = 72$ dientes.
El movimiento de la manivela divisora por cada paso o división es, como se calculó al principio,

$$n_k = \frac{9}{27}$$

Como número sustitutivo (T') puede elegirse también un número que sea menor que el paso pedido. En el caso anterior, por ejemplo, $T' = 110$. El movimiento de la manivela y la circunferencia de agujeros se obtienen nuevamente de

$$n_k = \frac{i}{T'} = \frac{40}{110} = \frac{4}{11} = \frac{12}{33}$$

Por cada movimiento parcial la manivela divisora habrá de moverse en 12 agujeros sobre la circunferencia de 33. Para disco divisor parado daría el husillo divisor una vuelta completa y la pieza obtendría 110 dientes por lo tanto. Pero como lo que se pide son 118 divisiones cada movimiento parcial habrá de ser proporcionalmente un poco menor. Se obtiene esto nuevamente mediante un movimiento adicional del disco divisor, pero no, como en el caso anterior, en el mismo sentido, sino en sentido contrario al movimiento de la manivela divisora.

[1]) Algunos autores llaman a este paso *división o paso fundamental*. Nos parece más apropiado, traduciendo más literalmente del alemán (Ersatzteilung) *paso substitutivo o división substitutiva*. — *Nota del Traductor.*

De la igualdad para el cálculo de las ruedas de cambio por el procedimiento diferencial obtenemos en el caso de giro opuesto del disco divisor, un signo negativo:

$$\frac{RM}{RA} = \frac{i}{T'}(T' - T) = \frac{40}{110}(110 - 118) = \frac{40 \cdot 8}{110} = -\frac{4 \cdot 8}{11} = \frac{32 \cdot 4}{44 \cdot 1} = -\frac{64 \cdot 2}{44 \cdot 1} = -\frac{64 \cdot 48}{44 \cdot 24}$$

$z_1 = 64$ dientes $\quad z_3 = 48$ dientes

$z_2 = 44$ dientes $\quad z_4 = 24$ dientes

El sentido de giro del disco divisor se regula cuando es necesario mediante una rueda intermedia.

Ejercicios: Calcular las ruedas de cambio y n_k para el cabezal divisor cuando se quieren obtener los siguientes pasos ($i = 40:1$, circunferencias de agujeros y ruedas de cambio como en el ejemplo de la pág. 89):

a) $T = 73$; b) $T = 53$; c) $T = 117$; d) $T = 127$;
e) $T = 97$; f) $T = 173$; g) $T = 201$; h) $T = 281$;
i) $T = 361$; j) $T = 397$;

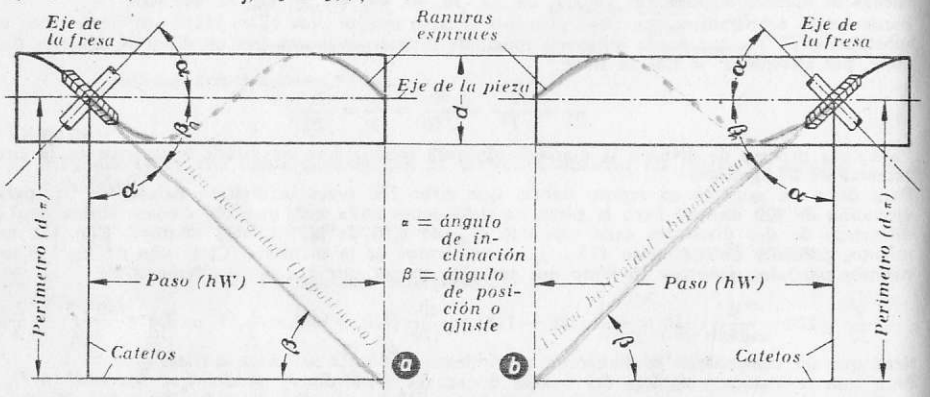


Fig. 90,1 Las ranuras espirales van a lo largo de una línea helicoidal (hélice); a) ranura espiral a la derecha; b) ranura espiral a la izquierda.

Fresas espirales o helicoidales

Las ranuras espirales siguen el trazado de una línea helicoidal, o hélice. Una línea helicoidal, o hélice, está constituida por la hipotenusa de un triángulo rectángulo cuando se enrolla éste alrededor de un cilindro. La longitud de uno de los catetos corresponde al perímetro del cilindro y la del otro al paso de la hélice **(fig. 90,1)**.

El eje de la pieza y la hipotenusa forman el ángulo de posición o de ajuste β. La hipotenusa y la perpendicular al eje de la pieza forman el ángulo α de inclinación (de elevación o de torsión). Durante el proceso de fresado hay que dar a la pieza además del movimiento longitudinal un movimiento de rotación con objeto de que la herramienta pueda ir trabajando a lo largo de la hélice. Si la herramienta es una fresa en forma de disco habrá además que girar la mesa en el valor de ángulo β que hemos llamado de posición o de ajuste. El eje de la fresa tendrá que ir, pues, en este caso perpendicular a la línea helicoidal **(figuras 90,1 y 91,1)**.

Cálculo de las ruedas de cambio

El movimiento de giro es transmitido a la pieza por el husillo de la mesa a través de ruedas de cambio, ruedas cónicas, tornillo sin fin y rueda helicoidal. Para un paso del husillo de la mesa de 6 mm y una relación de ruedas de cambio 1:1, suponiendo que faltara la transmisión de tornillo sin fin el paso de la ranura en la pieza sería igual al del husillo de la mesa o sea 6 mm. En caso de una relación de ruedas de cambio 2:1 giraría la pieza a doble velocidad que el husillo de la mesa pero tendría un paso mitad, y así sucesivamente o sea que la relación de las ruedas de cambio entre husillo de mesa y husillo divisor sería igual a la relación entre paso del husillo de mesa y paso de la ranura.

Pero como está intercalado el mecanismo de tornillo sin fin y rueda helicoidal, el husillo de mesa tendrá, por ejemplo, que girar $i = 40$ veces más aprisa para dar lugar al mismo paso de ranura en la pieza.

Resulta así la siguiente ecuación para el cálculo de las ruedas de cambio para fresado de ranuras helicoidales:

Ruedas motrices — Paso husillo mesa, Relación cabezal divisor

$$\frac{RM}{RA} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{h_T \cdot i}{h_W}$$

Ruedas arrastradas — Paso ranura hélice

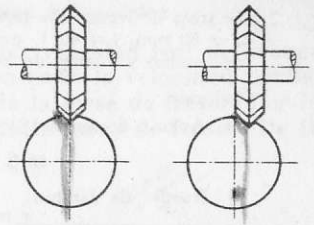


Fig. 91,1 Relación de dependencia entre forma de la ranura y ajuste de la herramienta respecto a la pieza (véase pág. 60).

Si además las ruedas cónicas tienen una relación de transmisión i_k no igual a 1:1 habrá que tener esto en cuenta en la ecuación:

$$\frac{RM}{RA} = \frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} = \frac{h_T \cdot i \cdot i_k}{h_W}$$

Cálculo del ángulo de inclinación (o de elevación o de torsión), del ángulo de posición (o de ajuste) y del paso

Si en el dibujo no se indican el ángulo de inclinación o el ángulo de ajuste, habrá que calcularlos:

Para el ángulo de inclinación α pondremos:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_W}{d \cdot \pi}; \quad \text{para el ángulo de ajuste } \beta \text{ de la mesa} \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{d \cdot \pi}{h_W}$$

El ángulo de ajuste β de la mesa de fresar puede deducirse también de

$$\beta = 90° - \alpha$$

Si se nos dan el ángulo de inclinación o el de ajuste podrá hallarse el paso de las ranuras de la pieza mediante inversión de las expresiones antes citadas:

$$h_W = d \cdot \pi \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad \text{o bien} \quad h_W = \frac{d \cdot \pi}{\operatorname{tg} \beta}$$

Ejemplos:

1. En una pieza cilíndrica con 75 mm ∅ hay que fresar una ranura helicoidal con paso $h_W = 1200$ milímetros. El paso del husillo de la mesa es $h_T = 6$ mm, la relación del cabezal divisor $i = 40:1$; se tratan de calcular el ángulo de ajuste y las ruedas de cambio.

Solución:

a) Angulo de ajuste:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d \cdot \pi}{h_W} = \frac{75 \text{ mm} \cdot 3{,}14}{1200 \text{ mm}} = 0{,}1962, \quad \beta = 11° 6'$$

(tg β para 11° es según tablas = 0,1944, tg β para 11°10′ es 0,1974. Para tg β = 0,1962 tiene que estar por lo tanto el ángulo comprendido entre 11° y 11° 10′. La diferencia de 10′ entre estos dos ángulos corresponde a una diferencia de las tangentes de 0,1974-0,1944 = 0,0030 y para 1′ por lo tanto 0,0003. La diferencia entre la tangente arriba calculada y tg β = 11° es de 0,1962-0,1944 = 0,0018. Puesto que 0,0003 corresponde a una diferencia de ángulos de 1′ a 0,0018 le correspondería una diferencia de ángulos de 0,0018:0,003 = 6′).

b) Ruedas de cambio: $\frac{RM}{RA} = \frac{h_T \cdot i}{h_W} = \frac{6 \cdot 40}{1200} = \frac{1}{5} = \frac{20}{100}$ $\quad z_1 = 20$ dientes, $z_2 = 100$ dientes

2. Se trata de fresar una ranura espiral izquierda de seis filetes con paso $h_W = 15''$. Diámetro pieza $d = 80$ mm, $i = 40:1$, paso del husillo de mesa $h_T = {}^1/_4''$ Calcular el ángulo de ajuste, ruedas de cambio y vueltas de la manivela divisora.

Solución

a) Angulo de ajuste (β):

$$\text{tg}\ \beta = \frac{d \cdot \pi}{h_W} = \frac{80\ \text{mm} \cdot 3{,}14}{15''} = \frac{80\ \text{mm} \cdot 3{,}14}{15 \cdot 25{,}4\ \text{mm}} = 0{,}6593, \quad \beta = 33^\circ\ 24'$$

b) Ruedas de cambio:

$$\frac{r\ m}{r\ a} = \frac{h_T \cdot i}{h_W} = \frac{{}^1/_4'' \cdot 40}{15''} = \frac{10}{15} = \frac{50}{75} \qquad z_1 = 50 \text{ dientes} \quad z_2 = 75 \text{ dientes}$$

Mediante la adecuada intercalación de una rueda intermedia se obtiene la inclinación a la izquierda.

c) Vueltas de la manivela divisora:
El giro divisor se obtiene mediante división indirecta en la forma anteriormente descrita

$$n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{6\emptyset} = 6\ {}^2/_3 = 6\ {}^{12}/_{18}, \text{ etc., etc.}$$

3. Para el fresado de una ranura helicoidal de varios hilos o pasos se dan las siguientes magnitudes:
Paso de la ranura $h_W = 75$ mm.
Paso del husillo de mesa $h_T = {}^1/_4''$.
$T = 8$.
$i = 40:1$.
Diámetro de la pieza $d = 90$ mm.
Calcular: Angulo de ajuste, ruedas de cambio, vueltas de la manivela divisora.

Solución:

a) Angulo de ajuste β:

$$\text{tg}\ \beta = \frac{d \cdot \pi}{h_W} = \frac{90\ \text{mm} \cdot 3{,}14}{75\ \text{mm}} = 3{,}7680, \quad \beta = 75^\circ\ 8'$$

b) Ruedas de recambio:

$$\frac{RM}{RA} = \frac{h_T \cdot i}{h_W} = \frac{{}^1/_4'' \cdot 40}{75\ \text{mm}} = \frac{10''}{75\ \text{mm}} = \frac{10 \cdot 25{,}4\ \text{mm}}{75\ \text{mm}} = \frac{254}{75} = \frac{127 \cdot 2}{75 \cdot 1} = \frac{127 \cdot 80}{75 \cdot 40}$$

$z_1 = 127$ dientes, $z_2 = 75$ dientes, $z_3 = 80$ dientes, $z_4 = 40$ dientes.

Si no se dispone de ninguna rueda de 127 dientes se puede poner para 1'' el valor aproximado 330/13 ó también 1600/63:

$$\frac{RM}{RA} = \frac{h_T \cdot i}{h_W} = \frac{10''}{75\ \text{mm}} = \frac{10 \cdot 330}{13 \cdot 75} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 11}{13 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 3} = \frac{55 \cdot 4}{65 \cdot 1} = \frac{55 \cdot 80}{65 \cdot 20}$$

$z_1 = 55$ dientes, $z_2 = 65$ dientes, $z_3 = 80$ dientes, $z_4 = 20$ dientes.

c) Vueltas de la manivela divisora: $n_k = \frac{i}{T} = \frac{40}{8} = 5$.

Ejercicios

1. Datos:
Paso de la hélice $h_W = 12''$
Paso del husillo de la mesa $h_T = 8$ mm
Diámetro pieza $d = 120$ mm
Reducción tornillo sin fin $i = 40:1$
División $T = 12$
Transmisión rueda cónica $i_k = 1:2$
Realícense los cálculos necesarios para el fresado de la ranura helicoidal.

2. Se trata de fresar una fresa de rodadura provista de ranura espiral y de 130 mm Ø. El ángulo (véase pág. 33) es $\varepsilon = 25^\circ$, el número de dientes $z = 10$, el paso del husillo de la mesa $h_T = 6$ mm, la transmisión cónica $i_k = 1:1$ y la del tornillo sin fin $i = 40:1$. Determinar el ángulo de ajuste, ruedas de cambio y vueltas de la manivela divisora.

Velocidad de avance y tiempo principal en fresado de ranuras helicoidales

Velocidad de avance. En el fresado helicoidal se halla la velocidad real de avance en la dirección de las ranuras helicoidales s'_w componiendo la velocidad periférica de la pieza $d \cdot \pi \cdot n$ y la velocidad de avance s' de la mesa de fresar. Por lo general se da y se ajusta la velocidad de avance s' de la mesa de fresar. De la **fig. 93,1** se deduce

$$\cos\ \beta = \frac{s'}{s_w'}$$

La velocidad de avance en la dirección de las ranuras helicoidales es de acuerdo con esto

$$s_w' = \frac{s'}{\cos\ \beta}$$

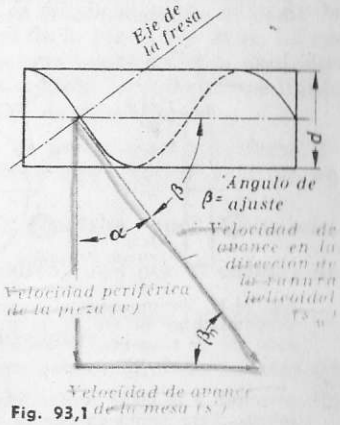


Fig. 93,1

Tiempo principal. Para una espira completa de la ranura l_w se obtiene el tiempo principal $t_{princ.\,w}$ dividiendo el paso h_w por la velocidad de avance s' de la mesa **(fig. 90,1):**

$$t_{princ.\,w} = \frac{h_W}{s'}$$

Si la pieza es más corta o más larga que el paso, la longitud l_g de la pieza guardará con el paso h_W la misma relación que el tiempo principal ($t_{princ.1}$) con el tiempo principal para una espira completa ($t_{princ.\,w}$):

$$\frac{l_g}{h_W} = \frac{t_{princ.1}}{t_{princ.\,w}} \qquad t_{princ.1} = \frac{l_g \cdot t_{princ.\,w}}{h_W};$$ si se pone aquí $t_{princ.\,w} = \frac{h_W}{s'}$ se tendrá

$$t_{princ.1} = \frac{l_g \cdot h_W}{h_W \cdot s'} = \frac{l_g}{s'}$$

Para T ranuras helicoidales e i cortes por cada ranura se tiene el tiempo principal para el fresado de ranuras helicoidales de la siguiente expresión:

$$t_{princ.} = \frac{i \cdot T \cdot l_g}{s'}$$ Si se tienen en cuenta los recorridos de arranque y de rebase

se llega a $t_{princ.} = \frac{i \cdot T \cdot L}{s'}$

i = número de cortes por cada ranura helicoidal, T = número de ranuras helicoidales (paso o división), $L = l_g + l_a + l_u$ (l_g = longitud de la pieza), s' = velocidad de avance de la mesa de fresar.

Ejercicios:

1. Longitud de la pieza = 280 mm, paso $h_W = 150$ mm, ángulo de ajuste $\beta = 25^\circ$. Calcular el tiempo principal para 5 ranuras helicoidales para el caso de haberse previsto dos cortes por cada ranura y para $l_a + l_u = 25$ mm. Velocidad de avance $s' = 14$ mm/min.
2. Datos: número de cortes $i = 2$, longitud de la pieza 190 mm, $l_a + l_u = 26$ mm, división $T = 5$, $t_{princ.} = 135$ min. ¿Qué velocidad de avance de la mesa habrá que ajustar?
3. Se trata de fresar las 6 ranuras espirales de una fresa. Diámetro $D = 50$ mm, anchura de la fresa $b = 120$ mm, paso de las ranuras espirales $h_W = 640{,}5$ mm, velocidad de avance $s' = 18$ mm/min. Para $l_a + l_u$ se prevén para cada corte 20 mm. Calcúlese ángulo de ajuste, tiempo principal y velocidad de avance en dirección de las ranuras espirales.
4. Datos: ángulo de ajuste $\beta = 17{,}5^\circ$, longitud de la pieza $l_g = 180$ mm, diámetro de la pieza $d = 70$ mm, número de las ranuras espirales $T = 3$, velocidad de avance $s' = 22$ mm/min, número de cortes $i = 2$, $l_a + l_u = 15$ mm por corte. Calcúlese el paso, el tiempo principal y la velocidad de avance en dirección de las ranuras espirales.

Fresado por el procedimiento de rodadura

Modo de trabajar

El proceso puede explicarse contemplando un mecanismo de tornillo sin fin **(fig. 94,1)**. Si en vez del tornillo sin fin se empleara una fresa conformada convenientemente se podría fresar la rueda correspondiente, haciendo que entre el número de revoluciones de la fresa y el de la rueda que se talla existiera una determinada relación. Sí, por ejemplo, la rueda helicoidal ha de tener 40 dientes, la relación de números de vueltas, empleando una fresa de un filete, debería ser 40:1, es decir, por cada 40 revoluciones de la fresa tendría que girar la rueda una vez. Si la fresa se ajustara desde el

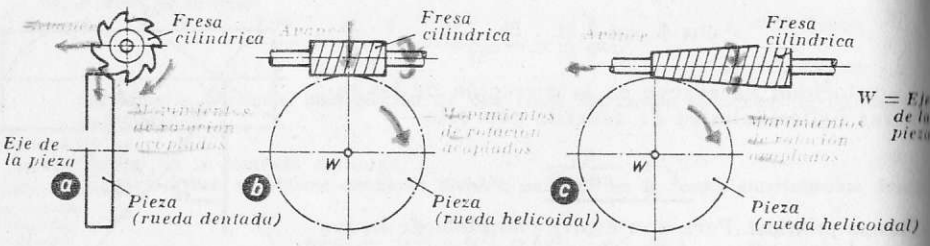


Fig. 94,1 Movimientos al hacer el fresado por rodadura: a) avance al eje de la pieza; b) avance perpendicular al eje de la pieza, procedimiento (radial) de inmersión; c) avance en la dirección de la tangente, procedimiento tangencial.

principio a la plena profundidad del diente, se fresarían 40 dientes de la rueda en una vuelta de la misma. Pero como en este caso la profundidad de viruta sería demasiado grande se van ajustando la fresa o la pieza paulatinamente. Mientras que en el proceso de división se obtiene un diente después de otro, aquí rueda por lo tanto la fresa sobre la pieza de tal modo que todos los dientes se obtienen en un solo proceso de trabajo. Con la misma fresa se podrían también tallar ruedas helicoidales del mismo módulo con un número arbitrario y distinto de dientes.

Si se tiene que fresar de este modo una rueda frontal se ajustará la fresa a toda la profundidad del diente. Durante el proceso de fresado se moverá la fresa a todo lo largo del diente. Con objeto de que el diente de la fresa puedar cortar siempre en la dirección de la ranura de diente de la pieza tendrá que ser colocada la fresa oblícuamente en la dirección del ángulo de ajuste **(fig. 94,2 a)**.

Con objeto de que los dientes se desgasten más por igual, con frecuencia lo que se hace es avanzar la fresa de rodadura lateralmente paso a paso (Shifting).

Mientras que en la fabricación de ruedas frontales de dientes rectos la relación es igual a la relación del número de dientes de la rueda dentada al número de pasos o de entradas de la fresa, cuando se trata de ruedas frontales de dientes oblícuos la fresa recibirá de acuerdo con el ángulo de oblicuidad un movimiento de giro adicional. En el ajuste habrán de tenerse en consideración tanto el ángulo de ajuste de la herramienta como el de oblicuidad de la rueda dentada **(figs. 94,2 b y c)**.

El procedimiento de rodadura se emplea con mucha frecuencia. Se fresan de este modo por ejemplo las ruedas frontales y helicoidales, las ruedas de tornillo sin fin y las de cadena, los árboles con chavetero, las roscas, los tornillos sin fin, los piñones, etc., etc. Frente al procedimiento por división tiene el de fresado por rodadura la ventaja de que las piezas se hacen más rápidamente y generalmente con mayor precisión. Para ruedas del mismo módulo con número arbitrario de dientes, ya sean éstos rectos u oblícuos, puede emplearse la misma y única fresa. La capacidad de arranque de viruta de la fresa es notablemente mayor. Todos los dientes se producen en una sola pasada

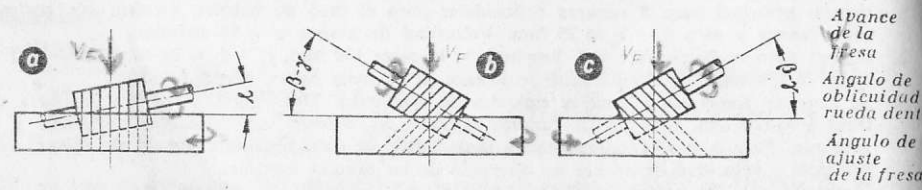


Fig. 94,2 a) Fresado de rodadura de una rueda frontal de dientes rectos con una fresa de rodadura de paso a la izquierda; b) fresado de rodadura de una rueda dentada con dientes oblícuos a la izquierda, empleando una fresa de rodadura con paso a la izquierda.

de trabajo, la engorrosa operación de retroceso y el movimiento de división de la pieza despues de la ejecución de cada uno de los dientes resultan suprimidos.

Por otro lado, en cambio, se necesitan máquinas especiales de rodadura y el costo de las herramientas es alto.

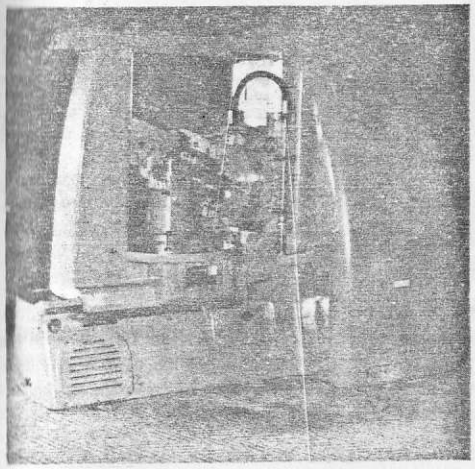
Máquinas fresadoras de rodadura

En las máquinas fresadoras de rodadura **(fig. 95,1)** el movimiento de giro de la herramienta está acoplado desmodrómicamente con el de la pieza **(fig. 94,2)**. La relación de revoluciones incluido el movimiento adicional para ruedas dentadas frontales de dientes inclinados necesaria de vez en cuando se obtiene mediante intercalación de las ruedas correspondientes (ruedas de cambio).

El husillo de fresar puede hacerse girar con objeto de poder ajustar la fresa de acuerdo con el ángulo de inclinación. El avance tiene que poderse realizar en las siguientes direcciones **(fig. 94,1)**:

1. Paralelamente al eje de la pieza (para ruedas frontales, ruedas cónicas, roscas).
2. Radialmente a la pieza (fabricación de ruedas helicoidales por el sistema de inmersión).
3. Tangencialmente a la pieza (fabricación por el procedimiento tangencial de ruedas helicoidales de filetes especialmente empinados).

Para trabajos por el procedimiento de división poseen estas máquinas además un montaje divisor.



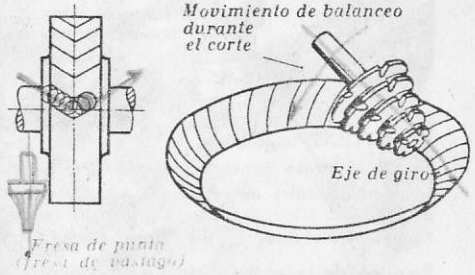


Fig. 95,1 Máquina fresadora de rodadura.

Fig. 95,2 Movimiento de inversión en el fresado de ruedas frontales, con dientes en forma de flecha, por el procedimiento de división.

Fig. 95,3 Proceso de trabajo en el fresado de una rueda cónica de dientes en espiral por el procedimiento de rodadura.

Para ruedas con dientes en forma de flecha que no pueden obtenerse por el procedimiento de fresado de rodadura se utilizan fresas en forma de dedo. Las máquinas tienen un dispositivo de inversión automático para el avance de la fresa en la punta de la flecha **(fig. 95,2)**.

Máquinas para la obtención de ruedas cónicas con dentado espiral (dentado de Klingelnberg)

Las ruedas cónicas con dientes en espiral tienen frente a las ruedas cónicas con dentado recto, entre otras, las siguientes ventajas.

Hay varios dientes trabajando simultáneamente, tienen un funcionamiento más silencioso, mayor seguridad contra la rotura, gran exactitud de división, pueden transmitir grandes esfuerzos oscilantes sin efecto perjudicial sobre el proceso de rodadura.

Estas ruedas dentadas pueden ser fabricadas con una fresa cónica de rodadura por el procedimiento de Klingelnberg. La fresa ajustada desde el principio a la correcta profundidad de corte recibe durante el corte un movimiento de giro circular y va tallando así paulatinamente los dientes **(fig. 95,3)**.

Las fresas de rodadura son difíciles de fabricar y por ello resultan caras. Están destalonadas con el útil o con la muela. Como el ángulo de ajuste para la fresa no puede medirse directamente en ésta, va estampado en ella **(figs. 96,1 y 3)**. Si se dispone el ángulo de ajuste defectuosamente, quedará influido con ello especialmente el espesor de diente y en menor proporción la forma del diente. Para la comprobación del funcionamiento «redondo», imprescindiblemente necesario, se prevén a ambos lados de la fresa especiales rodetes o collares de comprobación **(fig. 96,1)**.

Cuando hay que arrancar grandes cantidades de viruta, es decir cuando se trata de grandes divisiones o pasos, o cuando se exige una especial precisión se emplean frecuentemente fresas previas de rodadura y fresas de acabado.

Para ruedas frontales con filetes a la derecha se exigen por lo general fresas de rodadura a la derecha y para los filetes a la izquierda fresas de rodadura también a la izquierda.

En la hoja DIN 8000 se especifican detalles sobre denominaciones en las fresas de rodadura para ruedas frontales con dentado de envolvente. Para lo demás en DIN 8002 están normalizadas las fresas de rodadura para ruedas frontales; la forma A es la de ranuras transversales y la B la de ranuras longitudinales.

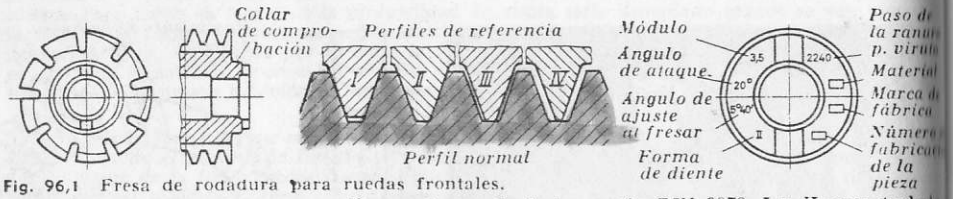


Fig. 96,1 Fresa de rodadura para ruedas frontales.
Fig. 96,2 Perfiles de referencia para herramientas de dentar según DIN 3972. I y II para trabajo de acabado, III para trabajo previo al esmerilado o al rascado, IV para trabajo previo al afinado.
Fig. 96,3 Rotulado en una fresa de rodadura.

Perfiles de referencia para herramientas de dentar

Según que los dientes de las ruedas dentadas tengan que recibir un trabajo posterior o no lo necesiten y según qué clase de trabajo posterior se haya previsto, las herramientas de dentar, y por lo tanto también las fresas, tienen una forma de dientes de acuerdo con ello (perfil de referencia) **(fig. 96,2)**.

Según DIN 3972 se han fijado los siguientes perfiles de referencia:

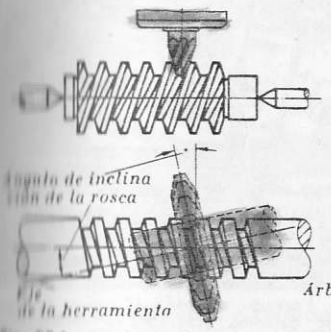
Perfil de referencia I	para trabajos de acabado. El fondo de diente previamente trabajado no se vuelve a tocar por la herramienta (por ejemplo, fresa de rodadura) en el trabajo de acabado.
Perfil de referencia II	para trabajo de acabado (hasta el fondo de diente). En ciertas circunstancias también para el trabajo previo, cuando no se necesita sino muy pequeño exceso para el trabajo subsiguiente (por ejemplo, para el rascado o raspado).
Perfil de referencia III	para trabajo previo con pequeño exceso para el trabajo posterior (por ejemplo rectificado).
Perfil de referencia IV	para trabajo previo al de afinado.

En la fresa de rodadura viene dado también el perfil de referencia (forma del diente).

Procedimiento

Frente a la ejecución de roscas en el torno, el fresado de roscas tiene en la fabricación en serie la ventaja de una mayor economía. Se fresan tanto roscas exteriores como roscas interiores. Según sea la cooperación en el trabajo de la herramienta y la máquina, podemos distinguir los siguientes procedimientos:

1. Fresado de roscas largas.
2. Fresado de roscas cortas.
3. Fresado de roscas por rodadura.
4. Fresado de roscas mediante copia.
5. Fresado de roscas mediante cabezal divisor.



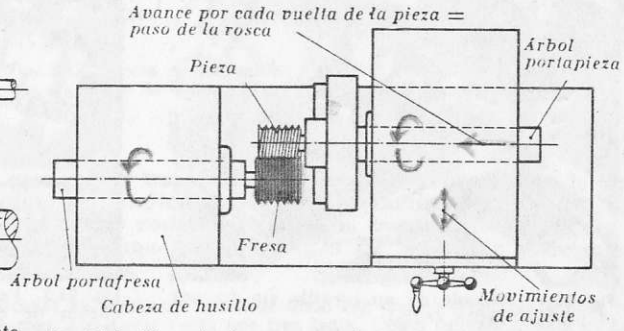


Fig. 97,1 (arriba) Procedimiento radial.
Fig. 97,2 (abajo) Procedimiento tangencial (filete largo).
Fig. 97,3 Fresado de roscas cortas.

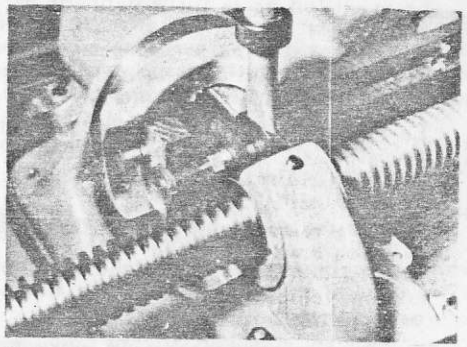


Fig. 97,4 Máquina para fresado de roscas largas.

En el procedimiento radial **(fig. 97,1)** el eje de la herramienta se mantiene perpendicular al de la pieza; en el procedimiento tangencial **(fig. 97,2)** va en dirección del eje de la pieza o es perpendicular a la inclinación de los filetes de la rosca **(fig. 97,2)**.

Máquinas

Fresadoras para rosca larga. El perfil de la rosca se consigue aquí mediante una fresa en forma de disco **(fig. 97,4)**.

Mientras la pieza gira de acuerdo con la velocidad de avance obtiene la herramienta, como en el torno, un movimiento proveniente del husillo de guía, en la dirección longitudinal de la pieza y que corresponde al paso de la rosca. Entre el husillo de sujeción para la pieza y el husillo de guía se disponen ruedas de cambio. El accionamiento para la herramienta es independiente del accionamiento para la pieza y el avance del carro de fresar.

El eje de la fresa tiene que ser ajustado de modo exactamente perpendicular a la inclinación del filete de rosca. El cabezal divisor se dispone por esta razón de modo giratorio.

Fig. 98,1 Fresado de un tornillo sin fin por el procedimiento radial.

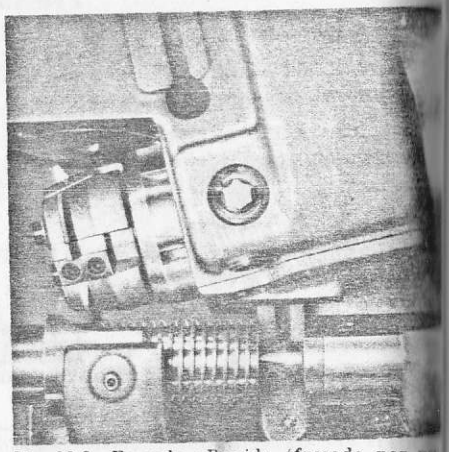


Fig. 98,2 Fresado «Rapid» (fresado por percusión de dientes, remolinado [Schlagzahnfräsen, Wirbeln]).

La exactitud de la rosca depende esencialmente de la calidad del husillo de gu
Además la forma de la rosca es deformada ligeramente por la fresa de repa
de manera que para roscas muy exactas es necesario prever un trabajo de afi
posterior con el torno o la rectificadora.
Para el ajuste de la profundidad de rosca se utilizan discos graduados y top

La rosca puede ser obtenida de una sola pasada; para mayores exigencias
necesitan de dos a tres cortes. Los tornillos sin fin se fabrican también por
procedimiento radial (fig. 98,1). Para roscas de más de un paso o filete se dispo
de un dispositivo divisor.

Fresado de roscas por percusión de dientes. La fresadora «Wanderer-Rapid» (fig
98,2) lleva en vez de la fresa en forma de disco un cabezal de cuchillas a g
velocidad con dos a cuatro cuchillas afiladas según el perfil del filete. Se trab
aquí con velocidades de corte hasta de 450 m/min y se obtiene una calidad
perficial muy buena en la rosca.

Fresadoras para roscas cortas. En estas máquinas (fig. 97,3) se fresa la rosca en un poco más
una vuelta completa de la pieza. Se utiliza para ello una fresa en forma de rodillo provist
estrías. La pieza recibe durante su rotación un movimiento en dirección longitudinal que corresp
al paso de la rosca.

Por este sistema pueden tallarse también roscas cortas en la fresadora para roscas largas.

Fresadoras de roscas por sistema de rodadura. Así como en el fresado de roscas largas de
filetes se ejecuta un filete después del otro, mediante el sistema de rodadura se pueden fresar
los filetes simultáneamente.

Lo mismo que en el fresado general por rodadura, debe también aquí estar el husillo de suje
de acuerdo con el número de pasos de la pieza, en una determinada relación con el movimient
rotación del husillo de fresar. El número de pasos o filetes debe ser al menos igual a 4.
Con estas máquinas de fresar pueden por lo general hacerse también otros trabajos de fresado
rodadura.

Fresadoras para roscar por el procedimiento de copia. Mediante el fresado copiador (págs.
pueden obtenerse también tornillos sin fin, roscas trapeciales, roscas planas, curvas en supe
exteriores (curvas generatrices), entre otras cosas, con una fresa de vástago y empleando el
cedimiento radial (fig. 97,1). La inclinación puede tener un sesgo uniforme o también ser ar
riamente variable.

Fresado de roscas por medio de cabezal divisor. Como las roscas están constituidas a mod
ranuras espirales (helicoidales) pueden obtenerse también con ayuda de un cabezal divisor. El h
de la mesa toma aquí a su cargo la misión del husillo de guía. Hay cabezales divisores co
cuales puede trabajarse también por el sistema de rodadura.

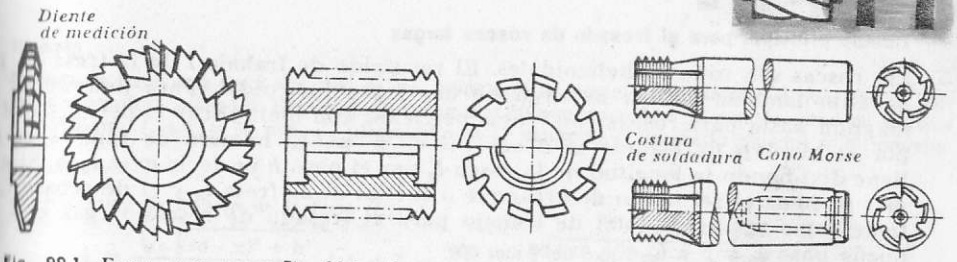


Fig. 99,1 Fresa para rosca trapecial.

Fig. 99,2 Fresa recambiable (o sea para ir enchufada).

Fig. 99,4 Fresa de vástago para roscar (con cono Morse).

Fig. 99,3 Fresa de vástago para roscar (con vástago cilíndrico).

Fresas para roscar

Fresas en forma de disco para roscas trapeciales. Su forma concuerda con la de las ranuras de rosca, medidas perpendicularmente a la inclinación de los filetes (fig. 99,1). Con vistas a una mejor conservación de la herramienta, se fresa frecuentemente la rosca larga con una fresa previa o de desbastar y después se termina con una fresa de acabado.

Según DIN 1893 están normalizadas las fresas en forma de disco con dientes desplazados para roscas trapeciales y pasos de 2 ... 26 mm. Un diente corta por tres lados. Como tolerancia para el ángulo de los flancos de la fresa se prevé ± 15″.

Ejemplos de normalización:

Fresa para rosca trapecial de 4 mm de paso y 30° de ángulo en los flancos de acero rápido: Fresa para rosca trapecial 4 × 30 DIN 1893 SS *.

Fresa recambiable (o enchufable) (fig. 99,2). Se utiliza para la fabricación de roscas cortas. La fresa en forma de rodillo tiene estrías paralelas sin inclinación. La fresa debe ser unos 3 pasos más ancha que la rosca a tallar.
Las fresas de rosca llevan en general ranuras rectas porque las ranuras en espiral (helicoidales) dan lugar a efectos de corte desiguales en ambos flancos de la rosca. Uno de los ángulos de ataque será positivo y el otro negativo.
Para roscas exactas se necesitan en lugar de fresas de roscar que están despulladas con el torno, fresas de roscar enchufables despulladas con la muela.

Las fresas enchufables para roscar de acero rápido están normalizadas en DIN 852 para pasos de 0,2 ... 3 mm, anchura de fresa (longitud nominal) de 12 ... 80 mm, del siguiente modo:

1. Sin gollete cilíndrico; forma A despullada a torno; forma B despullada con muela.
2. Con gollete cilíndrico; forma C despullada con torno; forma D despullada con muela.

Ejemplo de normalización:

Fresa de roscar enchufable despullada con útil de torno, 50 mm Ø con gollete cilíndrico, 40 mm de anchura para rosca métrica con 2 mm de paso.
Fresa de roscar enchufable C 50 × 40 × 2 DIN 852.

Fresa de roscar en forma de vástago (figs. 99,3 y 4). Para rosca pequeña hay fresas de una pieza con vástago cilíndrico (DIN 887) o con cono Morse (DIN 888). Diámetro de la fresa 8 ... 25 mm, paso 0,5 ... 3 mm, longitud de rosca en la fresa 8 ... 40 mm.

Ejemplo de normalización:

Fresa de roscar con cono Morse para rosca métrica, despullada con muela, 20 mm Ø, 32 mm de longitud, 1,5 mm de paso, corte a la derecha:
Fresa de roscar B 20 × 32 × 1,5 derecha DIN 888 (forma A: despullada con útil de tornear; forma B despullada por esmerilado o sea con muela).

Para roscas interiores el diámetro de la fresa no debe ser mayor que 2/3 del diámetro de la rosca. Las fresas de roscar en forma de vástago se utilizan también para la obtención de roscas por el procedimiento radial.

* SS hace referencia a las iniciales de las dos palabras alemanas *Schnell* y *Stahl* que entran en la composición de *Schnellarbeitsstahl* (acero para trabajo rápido, acero rápido). — *Nota del Traductor.*

Tiempo principal para el fresado de roscas largas

Las roscas son ranuras helicoidales. El recorrido de trabajo l de la fresa va por lo tanto también aquí a lo largo de una línea helicoidal. Para determinar su longitud basta para roscas con fresas pequeñas con multiplicar el perímetro $d \cdot \pi$ por el número de espiras w o sea $l = d \cdot \pi \cdot w$. El número de espiras se obtiene dividiendo la longitud de la rosca l_g por el paso h es decir $w = l_g/h$. Si además se suma el recorrido de arranque o inicial de la fresa l_a y el de rebase l_u se tiene como recorrido total de trabajo para el fresado de roscas largas con pequeño paso $L = l + l_a + l_u$ o sea:

$$L = \frac{d \cdot \pi \cdot l_g}{h} + l_a + l_u$$

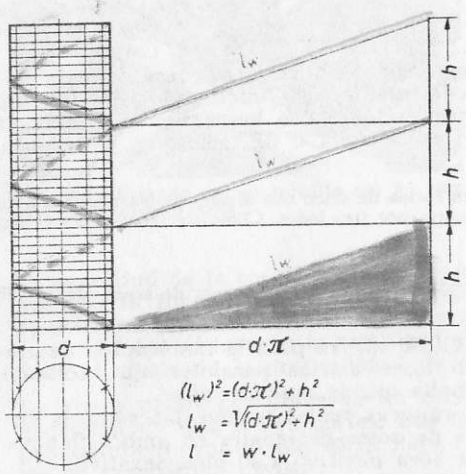


Fig. 100,1 Longitud de la línea helicoidal (hélice).

donde l_g = longitud de rosca, h = paso, d = diámetro exterior de la rosca.

Para roscas con paso grande se obtiene la longitud de una espira l_w como hipotenusa de un triángulo rectángulo en el que según el teorema de Pitágoras podremos poner **(fig. 100,1)**.

$$l_w^2 = (d \cdot \pi)^2 + h^2$$

$$l_w = \sqrt{(d \cdot \pi)^2 + h^2}$$

Si se multiplica este valor por el número de espiras w $(= l_g/h)$, se obtiene como recorrido total de trabajo para el fresado de roscas largas con paso grande:

$$L = \frac{l_g \sqrt{d \cdot \pi)^2 + h^2}}{h} + l_a + l_u$$

Para el cálculo del tiempo principal ($t_{princ.}$) se tiene nuevamente

$$t_{princ.} = \frac{L}{s'} \qquad \text{en caso de } i \text{ cortes} \qquad t_{princ.} = \frac{i \cdot L}{s'}$$

Cuando se trata de roscas con varios filetes (varias entradas) se tiene, cuando se obtienen por el procedimiento divisor:

$$t_{princ.} = \frac{i \cdot L \cdot i_g}{s'}$$

donde i_g = número de filetes o entradas de la rosca.

En el fresado de roscas exteriores la velocidad de corte en el fondo de la rosca (diámetro mayor de la fresa) es la velocidad mayor y en el perímetro de la rosca tendremos la velocidad de corte menor pero en cambio la velocidad de avance será la menor en el fondo de la rosca y será máxima en la periferia.

Es decir que podríamos determinar el tiempo principal basándonos en el diámetro medio (diámetro de los flancos), no obstante se calcula por lo general partiendo del diámetro exterior. Hay tablas que dan la correspondiente velocidad de avance periférico.

En las roscas interiores, en el fondo de rosca se tienen tanto las velocidades corte como las de avance máximas. Por lo tanto aquí se calcula correctamente cuando se utiliza el diámetro exterior de la rosca.

Ejemplo:

Se trata de fresar una rosca trapecial de tres pasos o filetes por el procedimiento divisor en dos cortes (desbastado y acabado). Diámetro del perno $d = 50$ mm, paso $h = 30$ mm, longitud de la rosca $l_g = 900$ mm, $l_a + l_u = 30$ mm, s'_1 (desbastado) = 25 mm/min, s'_2 (acabado-afinado) = 20 mm/min.

Solución:

a) Recorrido de trabajo de la fresa (L):

$$L = \frac{l_g \cdot \sqrt{(d \cdot \pi)^2 + h^2}}{h} + l_a + l_u = \frac{900 \text{ mm} \sqrt{(50 \text{ mm} \cdot \pi)^2 + 30 \text{ mm}^2}}{30} + 30 \text{ mm}$$

$$= 30 \text{ mm} \sqrt{25\,574 \text{ mm}^2} + 30 \text{ mm} = 4828 \text{ mm}$$

b) Tiempo principal para el desbastado:

$$t_{princ.\,1} = \frac{L \cdot i_g}{s'} = \frac{4828 \text{ mm} \cdot 3}{25 \text{ mm/min}} = 579{,}36 \text{ min} \approx 580 \text{ min}$$

c) Tiempo principal para el afinado:

$$t_{princ.\,2} = \frac{L \cdot i_g}{s'} = \frac{4828 \text{ mm} \cdot 3}{20 \text{ mm/min}} = 724{,}2 \text{ min} \approx 724 \text{ min}$$

d) Tiempo principal total:

$$t_{princ.} = t_{princ.1} + t_{princ.2} = 580 \text{ min} + 724 \text{ min} = 1304 \text{ min}$$

Ejercicios:

1. ¿Cuánto vale el tiempo principal en el ejemplo anterior si en vez de la longitud de la línea helicoidal se pone para una espira l_W el perímetro $d \cdot \pi$ de la rosca? ¿Qué magnitud tiene el error así cometido en % del tiempo principal exacto?

2. ¿Con qué velocidad de avance habría que trabajar si la pieza del ejemplo anterior tuviera que ser previamente desbastada en 8 horas?

3. a) ¿Qué diferencia existe entre las velocidades de corte en el núcleo de la rosca y en la periferia de la misma, siempre en el ejemplo anterior? Velocidad de corte $v = 20$ m/min, diámetro de la fresa $D = 70$ mm, profundidad de rosca $t_1 = 5{,}25$ mm.

   b) ¿Qué diferencia existe entre las correspondientes velocidades de avance? La profundidad de rosca la tomaremos redondeando igual a 5 mm. Las velocidades de avance dadas en el ejemplo son velocidades de avance periféricas.

4. Datos: Longitud de rosca $l_g = 832$ mm, número de filetes $i_g = 1$, paso $h = 16$ mm, diámetro de rosca $d = 54$ mm, velocidad de avance s'_1 (desbastado) = 35 mm/min, velocidad de avance s'_2 (afinado) = 25 mm/min, $l_a + l_u = 20$ mm. Calcúlese el tiempo principal $t_{princ.}$ para el fresado de la rosca.

5. Datos: Longitud de rosca $l_g = 1200$ mm, número de filetes $i_g = 4$, paso $h = 36$ mm, diámetro de la rosca $d = 45$ mm, diámetro de la fresa $D = 75$ mm, velocidad de corte (desbastado y afinado) $v = 20$ m/min, número de dientes de la fresa $z = 18$, avance por cada diente de la fresa s_{z1} (desbastado) = 0,015 mm, avance por cada diente de la fresa s_{z2} (afinado) = 0,01 mm, $l_a + l_u = 30$ mm. Regulación del número de revoluciones sin escalonamiento.

   Calcúlese el tiempo principal para el fresado de la rosca por el procedimiento divisor (desbastado y afinado).

Tiempo principal para el fresado de roscas cortas

El recorrido total de la fresa (incluido el comienzo o entrada de la fresa cuando empieza a morder) se realiza durante aproximadamente $1\,^1/_6$ revoluciones de la pieza y es por lo tanto igual a $1\,^1/_6$ veces el perímetro de la rosca $d \cdot \pi$.

$$t_{princ.} = \frac{L}{s'} = \frac{7 \cdot d \cdot \pi}{6 \cdot s'}$$

Ejemplo:

Una rosca de 65 mm Ø debe ser fabricada por el procedimiento seguido con las roscas cortas. Velocidad de avance $s' = 45$ mm/min. Calcúlese el tiempo principal.

Solución:

$$t_{princ.} = \frac{7 \cdot d \cdot \pi}{6\, s'} = \frac{7 \cdot 65 \text{ mm} \cdot 3{,}14}{6 \cdot 45 \text{ mm/min}} = 5{,}3 \text{ min}$$

Ejercicios

1. ¿Qué valor tiene el número de revoluciones n para la pieza del ejemplo anterior?
2. Datos: Diámetro de la rosca $d = 58$ mm, diámetro de la fresa $D = 70$ mm, velocidad de corte $v = 25$ m/min, avance por cada diente de la fresa $s_z = 0{,}02$ mm, número de dientes de la fresa $z = 15$. Calcúlese el tiempo principal para el fresado de fresa corta y el número de revoluciones n de la pieza.
3. Datos: Diámetro de la rosca $d = 72$ mm, tiempo principal $t_{princ.} = 4{,}7$ min. ¿Qué magnitud tiene la velocidad de avance?

Consumo de potencia y rendimiento en viruta de las fresadoras

Cálculo partiendo del volumen de viruta admisible (véase pág. 65)

Si por minuto ha de ser arrancada una determinada cantidad de viruta (V) y si nos es conocida V', la cantidad de viruta que según sea el material y el tipo de fresado (rodadura, refrentado, etc.) cabe esperar de la máquina por cada kWmin [1] la potencia de la máquina se podrá determinar por la igualdad

$$P = \frac{V}{V'}$$

V = Viruta arrancada en cm³/min
V' = Viruta presumible en cm³/kWmin
P = Potencia en kW

Ejemplo:

En unas piezas de fundición gris semidura hay que fresar unas superficies de 120 mm de ancho y 6 mm de profundidad mediante rodadura con una velocidad de avance $s' = 100$ mm/min. Calcúlese la potencia de accionamiento en kW.

Solución:

Cantidad de viruta producida: $V = \frac{a \cdot b \cdot s'}{1000} = \frac{6 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm/min}}{1000} = 72 \text{ cm}^3/\text{min}$

La cantidad que se presume puede dar la máquina por cada kW y minuto es según tablas $V' = 22$ cm³/kWmin.

Potencia de accionamiento necesaria $P = \frac{V}{V'} = \frac{72 \text{ cm}^3/\text{min}}{22 \text{ cm}^3/\text{kWmin}} = 3{,}28$ kW

Ejercicios:

1. Datos: Potencia de accionamiento de la máquina fresadora $P = 6{,}5$ kW, cantidad de viruta que se supone puede dar la máquina $V' = 10$ cm³ por cada kW y minuto. Calcúlese la cantidad de viruta posible en cm³/min en caso de un aprovechamiento pleno de la máquina (rendimiento en viruta).
2. Datos: Material: Acero aleado, recocido, con resistencia de 70 kg/mm², clase de fresado: refrentado con fresa cilíndrica frontal, anchura de fresado $b = 90$ mm, profundidad de fresado $a = 12$ mm, velocidad de avance $s' = 70$ mm/min. Calcúlese la potencia de accionamiento de fresadora en kW y en CV.
3. Datos: Potencia de accionamiento de la fresadora $P = 4{,}5$ kW, anchura de fresado $b = 110$ mm, material: St 42, tipo de fresado: rodadura. Calcúlese la profundidad de fresado posible a. Velocidad de avance $s' = 90$ mm/min.

Cálculo con ayuda del esfuerzo medio de corte (k_M)

Si en la fórmula general de la potencia $P = F \cdot v/75$ se pone para la fuerza la expresión $k_M \cdot a \cdot b$ (esfuerzo específico medio de corte · profundidad de fresado · anchura de fresado), para v la velocidad de avance en m por seg. $= s'/1000 \cdot 60$ y se tiene además en cuenta el rendimiento η, se obtendrá para el cálculo de la potencia de la fresado en CV la igualdad:

$$P = \frac{a \cdot b \cdot k_M \cdot s'}{1000 \cdot 75 \cdot 60 \cdot \eta} \quad \text{o sea} \quad P = \frac{a \cdot b \cdot k_M \cdot s'}{4500 \cdot 1000 \cdot \eta}$$

Para el cálculo de la potencia en kW se tiene:

$$P = \frac{a \cdot b \cdot k_M \cdot s'}{1000 \cdot 102 \cdot 60 \cdot \eta} \quad \text{o sea} \quad P = \frac{a \cdot b \cdot k_M \cdot s'}{6120 \cdot 1000 \cdot \eta}$$

[1] Véase tabla en «Stoff — Zahl — Form» de Jütz-Scharkus, traducido por esta editorial con el título «Material — Número — Forma».

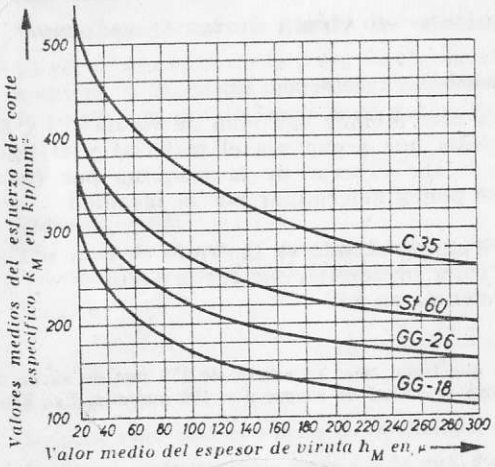


Fig. 104,1 Valores del esfuerzo de corte específico (k_M) y del espesor de viruta (h_M).

El valor medio del esfuerzo de corte específico k_M es función del espesor de viruta medio h_M. Este se calcula por la fórmula siguiente:

$$h_M = \frac{s'}{n \cdot z}\sqrt{\frac{a}{D}}$$

a = profundidad de fresado
D = diámetro de fresa
n = número de revoluciones de la fresa
s' = velocidad de avance
z = número de dientes de la fresa.

El esfuerzo de corte medio específico se saca entonces de un diagrama teniendo en cuenta este valor calculado del espesor medio de viruta **(fig. 104,1)**. Para η se puede suponer un valor 0,6 para máquina a plena carga.

Ejemplo:

Material: St 60, profundidad de fresado 5 mm, anchura de fresado b = 80 mm, velocidad de avance s' = 90 mm/min, diámetro de la fresa (fresa cilíndrica) D = 80 mm, número de dientes z = 8, número de revoluciones de la fresa n = 25 rev/min, η = 0,6. Calcúlese la potencia de accionamiento necesaria en kW.

Solución:

a) Espesor medio de viruta h_M y esfuerzo de corte específico medio k_M:

$$h_M = \frac{s'}{n \cdot z}\sqrt{\frac{a}{D}} = \frac{90\ \text{mm/min}}{25^1/\text{min} \cdot 8}\sqrt{\frac{5\ \text{mm}}{80\ \text{mm}}} = \frac{9\ \text{mm}}{20}\sqrt{\frac{1\ \text{mm}}{16\ \text{mm}}} = \frac{9\ \text{mm}}{80} = 0{,}1125\ \text{mm} \approx 112\ \mu$$

Del diagrama **(fig. 104,1)** se deduce para un espesor medio de viruta 112 μ un esfuerzo de corte específico de 260 kp/mm².

b) Potencia en kW:

$$P = \frac{a \cdot b \cdot k_M \cdot s'}{6120 \cdot 1000 \cdot \eta} = \frac{5\ \text{mm} \cdot 80\ \text{mm} \cdot 260\ \text{kp/mm}^2 \cdot 90\ \text{mm/min}}{6120 \cdot 1000 \cdot 0{,}6} = 2{,}55 \approx 2{,}5\ \text{kW}$$

Ejercicios:

1. Datos: Material: GG-18, profundidad de fresado a = 4 mm, anchura de fresado b = 75 mm, velocidad de avance s' = 300 mm/min, diámetro de la fresa D = 100 mm (cabezal de cuchillas con filos de metal duro), número de revoluciones de la fresa n = 120 rev/min, número de dientes z = 35. Calcúlese la potencia de accionamiento en kW; η = 0,6.

2. Datos: Material: C 35, profundidad de fresado a = 15 mm, anchura de fresado b = 20 mm, velocidad de avance s' = 140 mm/min, avance por diente de la fresa s_z = 0,15 mm, número de dientes z = 20, diámetro de la fresa D = 135 mm, η = 0,6. ¿Qué magnitud tienen que tener a) la velocidad de corte y b) la potencia de accionamiento en kW?

3. Datos: Material: GG-26, profundidad de fresado a = 6 mm, anchura de fresado b = 100 mm, velocidad de avance s' = 120 mm/min, diámetro de la fresa D = 63 mm, velocidad de corte v = 14 m/min, número de dientes de la fresa z = 8. Calcúlese a) el rendimiento en viruta (volumen de viruta arrancada en un minuto), b) la potencia de accionamiento necesaria en kW (η = 0,6), c) el rendimiento en viruta por cada kW y minuto.

Arranque de viruta por taladrado, barrenado (o penetrado o avellanado) [1] y escariado

Arranque de viruta en taladradoras verticales

Se entiende por taladrado en el sentido propio de la palabra un procedimiento de trabajo con arranque de viruta para la obtención de agujeros redondos (taladros). Estos pueden obtenerse por medio de taladrado en el material macizo o bien taladrando en un agujero dejado de fundición **(fig. 105,1)**.

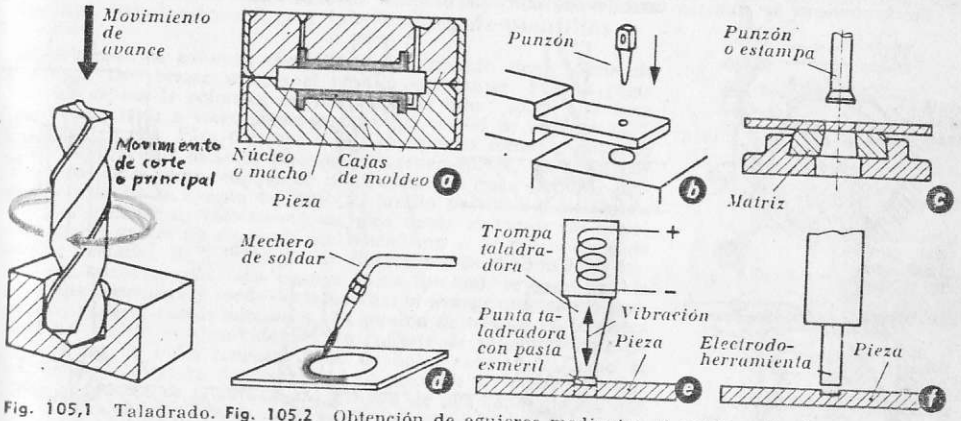


Fig. 105,1 Taladrado. **Fig. 105,2** Obtención de agujeros mediante: a) colada o fundición; b) punzonado; c) estampado; d) corte con soplete; e) taladrado con ultrasonido; f) por erosión de chispa eléctrica.

Los taladros sirven entre otras cosas para alojar árboles, pernos, bulones, pistones, roblones, tornillos o clavijas o pasadores. Para las roscas interiores se taladra primeramente un agujero núcleo en el cual se talla la rosca mediante un macho de roscar. Los taladros que no van de parte a parte de la pieza se llaman taladros o agujeros ciegos. Frecuentemente los agujeros oblongos o rectangulares o cuadrados se taladran previamente y después se acaban a mano o mediante una máquina-herramienta. Los trabajos de taladrado se hacen en taladradoras verticales, en taladradoras horizontales y en tornos. Tiene una importancia especial las taladradoras horizontales y los tornos para la ejecución de taladros de gran diámetro. Los agujeros pueden obtenerse en las piezas también mediante otros procedimientos de trabajo. Se obtienen ya de fundición al colar o fundir una pieza en bruto valiéndose de un núcleo o macho **(fig. 105,2 a)**.

Las piezas delgadas se pueden agujerear mediante *punzonado* o *estampado*. A veces entra también en juego el corte mediante soplete **(fig. 105,2 b-d)**.

Mediante taladro o perforado por ultrasonido pueden obtenerse agujeros de sección cualquiera realizados en una pieza maciza. Una herramienta que oscile a gran velocidad, la trompa taladradora, untada con pasta esmeril es capaz de trabajar así incluso los más duros materiales (véase pág. 204). Mediante *erosión por chispa eléctrica* se hacen también muy frecuentemente agujeros o cavidades de cualquier sección **(figs. 105,2 e y f)** (véase pág. 201).

Con ayuda de un dispositivo especial se pueden taladrar también en máquinas taladradoras y fresadoras lo mismo que en tornos agujeros cuadrados o de cinco, seis y más lados. La herramienta, de tres filos para agujeros cuadrados, de cuatro filos para agujeros pentagonales, y así sucesivamente, va para ello guiada en un calibre adecuado **(fig. 106,1)**.

[1] *N. del T.:* Algunos autores llaman barrenado a la operación de aumentar el diámetro de un agujero por medio de una herramienta de una sola punta, efectuándolo de una manera similar al torneado simple; esta operación se denomina en muchos talleres «cilindrado interior». El penetrado suele definirse como operación cuyo objeto es profundizar los agujeros ya empezados o terminar agujeros que se han hecho ya de manera previa o que se han dejado de fundición, así como practicar alojamientos para las cabezas de los tornillos (cajeras o avellanamientos). La palabra alemana «Senkungen» que emplea el autor, tiene un significado general que abarca un poco de todas esas operaciones que en español comprendemos con los nombres de barrenado, penetrado y avellanado. La operación de alisar o tornear interiormente se llama también mandrilado, y la de ejecutar alojamientos o avellanados, así como la de desbarbar las aristas del agujero, abocardado.

Barrenado, penetrado o avellanado [1]

Se entiende bajo las denominaciones barrenado, penetrado o avellanado la operación de seguir trabajando agujeros dejados de fundición o previamente taladrados.

En sentido más preciso llamaremos *barrenado* a la operación por medio de la cual se amplia en toda su longitud un taladro.
Llamaremos *penetrado* a la operación de ampliar un taladro en la primera parte de su longitud y *avellanado* a la ampliación cónica de un taladro.
Podríamos llamar *barrenado refrentador* [2]) a la operación de aplanar cubos o a la de preparar para el taladro superficies que presentan una posición oblicua respecto al eje del agujero.
Frecuentemente se emplean también los útiles de barrenar para desbastar taladros.

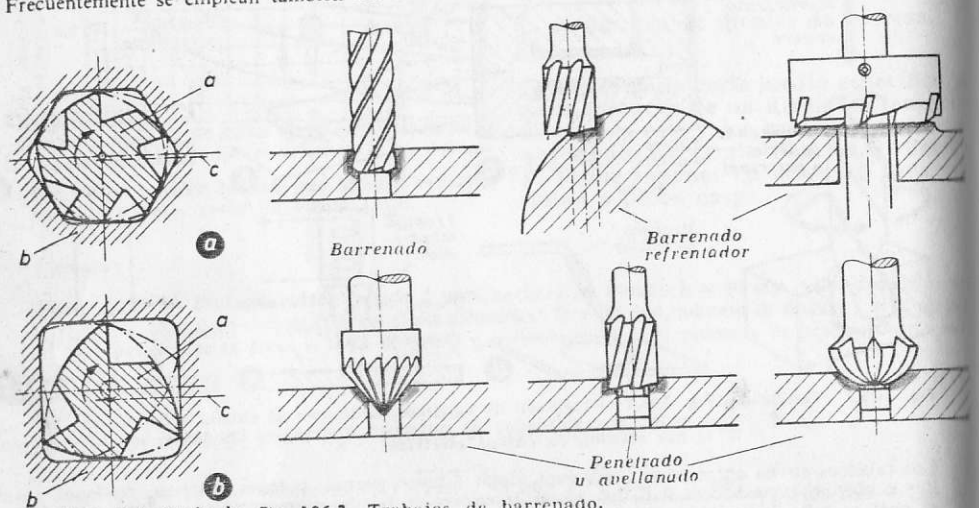


Fig. 106,1 Taladrado de agujeros con caras en número de cuatro, cinco, seis, etc. a) *a*, herramienta (cinco filos); *b*, pieza (seis caras); *c*, eje de la herramienta; b) *a*, herramienta (tres filos); *b*, pieza (cuadrangular); *c*, eje de la herramienta.

Fig. 106,2 Trabajos de barrenado.

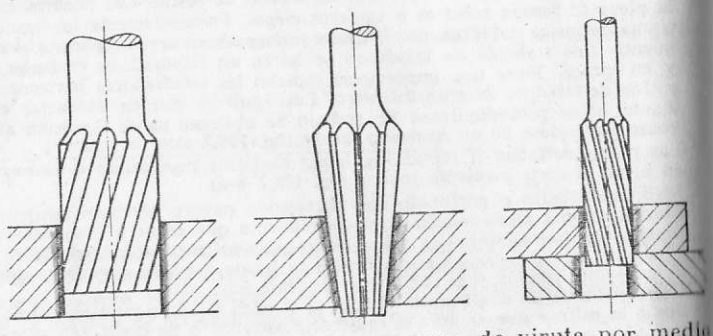


Fig. 106,3 Escariado de taladros cilíndricos.
Fig. 106,4 Escariado de taladros cónicos.
Fig. 106,5 Igualación del desplazamiento de taladros mediante escariado.

Escariado

El escariado es un procedimiento de trabajo con arranque de viruta por medio del cual agujeros previamente taladrados obtienen una gran exactitud de medidas y buena calidad superficial. Se emplea a este efecto generalmente una herramienta de varios filos llamada escariador.
También los taladros cónicos pueden obtenerse mediante rascado con ayuda de un escariador. Muchas veces se emplea el escariado para igualar el desplazamiento de agujeros de dos o más piezas superpuestas (por ejemplo en agujeros para roblones) (figs. 106,3 ... 5).

[1]) Véase nota de pág. 105.
[2]) *N. del T.:* En alemán «Ansenken»; no existe en nuestro léxico de talleres una palabra que traduzca exactamente la expresión alemana.

Máquinas taladradoras, o taladradoras simplemente

Máquinas taladradoras verticales. Según sea la forma y el tamaño de las piezas así como el tamaño, número, posición y exigencias respecto a la calidad de los taladros, se emplean unos u otros tipos de máquinas taladradoras. Se distinguen, por ejemplo:
Según la forma de la armazón: máquinas taladradoras de columna, de sobremesa, de montante, radiales y en serie.
Según el número de husillos del portaútil: taladradoras de un husillo o de varios husillos.
Según la posición del husillo portaútil: taladradoras verticales y taladradoras horizontales.
Según la calidad superficial obtenida: Taladradora normal, taladradora fina y taladradora de plantillas.

Taladradoras de columna (fig. 107,1). La armazón tiene forma de columna. Dos brazos sujetan el husillo de taladrar. Por su parte inferior reposa la columna en una placa de base; sobre esta base pueden sujetarse a veces piezas grandes por medio de ranuras en T previstas en ella. Para soportar piezas de tamaño medio y pequeño existe además una mesa de trabajo que, generalmente, puede oscilar alrededor de la parte redonda de la columna. La mesa se puede desplazar a mano en cuanto a altura. El husillo portaútil o husillo de taladrar obtiene su movimiento de giro desde el motor de accionamiento a través de discos de escalonamiento o de mecanismos de ruedas dentadas. El movimiento de elevación y de descenso del husillo de taladrar, soportado en una vaina (pínola), se hace posible mediante cremallera y rueda dentada. Para el avance automático pueden intercalarse ruedas adecuadas. La presión de trabajo en la dirección del husillo es absorbida por un cojinete de presión a base de rodamiento de bolas (cojinete axial de bolas ranurado). Como el husillo de taladrar ha de deslizar en su polea de accionamiento durante el proceso de taladrado, va provisto de una ranura en la que desliza una chaveta con el eje de accionamiento.

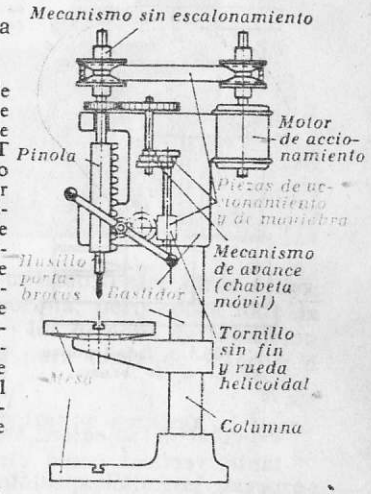


Fig. 107,1 Constitución fundamental de una taladradora (taladradora de columna).

Taladradora de sobremesa (fig. 107,2). Está construida de tal modo que puede colocarse sobre el banco de trabajo. Por lo demás se parece a la taladradora de columna.

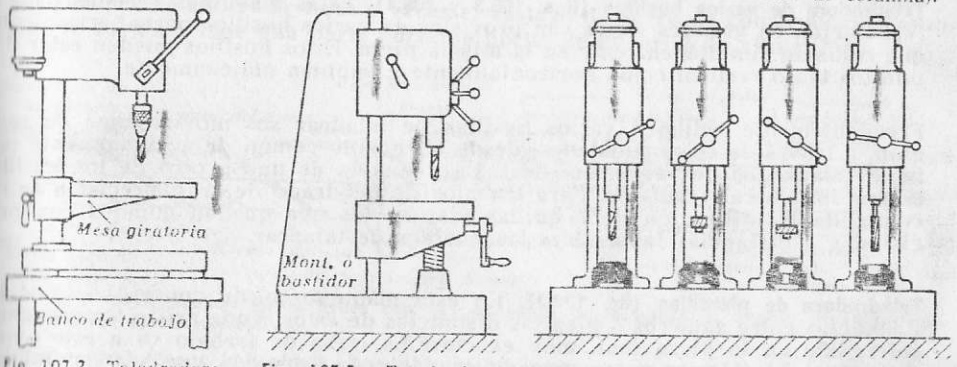


Fig. 107,2 Taladradora de sobremesa.
Fig. 107,3 Taladradora de montante.
Fig. 107,4 Taladradora en serie.

Taladradora de montante (fig. 107,3). El husillo de taladrar está soportado aquí en un carro de taladrar que desliza en una guía que lleva el montante; el montante está constituido en forma de cajón. De este modo tanto el carro como la mesa de trabajo resultan desplazables en altura. Frecuentemente va el motor de accionamiento embridado al montante. El husillo recibe su movimiento de avance de la misma forma que en la taladradora de columna.

Taladradora en serie (fig. 107,4). Esta máquina está constituida por varios montantes dispuestos uno junto a otro sobre un basamento común o sobre una misma mesa de trabajo. Cada husillo va provisto de una herramienta taladradora distinta. De este modo se pueden, por ejemplo en

una taladradora de cuatro unidades, realizar en la misma pieza cuatro agujeros diferentes o también realizar cuatro trabajos distintos de taladrado (taladrar o agujerear, barrenar, escariar, roscar con macho) uno después de otro en un mismo agujero sin necesidad de andar cambiando la herramienta. La máquina está concebida para trabajar en serie o en grandes series.

Taladradora radial (figs. 108,1 y 2). El carro desliza horizontalmente a lo largo de un brazo. Este brazo puede girar alrededor de una columna redonda y además deslizarse verticalmente a lo largo de ella. La columna se apoya en la placa de basamento que puede servir de mesa de trabajo y también soportar una mesa

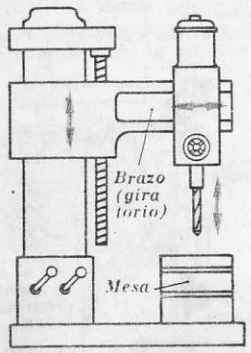


Fig. 108,1 Taladradora vertical o de brazo.

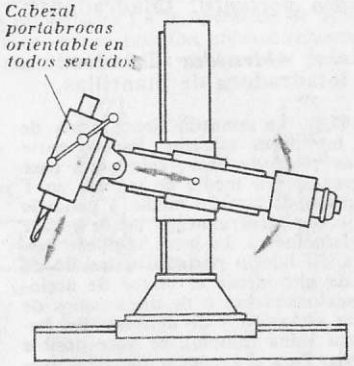


Fig. 108,2 Taladradora radial (taladradora universal con cabezal oscilante).

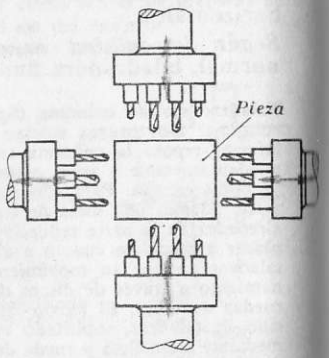


Fig. 108,3 Taladradora de varios husillos y cuatro recorridos.

especial de sujeción. Mediante esta disposición constructiva el carro es movible tanto vertical como circular y horizontalmente (radialmente). La máquina se presta por ello especialmente para el trabajo de piezas grandes y pesadas. Hay máquinas en las cuales pueden girar tanto el brazo como el carro.

Taladradora de varios husillos (figs. 108,3 y 109,1). Estas máquinas creadas para la fabricación en grandes series van provistas de varios husillos porta-herramientas que trabajan simultáneamente en la misma pieza. Estos husillos pueden estar dispuestos tanto vertical como horizontalmente y también oblicuamente.

Frecuentemente obtienen varios husillos de taladrar sus movimientos de rotación, a través de ejes articulados, desde un husillo común de accionamiento (cabezal taladrador de varios husillos). La distancia de uno a otro de los husillos es por lo general regulable. Para trabajos de taladrado de gran precisión se recomienda la utilización de boquillas fijas en las que quedan guiados con precisión y a distancias invariables los husillos de taladrar.

Taladradora de plantillas (fig. 109,2). En esta máquina puede conseguirse que las distancias entre agujeros o bien las distancias de éstos a una arista tomada como referencia en la pieza sean muy exactas. La mesa de trabajo va a este objeto dispuesta a modo de carro cruzado es décir de tal modo que sea movible en dos direcciones sobre un plano horizontal (taladradora de coordenadas). Por medio de dispositivos ópticos y eléctricos pueden ajustarse los movimientos con 0,001 mm de precisión. Las guías de los carros están trabajadas con extraordinario cuidado. La pinola va guiada en un carro (cabezal de taladrar). Mediante herramientas especiales para el taladrado de plantillas se consigue que la máquina posea un amplio campo de trabajo. Además de los útiles corrientes de taladrar se utilizan muy frecuentemente útiles especiales. Pueden realizarse también trabajos de fresado. Para división de taladros existen mesas redondas especiales que son giratorias y permiten una precisión de división de 5".

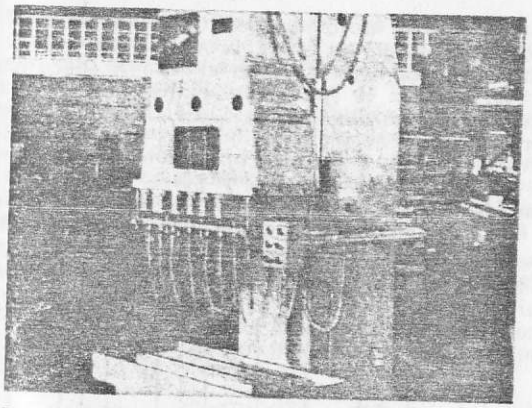


Fig. 109,1 Taladradoras de varios husillos.

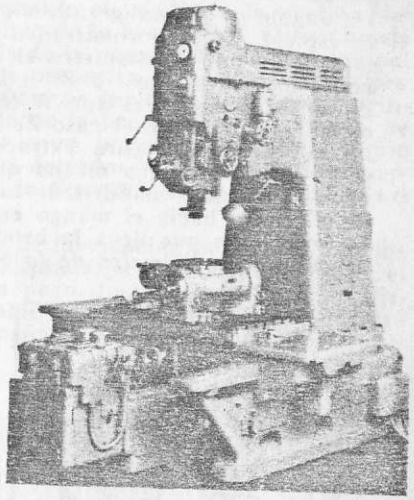


Fig. 109,2 Taladradora de plantillas.

Herramientas de taladrar

Para la ejecución de taladros en material macizo se utilizan, entre otros útiles, la broca de punta, la broca de cañón, la broca de corona, pero sobre todo la broca espiral. Los agujeros ya taldrados previamente o los dejados de fundición se continúan principalmente con barrenas, con útiles para torneado interior o con escariadores.

Materiales. Como materiales de corte para útiles de taladrar se emplean el acero de herramientas, el acero rápido o el metal duro.

Por razones de índole económica se prefiere el acero rápido. El metal duro resulta indicado cuando es de presumir una acción fuertemente abrasiva sobre el filo de la herrāmienta (véase pág. 25).

Por razones de ahorro se hace a veces el vástago de acero de construcción barato y se le suelda a tope una parte cortante hecha de material de alto valor.

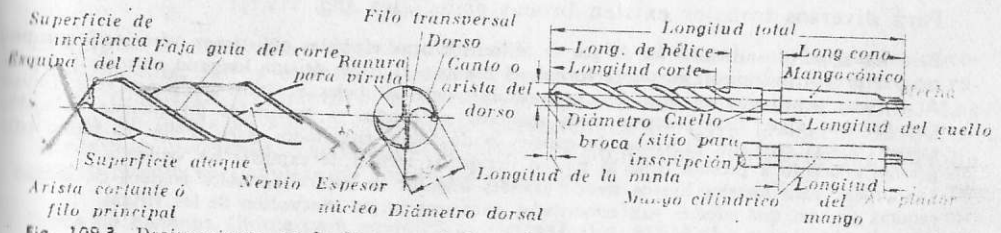


Fig. 109,3 Designaciones en la broca espiral: φ ángulo de la punta, γ_2 ángulo de la espiral, ψ ángulo del filo transversal.

Broca espiral (broca helicoidal). Las denominaciones están normalizadas (fig. 109,3). La longitud del filo transversal viene determinada por el espesor del núcleo (alma) de la broca, que es unos $^2/_{15}$ del diámetro de la broca. Hacia el vástago aumenta considerablemente el espesor del núcleo. El bisel presta a la broca la guía, le disminuye el rozamiento e impide el agarrotamiento de la broca. El ángulo de ataque se hace hacia el eje más pequeño que en la periferia. Este ángulo resulta de la constitución helicoidal de las ranuras para viruta. Esta forma helicoidal es la que facilita la expulsión de virutas. Se llama ángulo de la espiral al ángulo que forma la ranura helicoidal con el eje de la broca.

Un ángulo de ataque grande significa por lo tanto también un ángulo grande de la espiral. Están normalizados los tipos N, H y W de brocas. Para brocas de más de 10 mm de diámetro el ángulo de la espiral es en el tipo N (para materiales normales) igual a 30° ± 5°, en el tipo H (para materiales duros [1]) y frágiles) 13° ± 3° y en el tipo W (materiales blandos [2]) 40° ± 5. El vástago es cónico o, especialmente en el caso de brocas pequeñas, cilíndrico. Los mangos cónicos llevan una mecha para extracción (¡no sirve para acoplamiento y arrastre!) y los cilíndricos una mecha que sirve como acoplador y pieza de arrastre en el portabrocas o mandril de taladrar. La parte cortante de la broca disminuye de diámetro hacia el mango en 0,02 ... 0,08 mm por cada 100 mm de longitud. La rotulación que lleva la broca en la parte que queda enchufada en el porta-brocas indica *diámetro de la broca, tipo de herramienta, material* y *fabricante*.

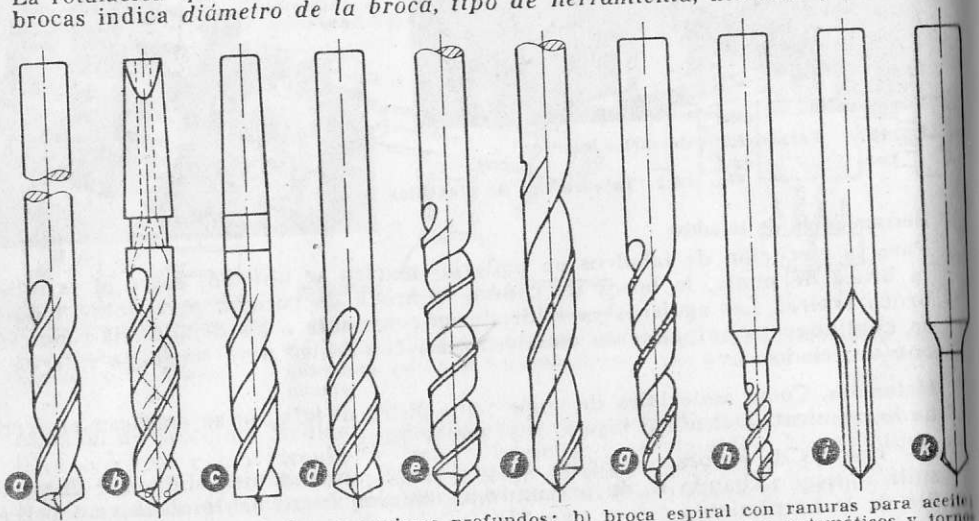


Fig. 110,1 a) Broca espiral para agujeros profundos; b) broca espiral con ranuras para aceite; c) broca espiral con punta de centrado; d) broca espiral corta para tornos automáticos y tornos revólver; e) broca espiral para metal ligero (hélice estrecha); f) broca espiral para materiales muy agrios y duros (hélice ancha); g) broca para agujeros de pasador provista de ranuras rompevirutas. Brocas pequeñas: h) broca espiral; i) broca de ranuras; j) broca de punta.

Para diversos trabajos existen brocas especiales **(fig. 110,1)**:

Para los agujeros anormalmente largos se utilizan brocas espirales que tienen vástagos largos pero ranuras proporcionalmente cortas (a lo más el duplo o el triple de una longitud normal de ranura). Al trabajar tienen que ser estas brocas constantemente aflojadas es decir que tienen repetidamente que retirarse algo. Especialmente para agujeros profundos y materiales difícilmente trabajables existen brocas espirales provistas de canales o de tubos engastados para aceite. El medio refrigerante aportado a presión tiene al mismo tiempo la misión de expulsar las virutas.
Las brocas para metales ligeros tienen grandes ángulos de espiral (grandes ángulos de ataque) y ranuras grandes que además van esmeriladas para una mejor evacuación de las virutas.

Cuanto más agrio (frágil) el material tanto más empinadas han de ser las ranuras.
Las brocas espirales provistas de punta de centrado se utilizan para piezas delgadas (planchas), con objeto de evitar una formación de rebarbas excesivas.
Las brocas muy pequeñas (0,1 ... 2,5 mm ∅) tienen un mango reforzado y se confeccionan en forma de brocas espirales, brocas de ranurar y brocas en punta (DIN 1899).
Las brocas para agujeros de pasador tienen la parte cortante cónica de acuerdo con la conicidad de los pasadores cónicos (cono 1:50). Las brocas de centrado facilitan la confección de piezas de centrajes.

---

[1]) *N. del T.:* La designación H hace referencia a la palabra alemana *Hart* que quiere decir duro.
[2]) *N. del T.:* La letra W hace referencia a la palabra alemana *Weich* = blando.

Solicitación de las brocas espirales (fig. 111,1). Durante el taladrado la presión del corte principal actúa sobre la superficie de ataque de la broca. Esta última queda con ello sometida a esfuerzo de torsión. Además de la presión del corte principal juegan su papel los esfuerzos de fricción que se presentan al pasar la viruta por la superficie de ataque y también en la superficie de incidencia del corte principal y en la periferia. En la dirección del eje de la broca actúa la presión de avance (presión de taladrado) que puede ser muy importante cuando el filo transversal es grande. Especialmente las brocas delgadas resultan con esto fuertemente solicitadas a pandeo. Véase también la **fig. 109,3** en relación con los ángulos de la broca.

La broca de punta (fig. 111,2). Esta broca es barata de fabricación pero tiene muchos inconvenientes. La broca de punta va muy mal guiada, se desvía fácilmente y el taladro resulta poco preciso y de presentación poco limpia. Con el afilado disminuye el diámetro de la broca. El poco favorable ángulo de ataque (0° o incluso áng. negativo) trae consigo una defectuosa formación de viruta y un rápido embotamiento de la broca.

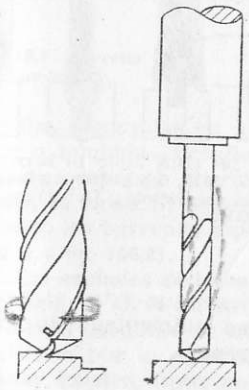


Fig. 111,1 Solicitación de la broca

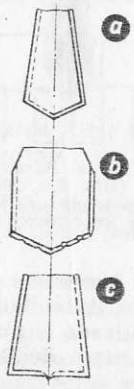


Fig. 111,2 Broca de punta: a) sencilla; b) con una parte que hace de guía; c) con punta de centrado.

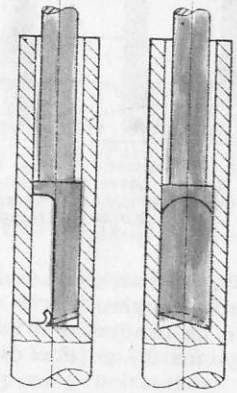


Fig. 111,3 Broca de cañones.

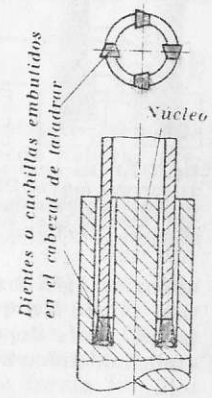


Fig. 111,4 Broca de corona.

El empleo de despulla o destalonado es de 5° ... 6°, el ángulo en la punta, aproximadamente, 120° y cuando se trata de brocas para metales blandos 90°. Las ranuras rompevirutas impiden la formación de virutas demasiado anchas. Las brocas de punta se siguen empleando preferentemente para la ejecución de taladros muy pequeños. Variedades: la broca de punta con una parte que hace de guía y la que va provista de punta de centrado.

Broca de cañones (broca para agujeros profundos) (fig. 111,3). Es adecuada para agujeros profundos. La guía es buena por lo cual el taladro resulta limpiamente ejecutado. La broca corta únicamente por un lado. A veces en el cabezal de cuchillas de la barra de taladrar se utiliza una cuchilla recambiable. También aquí se obtienen mediante ranuras rompevirutas o escalonamiento del filo, virutas menos anchas que se pueden evacuar mejor.

Broca de corona (broca hueca) (fig. 111,4). En el lado frontal de la broca se han fresado dientes; el centro de la broca es hueco. Con esto se consigue que al taladrar se mantenga el núcleo de la pieza. La broca se emplea para agujeros grandes y profundos. De modo parecido a la broca de corona trabajan los cabezales de taladrar con cuchillas postizas.

Útiles de barrenar

Barrena de espiral (fig. 112,1 a). La barrena de espiral se utiliza para el barrenado de agujeros previamente taladrados o dejados de fundición. La constitución y el modo de trabajar de estos útiles es igual que los de la broca espiral, pero generalmente tienen tres filos. Con ello resulta la herramienta mejor guiada y no se desvía tan fácilmente, es decir no se separa tan fácilmente del eje del taladro, el ángulo en la punta es de unos 120°. En realidad en lugar de una punta lo que lleva la barrena de espiral es una cara frontal cuyo diámetro es de magnitud

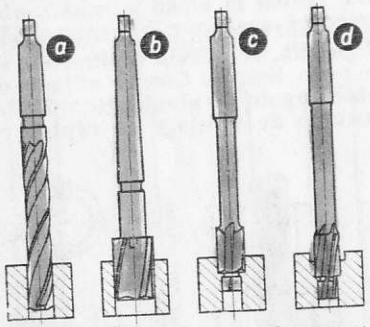


Fig. 112,1 Herramientas de barrenar: a) barrena espiral DIN 343; b) barrena para enchufar en el mango, DIN 222, 8022, 217, c) barrena de cabeza DIN 370, 373; d) barrena de cuello, DIN 372, 375.

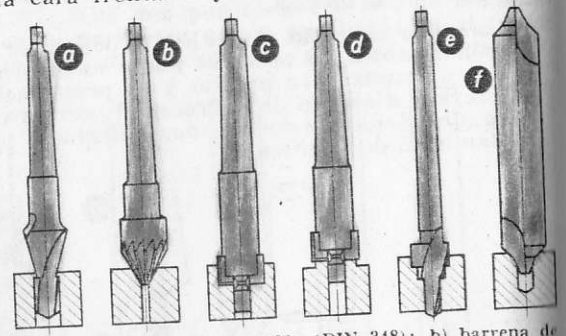


Fig. 112,2 a) Barrena de 30° (DIN 348); b) barrena de punta (DIN 334, 381, 335, 347); c) barrena plana; d) barrena plana; e) barrena escalonada; f) barrena para taladro de centro (DIN 321).

aproximada a las $^2/_3$ del diámetro de la barrena.
Con objeto de que la barrena corte sin dificultades tiene que estar el agujero previamente dejado de fundición o taladrado a diámetro suficientemente grande (mínimo diámetro unos 0,7 d [d = diámetro de la barrena]).

Se distingue entre barrenas de medida total y barrenas de medida inferior. Con las primeras se taladra el agujero a su medida final. Si se quiere que el agujero tenga una mayor precisión y mejor calidad superficial, después de ser barrenado se les escariará; se emplea entonces la barrena de medida inferior que según el diámetro del agujero tendrá una diferencia de medida (por defecto) de 0,2 ... 0,4 mm.

Diferencias de medida por defecto según DIN 343 y 344 (edición 1955):

Para agujeros de	4,8 ... 10 mm	0,2 mm
Para agujeros de	10 ... 30 mm	0,25 mm
Para agujeros de	30 ... 50 mm	0,4 mm

Barrenas enchufables (fig. 112,1 b). Para agujeros con gran diámetro se emplean barrenas enchufables, que provistas de un taladro cónico, pueden ser enchufadas en la espiga de un mango. Con objeto de que se produzca el arrastre va dispuesto un chavetero con su correspondiente chaveta. Esta clase de barrenas tienen generalmente cuatro filos. Por lo demás el modo de trabajar es el mismo que el de las barrenas espirales. Los agujeros previamente trabajados pueden, a lo más, ser $^1/_3$ del diámetro de la barrena menores que ésta.

Barrenas de cabeza y de cuello (figs. 112,1 c y d). Se realizan con ellas penetraciones cilíndricas para tornillos de cabeza cilíndrica. Para la guía sirve una espiga (barrena de espiga o de gorrón). Con barrenas de cabeza se realiza como hemos dicho penetraciones para alojar las cabezas cilíndricas de tornillos. Según que el gorrón entre aquí en el agujero que constituye el núcleo del tornillo o bien en el agujero pasante, su diámetro será de diferente magnitud.
Con la barrena de cuello se hace la penetración para alojar la parte del tornillo desprovista de rosca (cuello de tornillo).

Para la ejecución de barrenados para alojar la cabeza de tornillos cónicos (avellanado, propiamente tal) se emplea una barrena con un ángulo de 30° y espiga o gorrón **(fig. 112,2 a).**

Barrena de punta (fig. 112,2 b). Las barrenas de punta sirven para la ejecución de ensanchamiento cónico de agujeros tales como, por ejemplo, los taladros de centrado, alojamientos para tornillos avellanados o para remaches. Muchas veces se utilizan también para el desbarbado de agujeros. Según sea la utilización que haya de tener el ensanchamiento, el ángulo en la punta de la barrena será de 30°, 45°, 60°, 75°, 90° o de 120°. Las barrenas están constituidas por muchos filos. Con objeto de que en las pequeñas penetraciones quede en la punta suficiente sitio para alojar las virutas los dientes de esta punta van entallados de forma alternada.

Barrena plana (figs. 112,2 c y d). Se utiliza para refrentar cubos o tetones para conseguir en ellas una superficie a la que se adapten bien las tuercas de los tornillos, las cabezas de los pernos, etc., etc. Como herramientas se usan cuchillas planas

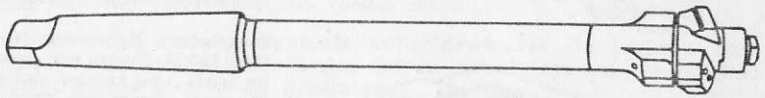


Fig. 113,1 Barrena con mandril.

sencillas dispuestas en una barra o eje de taladrar, o herramientas en forma de disco o también cuchillas espirales de barrenar. Para guía puede haberse previsto una espiga o gorrón.

Barrena de forma. Si la penetración tiene que tener una determinada forma, entran en juego las barrenas especiales como por ejemplo la barrena semiesférica **(figuras 112,2 e y fig. 106,2).**

Cuchillas espirales de barrenar y barrenas o brocas para avellanar (fig. 113,1). Para guía en el agujero sirve un casquillo o manguito. Si se ha de barrenar sin guía en lugar del citado casquillo se utiliza una arandela de apoyo. Para barrenar, los filos se mantienen por lo general en forma oblicua. Para agujeros ciegos o también para aplanar existen tipos con filos rectos y para penetraciones de forma los filos tienen un perfil adecuado a éste.

Escariadores (fig. 113,2).
Sirven los escariadores para la obtención de taladros exactos, lisos y limpios.

De acuerdo con los distintos fines perseguidos existen los siguientes tipos:
1. Escariadores manuales fijos o ajustables, con vástago cilíndrico y un cuadro. Tienen filos rectos y entrada larga.
2. Escariadores para máquina o ajustables con mango cilíndrico o cónico. Los filos son más cortos que en los escariadores manuales. La entrada es corta y está redondeada.
3. Escariadores enchufables, fijos o ajustables.
4. Escariadores para agujeros ciegos con entrada muy corta.

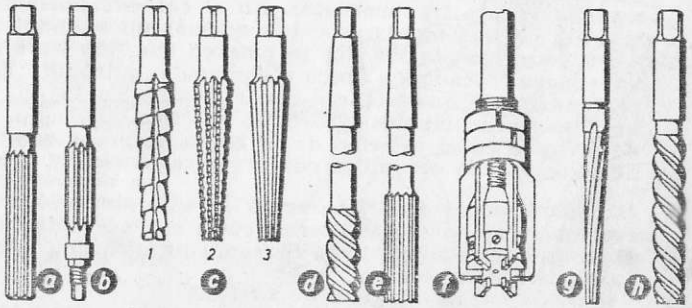
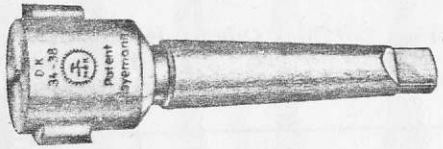


Fig. 113,2 Tipos de escariadores: a) escariador manual; b) escariador ajustable; c) escariador cónico (1, escariador de desbastado; 2, escariador de trabajo previo; 3, escariador de acabado); d) escariador de máquina con ranuras helicoidales; e) escariador de máquina con ranuras rectas; f) escariador de máquina, ajustable; g) escariador para agujeros de remaches; h) escariador de descortezar.

5. Escariadores con entrada especial de descortezar para uso en el trabajo de ciertos materiales.
6. Escariadores con filos helicoidales. Se utilizan para taladros con interrupciones o con ranuras longitudinales y también para conos muy afilados. El sentido de giro del escariador es opuesto al del paso de la hélice con objeto de que el escariador no pueda introducirse o engancharse en la pieza.
7. Escariadores cónicos y escariadores para agujeros de clavijas o pasadores. Los escariadores cónicos se utilizan generalmente formando juegos de tres piezas, a saber: escariador de desbastado, escariador de preparación o escariador de trabajo previo y escariador de acabado. Los dos primeros escariadores, es decir el desbastador y el previo, tienen filos escalonados o interrumpidos para evitar la formación de virutas demasiado anchas.

Los números de dientes de los escariadores son números pares. Los dientes están colocados por parejas en posición opuesta. El hecho de que la división de dientes sea desigual evita las vibraciones **(fig. 87,1)**.



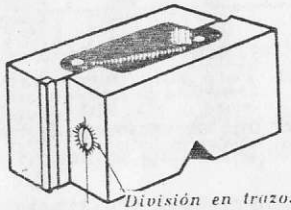


Fig. 114,1 Escariador Koyemann y pareja de cuchillas escariadoras.

La entrada del escariador sirve para el arranque de virutas y la parte cilíndrica para alisar. Para acero, fundición maleable y bronce es decir para materiales tenaces y blandos, la entrada es corta, para fundición gris, para materiales duros y para agujeros pasantes se escoge un escariador de entrada larga.

Escariador Koyemann (escariador de máquina) (fig. 114,1). Posee este escariador, a diferencia de los hasta aquí citados, únicamente un par de cuchillas cuya disposición pendular en el cuerpo de la herramienta permite una compensación completa de la presión de corte y contrarresta determinadas faltas de exactitud en lo que respecta a la disposición coaxial del útil y la peiza. Los filos se pueden ajustar al diámetro exacto mediante un pálmer o un calibre de herradura. El campo de ajuste del escariador es distinto para los diferentes tamaños y es por ejemplo en el tipo DK 34 ... 38 mm ø de modo que todos los agujeros dentro de este campo pueden obtenerse con precisión de ajuste.

Sujeción de los útiles de taladrar

Los útiles de taladrar provistos de mango cónico se colocan directamente en el husillo portaútil. Cuando se trata de herramientas de poco cono se utilizan manguitos intermedios. La herramienta es arrastrada en virtud del rozamiento entre las superficies cónicas de la herramienta y del manguito portaútil de la máquina. Con objeto de que los conos trabajen a este respecto del arrastre correctamente no deberán estar deterioradas sus superficies. Antes de enchufar la herramienta en la otra habrán de ser cuidadosamente limpiadas. La mecha que llevan los vástagos cónicos no son para su arrastre, sino para extracción de la herramienta por medio de un botador de cuñas, después del uso. El husillo o el manguito portaútil va provisto a este efecto de una abertura convenientemente trabajada.

Las brocas o barrenas con vástago cilíndrico se sujetan en los portaherramientas mediante dos o tres mordazas. En el caso de portabrocas o portabarrenas universales de tres mordazas existe además un manguito moleteado. Las mordazas del soporte cuando son dos se mueven con una llave de cuadradillo a través de un vástago roscado. La broca o barrena se introduce en el portaherramientas tan profundamente que tropiece con el fondo. En los portabrocas de dos mordazas hay con frecuencia dos superficies en cuña que se oprimen contra las superficies de arrastre en el extremo de la broca. A veces se emplean también manguitos de sujeción con casquillos cónicos y ranurados y tuercas tapón o de mangueta.

Hay portabrocas o portabarrenas de sujeción rápida **(fig. 115,1)** que facilitan el recambio rápido de las herramientas sin necesidad de que se tenga que parar el husillo de taladrar. Cada herramienta utilizada tiene aquí su correspondiente vaina de acoplamiento.

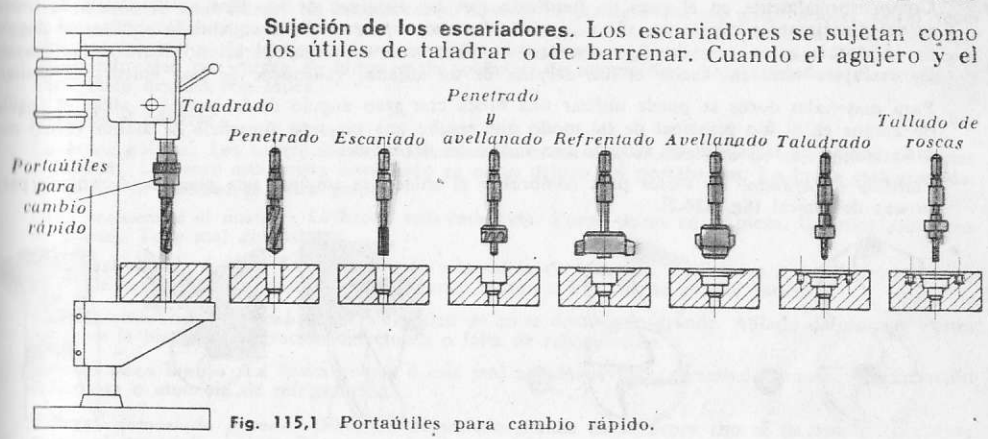


Fig. 115,1 Portaútiles para cambio rápido.

Sujeción de los escariadores. Los escariadores se sujetan como los útiles de taladrar o de barrenar. Cuando el agujero y el escariador no tienen los ejes exactamente coincidentes se da lugar a que el agujero final resulta más ancho delante que detrás. Se obtiene una coincidencia segura de ejes empleando una vaina pendular.

Si se emplea una espiga portaherramientas con escariador recambiable o enchufable es ventajosa la presencia de un anillo de presión en caso de que la espiga sea cónica. Cuando se calienta el escariador se aprieta éste, de lo contrario, demasiado fuertemente contra la espiga. El anillo de presión se atornilla, antes de proceder al escariado, ligeramente contra el escariador que se acaba de enchufar.

Taladrado

Elección de la broca espiral. Se rige por lo que respecta al ángulo de la espiral, el diámetro de la broca y el ángulo de la punta de acuerdo con el material de la pieza (véanse apartados de Herramientas).

Las brocas para materiales que dan viruta larga tienen un ángulo de espiral grande y las que se usan para materiales de viruta corta, por el contrario, tienen un ángulo pequeño de espiral.

Toda broca incluso las que están correctamente afiladas hacen taladros de diámetro algo mayor que el que debiera corresponder al suyo. Para los diversos materiales resultan en esto diferencias, por ejemplo, los taladros resultan más grandes en la fundición gris que en el acero. Cuando se trata de aluminio, por ejemplo, una broca de 15 mm Ø hace un taladro de 15,5 mm Ø. Muchas materiales prensados se exceptúan de esta regla general pues en ellos se llega a un enclavamiento de la broca y ello exige el empleo de un bisel más estrecho.

Afilado de la broca espiral. Resulta difícil afilar a mano las brocas de espiral y resulta mejor emplear para ello un montaje adecuado **(fig. 115,2)**. El ángulo de afilado posterior, o de destalonado, o de despulla, es en la periferia de unos 6º y en la punta de unos 22º. La broca debe ser afilada a su debido tiempo. El bisel producido por el desgaste en una broca embotada no debe tener anchura superior a los 0,2 ... 0,3 mm. Con objeto de disminuir en los casos de grandes diámetros la presión en dirección axial, se acorta el filo transversal afilando la punta de tal modo que aquél no resulte mayor que el 7 ... 8 % del diámetro de la broca. Es recomendable proceder, al mismo tiempo que a aumentar la punta de la broca, a corregir el filo principal con objeto de que el ángulo de ataque resulte en el centro de la broca más favorable es decir, más grande **(fig. 116,1)**.

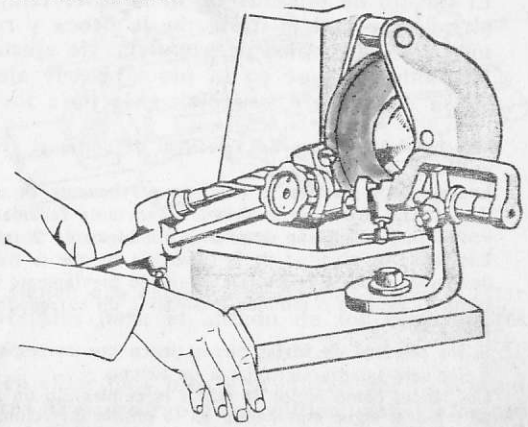


Fig. 115,2 Montaje de afilar, para brocas de espiral.

Como especialmente en el caso de fundición gris las esquinas de los filos se desgastan de modo extraordinariamente rápido, se afilan aquéllos frecuentemente de modo quebrado a 60° y el ángulo de incidencia α se agranda algo. La broca obtiene con esto una duración notablemente mayor. Es ventajoso también, vaciar el filo después de un afilado, valiéndose de una «piedra al aceite».

Para materiales duros se puede utilizar una broca con gran ángulo de la espiral y afilar el ángulo de ataque en el filo principal de tal modo que resulte una pequeña superficie de ataque (bisel) con gran ángulo de la espiral de acuerdo con la dureza del material.

Plantilla de afilado. Lo mejor para comprobar el afilado es emplear una plantilla de afilado para brocas de espiral **(fig. 116,2)**.

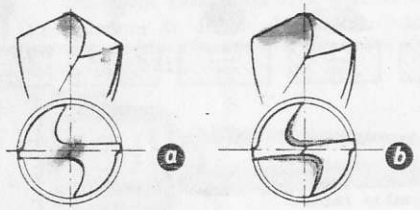


Fig. 116,1 Filo transversal apuntado (a); con filo principal corregido (b).

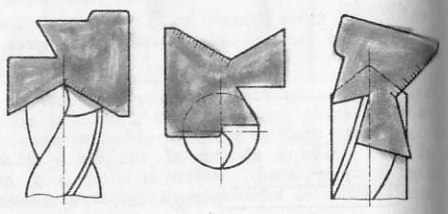


Fig. 116,2 Plantilla de espiral para brocas de espiral.

Defectos en el afilado

1. El ángulo en la punta es demasiado agudo o demasiado obtuso.
   El taladro resulta poco limpio, la formación de virutas no resulta favorecida. En una broca correctamente afilada, las aristas de corte aparecen rectas. El ángulo en la punta resulta por esto de magnitud diferente de acuerdo con la inclinación de la hélice.
2. Las aristas de los filos tienen longitudes desiguales: El agujero resulta demasiado grande, la broca corta mal y tiene una guía defectuosa.
3. Las aristas de los filos tienen ángulos desiguales: el agujero no resulta exacto, la broca se desgasta unilateralmente.
4. El ángulo de despulla es demasiado pequeño: la broca oprime, se presentan fuertes fricción y calentamiento.
5. El ángulo de despulla es demasiado grande: la broca se engancha, se desvía, se rompe fácilmente.

Máquinas. Para agujeros pequeños se deben usar máquinas pequeñas de gran velocidad.
Condición previa para ejecutar taladros impecables es que el giro del husillo de taladrar sea exactamente redondo. Es posible una comprobación por medio de espiga calibre y reloj de medición (la desviación no debe ser superior a 0,03 mm). El husillo de taladrar no debe tener tampoco juego axial alguno. Especialmente al taladrar podría desviarse la broca y romperse. El juego axial puede evitarse mediante el empleo de arandelas de ajuste.
Mediante un tope en la pinola puede ajustarse la profundidad de perforación. (Cosa importante, especialmente para los agujeros ciegos).

Marcha del trabajo: La velocidad de corte, el avance y el medio refrigerador pueden escogerse utilizando tablas.
Los agujeros grandes se taladran previamente de acuerdo con el espesor del núcleo de la broca ($^2/_{15}$ d). La broca no se desviará con tanta facilidad, el trabajo de arranque de viruta resulta más ventajoso y la presión de avance notablemente disminuida.
Las faltas de planitud de la superficie en que se trabaja, o sus oblicuidades, conducen fácilmente a desviaciones de la broca. De aquí que previamente deberían eliminarse las faltas de planitud y centrarse el agujero o también proceder a un barrenado refrentador (o a un trabajo previo con barrena esférica).
Si los taladros de varias piezas tienen que corresponderse exactamente los unos sobre los otros, lo mejor será taladrarlas todas a un tiempo.
Las roscas como mejor se tallan es empleando un aparato especial para roscar. Mientras el husillo de taladrar sigue marchando en la misma dirección, al elevarlo sale el macho de roscar del taladro girando en sentido opuesto.

No siempre es fácil extraer las brocas rotas. A veces se consigue hacerlo golpeándolas. Otras veces es necesario taladrar para ello por el extremo opuesto un pequeño agujero. Otras veces hay que eliminar los restos de broca mediante erosión por chispas eléctricas (véase pág. 203) o también calentando bien por medio de lámpara de soldar o de un mechero para soldadura electrógena y extrayendo después con broca.

Defectos al taladrar

La broca golpea: Las superficies de contacto de la broca con el elemento de sujeción están sucias o dañadas. La broca está sujeta demasiado en corto dentro del portabrocas. La broca está curvada. El husillo de taladrar es quien golpea.

Gran resistencia al avance: La broca está embotada. Zonas duras en la pieza, la broca está llena de virutas. Tope mal ajustado.

Broca estropeada o rota: Excesivo avance a la salida de la broca, sopladuras o cavidades en el interior de la pieza. Afilado defectuoso. Avance excesivo. Presión de avance excesivo.

Broca prematuramente embotada: Velocidad de corte demasiado grande. Afilado defectuoso. Partes duras en la pieza. Refrigeración defectuosa o falta de refrigeración.

Taladro poco limpio: La broca golpea o está mal afilada. Avance demasiado grande. Refrigeración defectuosa o ausencia de refrigeración.

Taladro demasiado grande: Diámetro demasiado grande de la broca (no se ha tenido en cuenta quizás el material). Afilado incorrecto. La broca golpea.

Barrenado

Con objeto de que la broca trabaje sin dificultades, todos los filos tienen que estar igualmente afilados.

Las barrenas de espiga o de gorrón no deben entrar ni con demasiada holgura ni demasiado prietas en el agujero de guía. La espiga de guía debe aceitarse bien.

Para barrenar es conveniente principiar por taladrar previamente a 0,8 ... 0,9 d (d = diámetro del taladro acabado). Si el taladro que se trata de barrenar es demasiado pequeño o si está fuera del eje del taladro habrá que barrenar previamente con una barrena de menor diámetro (véase págs. 111 y 112 brocas espirales y brocas para enchufar).

La velocidad de corte se elige para barrenar (en toda la longitud del agujero) y para penetrar, aproximadamente ⅓ y para barrenado de refrentado ½ de la usada para taladrar.

La profundidad de barrenado se puede ajustar mediante un tope en la máquina. Si en un mismo taladro hay que hacer varios barrenados lo que se hace es empezar por el de más diámetro.

En muchos casos pueden realizarse trabajos de barrenado empleando brocas de espiral desgastadas o rotas.

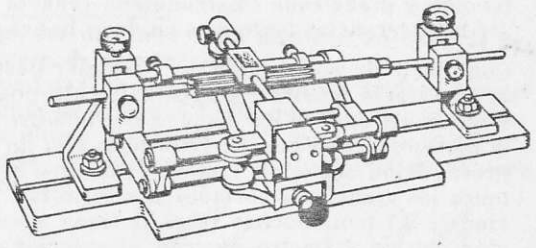


Fig. 117,1 Aparato para afilar escariadores.

Escariado

Herramientas. Los filos del escariador tienen que estar libres de melladuras y estar bien afilados. Existen aparatos especiales para el afilado de los escariadores **(fig. 117,1)**.

Los filos de las herramientas se pueden afilar muy bien y producen por lo general taladros muy limpios. Los escariadores de acero rápido se utilizan especialmente para materiales duros o fuertemente abrasivos.

Usando el mismo escariador el agujero que resulta en la fundición gris es, por ejemplo, mayor que el conseguido en el acero. Es conveniente por eso emplear escariadores desgastados para fundición gris y análogos, es decir para materiales quebradizos (agrios).

Marcha del trabajo. El exceso que se deje en el taladro no debe elegirse demasiado grande para el escariado. En el caso de taladros pequeños es aproximadamente de 0,2 mm y en los grandes hasta 1 mm (aproximadamente 0,01 d).
La velocidad de corte puede ajustarse en $^1/_3$ de la que se emplearía para taladrar y el avance en unos 0,3 ... 3 mm.
Como medio lubricante se emplea, para aceros no aleados, acero colado y fundición maleable, el aceite refrigerante; para aceros aleados o para bronce se emplea aceite de corte, para el aluminio y aleaciones de aluminio aceites refrigerantes, petróleo o trementina. La fundición gris, el bronce, la tumbaga (o latón rojo), el latón y el electrón pueden ser escariados en seco.
Los escariadores embotados deben ser afilados a su *debido tiempo*.
Frecuentemente se emplean con ventaja escariadores previos y después escariadores de acabado.
El escariador no debe ser nunca girado al revés pues los filos se romperían.

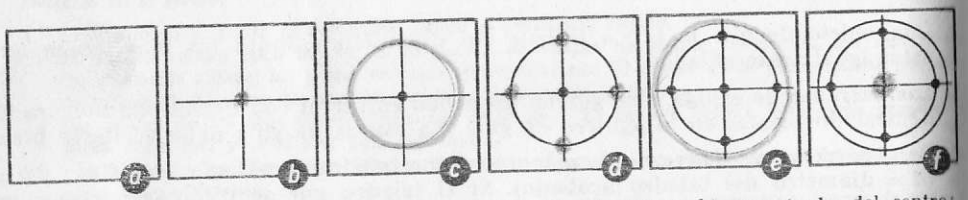


Fig. 118,1 Trazado y graneteado de taladros. a) trazado del centro; b) graneteado del centro; c) trazado de la circunferencia de control (diámetro del taladro); d) graneteados de control; e) trazado de la circunferencia mayor para control (circunferencia de comprobación); f) repaso del graneteado para centrado del taladro (graneteado de centrado).

Trazado y graneteado (fig. 118,1)

Antes de proceder a taladrar es muy frecuente fijar los ejes o centros mediante trazado y graneteado (marcado con granete o punzón). Cuanto menores hayan de ser las tolerancias tanto más cuidado habrá que poner en estos trabajos.

Con objeto de poder observar cualquier desviación de la broca respecto al centro al empezar a taladrar, y eventualmente poderla compensar, se traza una circunferencia de control del tamaño del taladro y se granetea en cuatro puntos. Estos granetazos tienen que ser realizados con un granete agudo (granete de trazar) y a profundidad uniforme. Cuando el taladro está correctamente realizado aparecerán todos los granetazos cortados por su mitad. Se aprecian a simple vista discrepancias de 0,1 mm. Muchas veces se traza además otra circunferencia de comprobación con un diámetro superior al anterior en 3 ... 4 mm.

El granetazo central debe dar a la broca una primera guía. Es decir que deberá hacerse lo suficientemente grande. Sobre todo no deberá ser el ángulo de la punta demasiado pequeño. Lo mejor es granetear primeramente con un punzón puntiagudo y repasar después el granetazo con otro de ángulo más obtuso.

Mientras se comienza el taladro se comprueba si se ha desviado la broca. Los defectos podrán todavía corregirse a golpes de granete o mediante retoques con un cincel agudo.

Velocidad de corte y número de revoluciones al taladrar

La *velocidad de corte* al taladrar es igual a la velocidad periférica en m/min de un punto situado en el contorno exterior de la broca. En una revolución realiza el punto el recorrido $d \cdot \pi$ (d en m) y por lo tanto en n revoluciones por minuto $n \cdot d \cdot \pi$ metros. La velocidad de corte v es pues como en el fresado y el torneado $v = d \cdot \pi \cdot n$ en m/min o poniendo d en milímetros:

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

Para el número de revoluciones sale de aquí:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{d \cdot \pi}$$

Avance

El avance se saca de tablas o se determina mediante ensayos. Cuanto más grande sea el diámetro de la broca tanto mayor podrá elegirse el avance. Como orientación pueden servir las siguientes ecuaciones:

Para acero: $s = \frac{1}{100}\sqrt{30 \cdot d}$ en mm, para fundición gris: $s = \frac{1}{100}\sqrt{50 \cdot d}$ en mm

Acerca de tiempo de duración y longitud de duración véase la pág. 17.

Cálculo del tiempo principal en el taladrado. Si el avance por cada revolución de la broca es de s mm, y si la broca da por minuto n revoluciones, obtendremos para el recorrido realizado por el avance en 1 minuto (velocidad de avance):

$$s' = s \cdot n$$

Si la broca ha de realizar un recorrido total L en su avance y si es i el número de taladros ejecutados obtendremos el tiempo necesario para ello (tiempo principal) de la fórmula:

$$t_{princ.} = \frac{L \cdot i}{s \cdot n}$$

Si se pone para n la expresión $n = v, 1000/d \cdot \pi$ se obtendrá:

$$t_{princ.} = \frac{L \cdot d \cdot \pi \cdot i}{s \cdot v \cdot 1000}$$

Esta ecuación no puede, sin embargo, ser utilizada nada más que en caso de regulación sin escalonamiento del número de revoluciones.
El recorrido total del avance L se compone de la profundidad de agujero l y del trayecto que tiene que realizar la punta de la broca hasta que ésta llegue a estar en pleno corte (**fig. 119,1**). Para esta última magnitud suele contarse con $^1/_3$ del diámetro de la broca aproximadamente. Se obtiene: L = profundidad de agujero más recorrido de la punta de la broca.

$$L = l + \frac{1}{3} d$$

El valor $^1/_3$ d es sólo aproximadamente correcto. La longitud de la punta depende especialmente del ángulo de la misma. Se obtiene con gran exactitud (**fig. 119,2**) (sin tener en cuenta el filo transversal) de la siguiente expresión:

$$x = \frac{d}{2} \cdot \cot \frac{\varphi}{2}$$

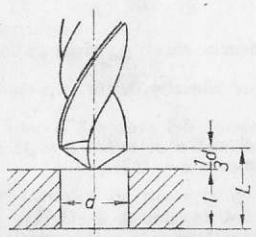


Fig. 119,1 Tiempo principal al taladrar.

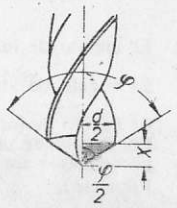


Fig. 119,2 Cálculo de la altura de la broca.

$$x = \frac{d}{2} \cdot \cot \frac{\varphi}{2}$$

Ejemplo:

Hay que taladrar 350 agujeros de 24 mm ∅ y 40 mm de profundidad cada uno en material St 50 con $v = 30$ m/min. Calcúlese el tiempo principal. Números de rev disponibles: 22; 36; 56; 90; 140; 224; 355; 560 y 900 rev/min. Avances disponibles: 0,04; 0,09; 0,13; 0,2; 0,27; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,5 mm/rev.

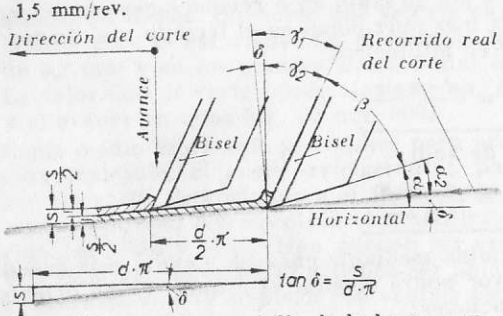


Fig. 120,1 Angulos en el filo de la broca. α_1 = ángulo de incidencia en la periferia de la broca; α_2 = ángulo de incidencia eficaz; δ = ángulo de inclinación del avance; γ_1 ángulo de ataque eficaz en la periferia de la broca; γ_2 ángulo de la espiral en la periferia de la broca; β ángulo de filo; s, avance; $s/2$ espesor de la viruta. El movimiento circunferencial de los filos en la periferia de la broca se ha representado como si fuera rectilíneo.

Solución:

Número de revoluciones

$$n = \frac{v \cdot 1000}{d \cdot \pi} = \frac{30 \text{ m/min} \cdot 1000}{24 \text{ mm} \cdot 3{,}14} \approx 397 \text{ 1/min}^{1)}$$

se elige: $n = 355$ 1/min

Tiempo principal

$$L = l + \frac{1}{3} d = 40 \text{ mm} + 8 \text{ mm} = 48 \text{ mm}$$

$$s = 0{,}01 \sqrt{30 \cdot d} = 0{,}01 \sqrt{30 \cdot 24}$$
$$= 0{,}01 \cdot 26{,}83 \approx 0{,}27 \text{ mm/rev}$$

$$t_{princ.} = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} = \frac{48 \text{ mm} \cdot 350}{0{,}27 \text{ mm} \cdot 355 \text{ 1/min}}$$
$$= 175{,}22 \text{ min}$$

Ejercicios:

1. ¿Qué valor tiene el tiempo principal en el ejemplo último si en lugar de considerar para valor de longitud de punta de la broca $^1/_3 \cdot d$ se considera $x = d/2 \cdot \cot \varphi/2$? ($\varphi = 118°$)
2. ¿Qué valor tiene el tiempo principal en el mismo ejemplo para el caso de regulación sin escalonamiento del número del número de revoluciones? ($s = 0{,}27$ mm/rev; longitud de punta de la broca, $^1/_3$ d).
3. En las instrucciones de manejo de una taladradora se da para el taladrado de un agujero de 30 mm ∅ en material macizo, para el acero St 60, un número de revoluciones $n = 265$ rev/min y para el bronce un número de revoluciones $n = 400$ 1/min. ¿Qué magnitudes tendrán las velocidades de corte que se hayan tenido en cuenta para el caso del acero citado y del bronce? Compárense los valores hallados con los que da una tabla. ¿En qué % es en este caso mayor la velocidad de corte del bronce que la del acero?
4. Se trata de taladrar 280 agujeros con $d = 28$ mm ∅ y $l = 38$ mm cada agujero. Material: GG-18, $v = 38$ m/min.
   El avance hay que determinarlo de acuerdo con lo indicado en la pág. 119; para longitud de la punta de la broca hay que considerar el valor $l/3$ d.
   a) ¿Qué magnitud tendrá el tiempo principal, si el número de vueltas y el avance son los indicados como disponibles en el ejemplo de antes?
   b) ¿Qué magnitud tiene el tiempo principal en el caso de regulación sin escalonamiento del número de revoluciones y del avance?
   c) ¿Cuántas veces habrá que afilar la broca en caso de una longitud de duración normal (2000 mm)?

Influencia del avance sobre los ángulos en los filos de la broca

El movimiento real de corte en la broca espiral no es circular, sino helicoidal. El ángulo de incidencia eficaz α_2 se hace con ello menor y el ángulo de ataque eficaz γ_1, mayor (**fig. 120,1**).

El ángulo de inclinación del avance δ se calcula por la expresión:

$$\text{tg } \delta = \frac{s}{d \cdot \pi}$$

El ángulo de incidencia eficaz α_2 viene dado por $\alpha_2 = \alpha_1 - \delta$.

El ángulo de ataque eficaz γ_1 viene expresado por $\gamma_1 = \gamma_2 + \delta$.

El ángulo de inclinación del avance δ es muy pequeño especialmente cuando el avance también lo es. En el caso de un diámetro de broca $d = 15$ mm ∅ y de un avance $s = 0{,}5$ mm/rev ese ángulo vale por ejemplo únicamente $\delta \approx 0{,}7°$.

Ejercicio:

¿Qué valor tienen los ángulos de incidencia α_2 y de ataque γ_1 eficaces para un diámetro de broca $d = 12$ mm ∅ y un avance $s = 0{,}3$ mm/rev? El ángulo de la espiral en la broca $\varphi = 30°$ y el ángulo de incidencia $\alpha_1 = 6°$.

---

1) rev/min se escribe en ecuaciones de dimensiones 1/min.

Consumo de potencia en la taladradora

Al taladrar actúan esfuerzos de torsión o giro y esfuerzos de avance (presión de taladrado) que tienen que ser aportados por la máquina.

Si nos imaginamos que el esfuerzo de giro F actúa en el centro de la sección transversal de viruta de cada filo (**fig. 121,1**), se obtendrá como momento de giro en cada filo $F/2 \cdot d/4$ y por lo tanto ambos filos un momento de giro

$$M_d = \frac{F \cdot d}{4}$$

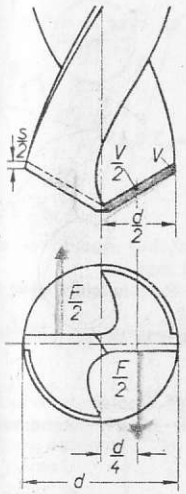


Fig. 121,1 Secciones de viruta y momento de giro en la broca espiral.

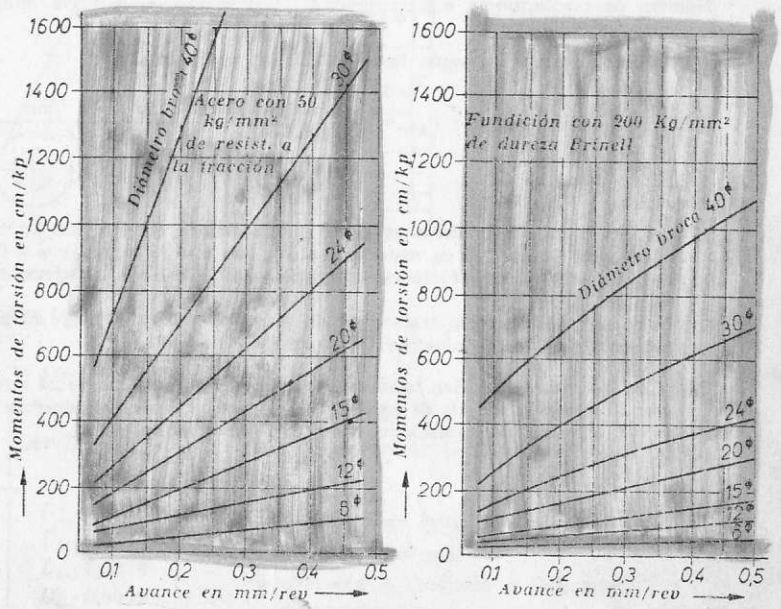


Fig. 121,2 Momentos de giro en función de los diámetros de broca y de los avances al taladrar acero y hierro fundido.

La velocidad v en el punto de aplicación de la fuerza es solamente la mitad que en la periferia de la broca (**fig. 121,1**).

Si sustituimos ahora en las ecuaciones generales para cálculo de potencia

$$P_{CV} = \frac{F \cdot v}{75 \cdot \eta} \quad \text{o bien} \quad P_{kW} = \frac{F \cdot v}{102 \cdot \eta} \quad \text{en vez de F su valor } F = \frac{4 \cdot M_d}{d}$$

$$\text{y en vez de } v \text{ su valor} \quad v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{2 \cdot 100 \cdot 60} \qquad (d \text{ en cm})$$

y si se tiene además en cuenta el rendimiento η se tendrá:

$$P_{CV} = \frac{4 \cdot M_d \cdot d \cdot \pi \cdot n}{d \cdot 75 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 60 \cdot \eta}; \quad P_{kW} = \frac{4 \cdot M_d \cdot d \cdot \pi \cdot n}{d \cdot 102 \cdot 2 \cdot 100 \cdot 60 \cdot \eta} \quad \text{o bien}$$

$$P_{CV} = \frac{M_d \cdot n}{71\,620 \cdot \eta}; \quad P_{kW} = \frac{M_d \cdot n}{97\,400 \cdot \eta}; \quad (M_d \text{ en cmkp, } n \text{ en } ^1/\text{min}$$

Los momentos de giro se determinan mediante un medidor de potencia de corte. Dependen del material, del diámetro de la broca y del avance (**fig. 121,2**).

El esfuerzo de avance (presión de taladrado) es relativamente pequeño. Viene a significar solamente 2...4 % del consumo de potencia de la taladradora y puede por ello despreciarse.

El rendimiento en máquinas de taladrar es aproximadamente $\eta = 0{,}75 \ldots 0{,}9$.

Ejemplo:

Se trata de hacer con una taladradora agujeros de 20 mm ∅ en acero St 50 empleando una velocidad de corte de $v = 25$ m/min y un avance $s = 0{,}3$ mm/rev. ¿Qué magnitud tendrá que tener la potencia de accionamiento de la taladradora en kW siendo el rendimiento $\eta = 0{,}8$? Números de revoluciones disponibles: $n = 67, 95, 134, 188, 265, 374, 525, 740, 1045, 1480, 2080, 2940$ rev/min.

Solución:

Número de revoluciones: $n = \frac{v \cdot 1000}{d \cdot \pi} = \frac{25 \text{ m/min} \cdot 1000}{20 \text{ mm} \cdot 3{,}14} = 398\ ^1/\text{min}$, se elige $n = 374\ ^1/\text{min}$

El momento de giro es, según **figura 121,2**, $M_d = 430$ cm kp.

Potencia de accionamiento: $P_{kW} = \frac{M_d \cdot n}{97\,400 \cdot \eta} = \frac{430 \text{ cmkp} \cdot 374\ ^1/\text{min}}{97\,400 \cdot 0{,}8} \approx 2{,}1$ kW

Ejercicios:

1. En una pieza de fundición gris con dureza Brinell igual a 200 kp/mm² hay que hacer unos taladros de 30 mm ∅ en material macizo, con $v = 38$ m/min y $s = 0{,}4$ mm/rev.
   Los números de revoluciones disponibles son como en el ejemplo. Rendimiento $\eta = 0{,}85$ **(fig. 121,2)**.
   Calcúlese: a) la sección transversal de viruta para los dos filos; b) potencia de accionamiento necesaria para la máquina, en CV y en kW.

2. ¿Con qué avance podrían taladrarse en acero St 50 agujeros de 24 mm ∅ empleando velocidad $v = 30$ m/min si se trata de emplear a fondo una máquina taladradora de 3,8 kW? Rendimiento $= 0{,}8$; números de revoluciones como en el ejemplo **(fig. 121,2)**.

Distancia entre agujeros al taladrar

No siempre pueden medirse las distancias entre agujeros tal como están acotadas en el dibujo. En este caso habrá que hacer cálculos de conversión. Para las mediciones de control puede ser también útil esta conversión **(fig. 123,1)**.

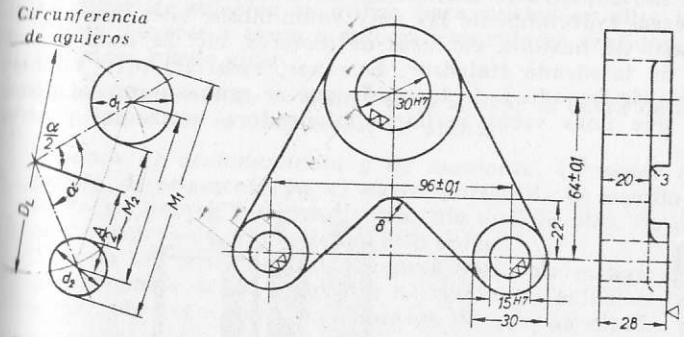


Fig. 123,1 Distancia entre agujeros. **Fig. 123,2** Palanca angular.

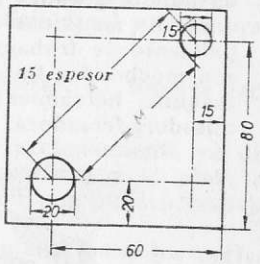


Fig. 123,3 Placa de base con taladros.

$\text{sen}\,\frac{\alpha}{2} = \frac{A/2}{D_L/2} = \frac{A}{D_L}$; $\quad A = D_L \cdot \text{sen}\,\frac{\alpha}{2}$

$M_1 = A + \frac{d_1 + d_2}{2}$; $\quad M_2 = A - \frac{d_1 + d_2}{2}$

Dispos. agujeros en circunf. de agujeros	$\frac{\alpha}{2}$	$A = D_L \cdot \text{sen}\,\frac{\alpha}{2}$
3 esquinas	60°	$D_L \cdot 0{,}8660$
4 esquinas	45°	$D_L \cdot 0{,}7071$
5 esquinas	36°	$D_L \cdot 0{,}5878$
6 esquinas	30°	$D_L \cdot 0{,}5000$
8 esquinas	22,5°	$D_L \cdot 3827$

Distancia A entre centros de agujero en ordenación regular sobre la circunferencia de centros cuyo diámetro es D_L (véase **fig. 123,1**).

Ejemplo (fig. 123,2)

Se trata de determinar las distancias A, M_1 y M_2.

Solución:

Según el teorema de Pitágoras se tiene:

$A^2 = 64^2 \text{ mm}^2 + 48^2 \text{ mm}^2 =$
$= 4096 \text{ mm}^2 + 2304 \text{ mm}^2 = 6400 \text{ mm}^2$

$A = \sqrt{6400 \text{ mm}^2} = 80$ mm

$M_1 = A + \frac{d_1 + d_2}{2} = 80 \text{ mm} + 22{,}5 \text{ mm} = 102{,}5$ mm

$M_2 = A - \frac{d_1 + d_2}{2} = 80 \text{ mm} - 22{,}5 \text{ mm} = 57{,}5$ mm

Ejercicios:

1. Calcúlese la distancia entre agujeros de la **fig. 123,3**.
2. Calcúlese en la pieza de la **fig. 123,2** la cota A, cuando la distancia entre los centros de los agujeros inferiores es de 96,1 mm en vez de 96 mm y la segunda distancia entre agujeros exactamente de 64 mm. ¿Entre qué límites tendrá entonces que mantenerse A si se quiere observar una tolerancia 64 ± 0,1? Establézcase el mismo estudio para la cota 96 — 0,1 = 95,9.
3. Sobre una circunferencia de centros de agujeros en la que el diámetro es $D_L = 350$ mm se han dispuesto a) 7 y b) 9 agujeros de ∅ 25 mm a distancias iguales entre sí. Calcúlense las distancias A de los centros de agujero así como las cotas M_1 y M_2.

Arranque de viruta con taladradoras horizontales

Mediante taladradoras horizontales se mecanizan (se trabajan con arranque de viruta) las grandes piezas, especialmente las muy voluminosas tales como bastidores de máquinas, cajas de husillos, carcasas de motores, etc. Se trata principalmente de trabajos de taladrado (taladrar, barrenar, escariar) pero también son muchos los trabajos de fresado y de torneado que se realizan con la misma máquina herramienta que unas veces se llama taladradora horizontal y otras alisadora-fresadora.

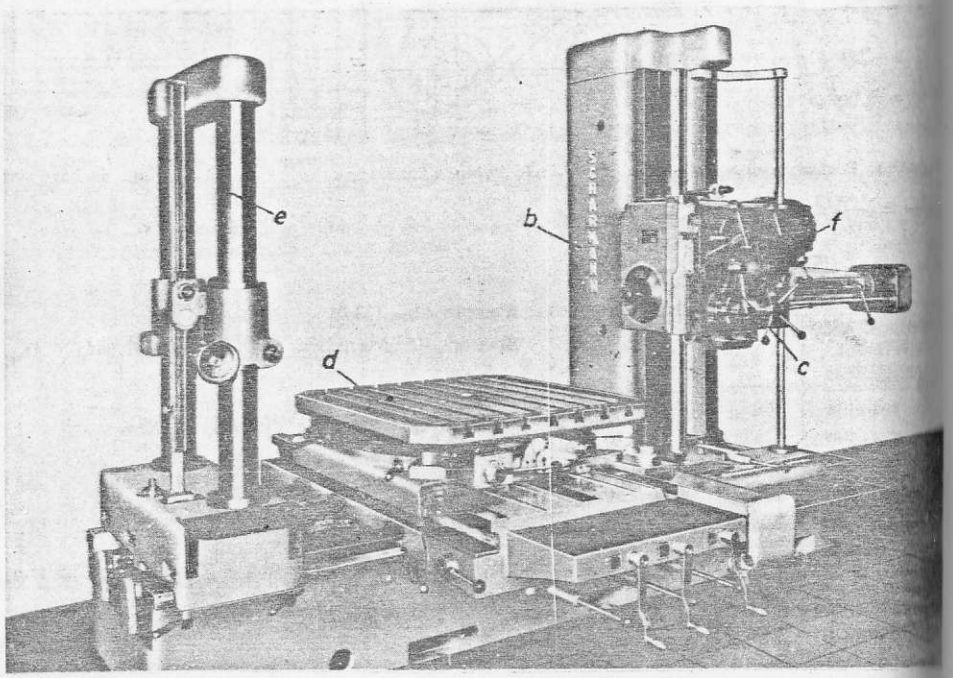


Fig. 124,1 Taladradora horizontal con bastidor fijo (taladradora de mesa).

Taladradoras horizontales

Se distingue entre taladradoras horizontales con bastidor fijo y taladradoras horizontales con bastidor móvil.

Taladradora horizontal con bastidor fijo (fig. 124,1). Partes principales: bancada (*a*), bastidor principal (*b*), carro de taladrar (*c*), mesa de sujeción (*d*), bastidor auxiliar (*e*), (*f*) órganos de accionamiento y de maniobra.
La *bancada* soporta todas las demás partes de la máquina. Se construye robusta y ancha. Unas nervaduras bien estudiadas le dan la suficiente resistencia y rigidez.
Sobre el *bastidor principal* desliza, a lo largo de guias especiales para ello, el carro de taladrar o carro portaútil. La forma de cajón, robusta y bien nervada interiormente, hace posible en la máquina un trabajo exento de sacudidas.

El *carro portaútil* o *carro de taladrar* (cabezal principal) soporta los útiles en el husillo portaútil o por medio de un plato de torno (plato de arrastre) y hace posible el establecimiento de los necesarios movimientos de rotación y de avance. El carro de taldrar se traslada verticalmente y el husillo portaútil horizontalmente.

La *mesa de sujeción* se utiliza para sujetar en ellas las piezas (ranuras en T). Puede moverse a mano o automáticamente en sentidos longitudinal y transversal e incluso puede girar.

El *bastidor auxiliar* se utiliza para apoyar la barra de taladrar. El soporte necesario para ello es desplazable en altura.

Órganos de accionamiento y de maniobra. El motor de accionamiento va dispuesto directamente en el carro portaútil. El husillo portaútil y el plato de torno se mueven independientemente uno de otro. Es decir que pueden trabajar con números de revoluciones diferentes.
Además las modernas taladradoras horizontales han adoptado todos los perfeccionamientos de las máquinas herramientas actuales, como por ejemplo servicio o maniobra centralizados, conexión de marcha rápida, regulación del número de

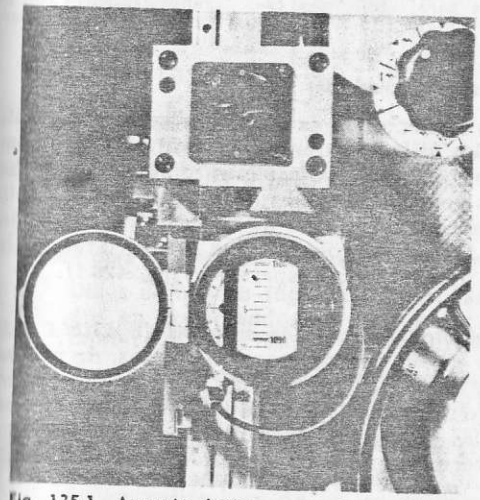


Fig. 125,1 Aparato óptico para ajuste de precisión (Hensoldt).

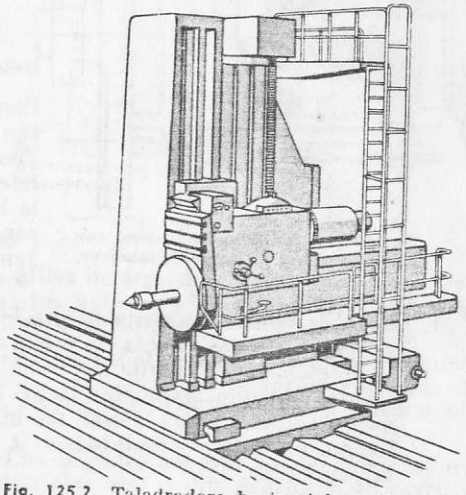


Fig. 125,2 Taladradora horizontal con bastidor móvil.

revoluciones sin escalonamiento, lubricación automática, posibilidad de ajuste de precisión (escalas y dispositivos ópticos) **(fig. 125,1)**.

El bastidor principal con el carro de bancada están dispuestos a la derecha o a la izquierda. Para la disposición a la derecha (maniobra a la derecha), se aduce por las firmas constructoras como ventaja la de que los órganos de maniobra pueden entonces accionarse con la mano derecha, es decir, de modo más cómodo.

Taladradoras horizontales con bastidor móvil (fig. 125,2). Para piezass muy grandes y pesadas resulta a veces ventajoso realizar los necesarios movimientos de aproximación, de ajuste y de avance con el bastidor o con el carro de taladrar. El bastidor desliza entonces a lo largo de las correspondientes guias de la bancada. La pieza se coloca entonces sobre una placa de sujeción que no va firmemente unida a las demás partes de la máquina. Por lo demás la constitución es análoga a la de la máquina de bastidor fijo.

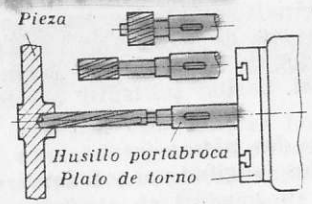


Fig. 126,1 Taladrado con brocas de espiral, escariado, barrenado.

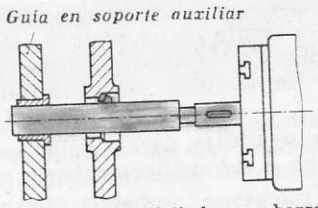


Fig. 126,2 Mandrilado con barra de taladrar (portabit para interiores) con el útil para interiores.

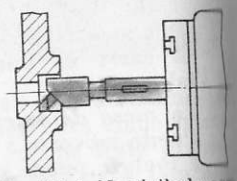


Fig. 126,3 Mandrilado con barra de taladrar interiores, de cabeza.

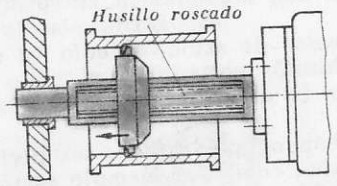


Fig. 126,4 Mandrilado con cabezal de taladrar y barra para interiores automática.

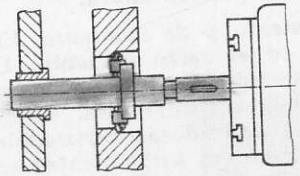


Fig. 126,5 Mandrilado con barra de taladrar para interiores y cabezal.

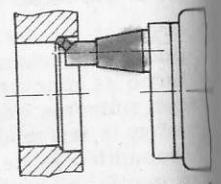


Fig. 126,6 Mandrilado de grandes taladros con soporte del cincel sujetado en el plato de torno.

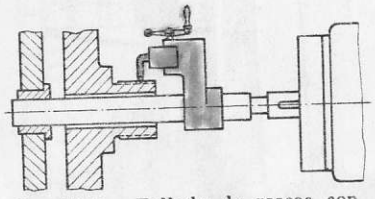


Fig. 126,7 Tallado de roscas con montaje sobre la barra de taladrar.

Útiles para taladrar

Para la ejecución de pequeños taladros se utilizan los útiles corrientes de taladrar, que se emplean también en otras máquinas herramientas, tales como la broca espiral, la broca de punta, la barrena, el macho de rosca y los escariadores. Para agujeros mayores o más largos existen herramientas especiales **(fig. 126.1)**.

1. **Barra de taladrar (o portabit para interiores) provista de cuchillas (figs 126,2 y 3).** Mientras que las barras de taladrar cortas (barras para interiores, de cabeza) se sujetan en el husillo de trabajo mediante el cono de la herramienta únicamente, se guían las barras largas con el soporte o bastidor auxiliar de la máquina (luneta). Para alojar los útiles se utilizan mecanizados especiales realizados en la barra de taladrar. A veces se prevén roscas «ad hoc» para insertar cuchillas.

2. **Barra de taladrar con casquillo (Koyemann) (fig. 129,3).** En la barra de taladrar se puede disponer también un par de cuchillas de fricción para el escariado exacto de los taladros. En vez del par de cuchillas de fricción es también posible insertar cuchillas de taladrar para obtener un taladrado exacto.

3. **Barra automática para mandrilar interiores (fig. 126,4).** Para la obtención de taladros grandes y muy largos no basta el movimiento longitudinal del husillo de la máquina. Para estos casos existen barras de taladrar automáticas que se fijan en el plato de torno. En la barra de taladrar hay un cabezal que recibe el movimiento de avance mediante un husillo roscado.

4. **Cabezales de mandrilar (figs. 126,5 ... 7).** Para taladros con mucho diámetro (por encima de los 200 mm aprox.) tendrían que ser las barras de taladrar proporcionalmente gruesas o bien las cuchillas sobresaldrían mucho y flexarían. Por esto es preferible emplear en estos casos cabezales de mandrilar que se ajusten sobre la barra y puedan ir dotados de cuchillas cortas y robustas.

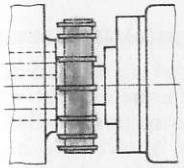


Fig. 127,1 Fresado con cabezal de cuchillas.

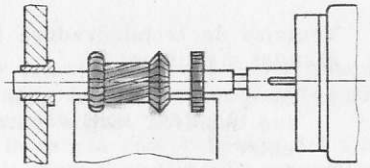


Fig. 127,2 Fresado con juego de fresas.

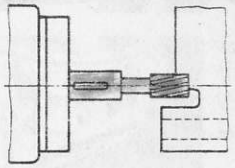


Fig. 127,3 Fresado con fresa de vástago.

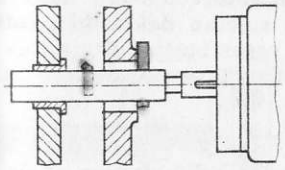


Fig. 127,4 Aplanado con cuchilla plana.

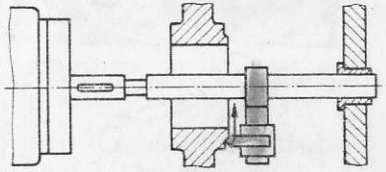


Fig. 127,5 Refrentado mediante carro de brida, de un brazo.

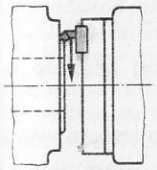


Fig. 127,6 Refrentado con carro transversal.

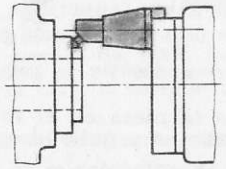


Fig. 127,7 Cilindrado exterior.

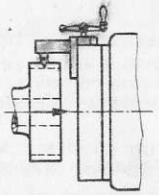


Fig. 127,8 Tallado de roscas con carro transversal.

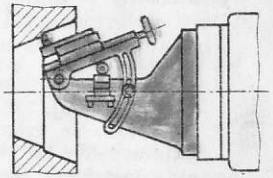


Fig. 127,9 Torneado cónico.

Utiles para la ejecución de superficies planas

1. **Útiles de fresado (figs. 127,1 ... 3).** Los útiles de fresado corrientemente empleados en las fresadoras, y en especial los cabezales de cuchillas, encuentran también aplicación en las taladradoras horizontales.

2. **Cuchillas planas, cuchilla de broca espiral (fig. 127,4).** Para el aplanado de cubos se utilizan cuchillas planas, insertadas en barras de taladrar, cuchillas de brocas espirales, barrenas con filos rectos, etc. Las curvaturas pueden obtenerse con cuchillas de redondear.

3. **Carro rotatorio de bridas (fig. 127,5).** Las grandes superficies de cubos se trabajan valiéndose de un carro rotativo con uno o dos brazos. Este carro se dispone o bien directamente sobre el husillo de taladrar o sobre la barra de taladrar. Para el avance automático la rueda de trinquete que va unida al carro golpea durante la rotación del carro sobre un perno auxiliar corrientemente fijado a la mesa. Es decir que el avance se conecta intermitentemente.

4. **Carro transversal (figs. 127,6 ... 8).** Este carro consiste en una corredera plana en la cual puede ser movido automáticamente en dirección radial el carro porta-herramientas con la herramienta durante el movimiento de rotación del plato de torno.

5. **Dispositivo para torneado cónico (fig. 127,9).** Para el torneado cónico en la taladradora se necesitan dispositivos especiales, o bien se atornillan en el carro transversal, o bien se fijan en la barra de taladrar.

6. **Cabezal universal para planear y para tornear interiormente (Wohlhaupter).** Con este montaje se puede planear o refrentar y también, tronzar destalonando, hacer torneado cónico, tornear de forma y tallar roscas. Posee un desenganche automático de final de carrera para el avance **(fig. 128,1)**.

Fig. 128,1 Cabezal universal de Wohlhaupter para planear y para tornear interiormente.

Ventajas de la taladradora horizontal frente a otras grandes máquinas:

1. Se pueden obtener con ella con mucha exactitud taladros largos paralelos o perpendiculares entre si.
2. La máquina es de aplicaciones muy variadas. Frecuentemente puede la pieza mecanizarse totalmente sobre esta misma máquina.
3. Las piezas grandes se sujetan de modo relativamente sencillo. Muchas veces basta con una sola sujeción para realizar varios procesos de trabajo.

Ajuste de la máquina

Para taladrar hace falta que el eje del husillo portabrocas coincida con el eje del taladro de la pieza.
Para determinar la distancia del taladro a una superficie de trabajo o bien la distancia de unos taladros a otros se vale uno de diversos procedimientos:

1. En muchos casos basta el ajuste por medio de la punta del granete según trazado **(fig. 128,3)**.
2. Cuando se emplee un montaje se fija la pieza en el mismo mientras que se determina la posición del útil mediante una guia (casquillo-guia o casquillo de taladrar) **(fig. 128,5)**.
3. Muy sencillo y generalmente bastante exacto es el ajuste según escalas de la máquina y esto tanto en dirección longitudinal como en dirección transversal **(fig. 128,4)**.
4. Se obtienen resultados muy precisos con el empleo de calibres normales de caras paralelas **(fig. 128,6)**.
5. Para determinación de distancias entre taladros se utiliza muy frecuentemente una espiga o mandril auxiliar **(fig. 128,7)**.
6. Proporcionan servicios muy buenos los elementos de ajuste de precisión dispuestos en el carro de la máquina **(fig. 128,6)** como por ejemplo micrómetros de reloj que pueden usarse muy bien en combinación con calibres normales de caras paralelas o con aparatos opticos **(figs. 129,1 y 125.1)**.

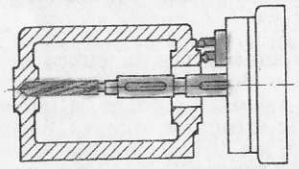


Fig. 128,2 Taladrado con husillo de taladrar y casquillo de alargamiento asi como planeado simultáneo con dos cuchillas y carro de refrentar.

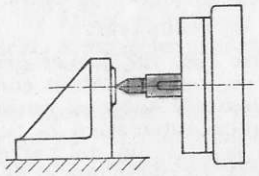


Fig. 128,3 Ajuste con punta de granete de acuerdo con trazado.

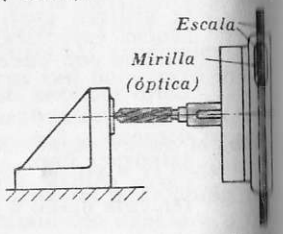


Fig. 128,4 Ajuste mediante escalas de la máquina.

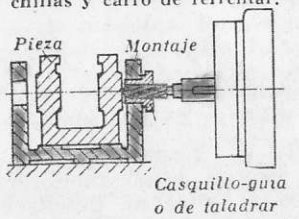


Fig. 128,5 Ajuste mediante montaje.

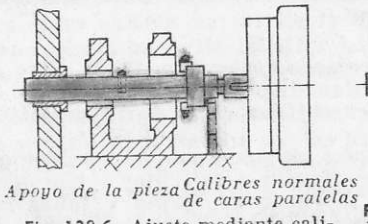


Fig. 128,6 Ajuste mediante calibres normales de caras paralelas.

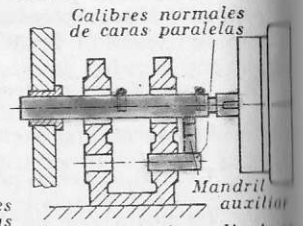


Fig. 128,7 Ajuste mediante calibres normales de caras paralelas y mandril auxiliar.

Ajuste de la herramienta

En las barras de taladrar sencillas hay que poner a medida la cuchilla mediante golpes cuidadosamente dados. Es mejor el empleo de tornillos especiales de ajuste o el de monturas de expansión **(figs. 129,3 y 5)**.
Se han acreditado para la exacta comprobación del ajuste de precisión, los micrómetros de reloj con pie magnético (jinetillo magnético) **(fig. 129,4)**.
Los escariadores Koyemann tan apropiados para la consecución de taladros de precisión pueden ajustarse con ayuda del pálmer o del calibre de herradura (véase pág. 114).

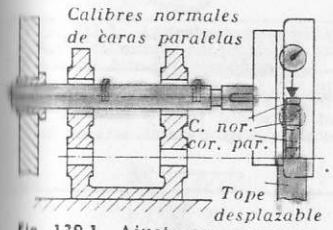


Fig. 129,1 Ajuste con micrómetros de esfera en la máquina y calibres normales de caras paralelas.

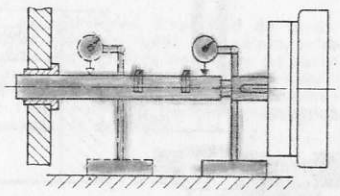


Fig. 129,2 Comprobación del paralelismo entre el apoyo de la pieza y la barra de taladrar.

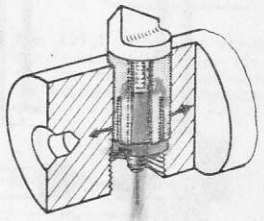


Fig. 129,3 Montura de expansión en la barra de taladrar.

Comprobación de barras de taladrar en cuanto a giro redondo y paralelismo

Se utiliza para esto el micrómetro de reloj lo mismo que en otras máquinas-herramientas **(fig. 129,2)**.

Sujeción de la pieza

Cuanto más grande y de pared más delgada sea la pieza tanto mayor el peligro de que se deforme al sujetarla en la máquina. Las piezas tienen que ser apoyadas y soportadas con especial cuidado.
Hay aparatos especiales de sujeción tales como placas, basculantes, escuadras y mesas de sujeción con accionamiento eléctrico, que pueden proporcionar notables aligeramientos y ventajas en la operación de sujetar la pieza **(fig. 129,6)**.

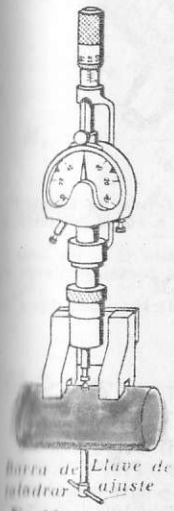


Fig. 129,4 Jinetillo magnético con instrumento medidor de precisión.

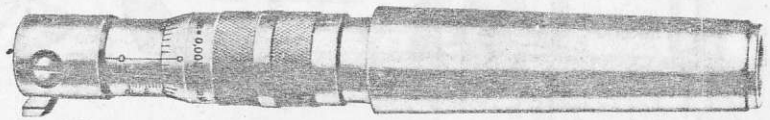


Fig. 129,5 Barra de taladrar de precisión.

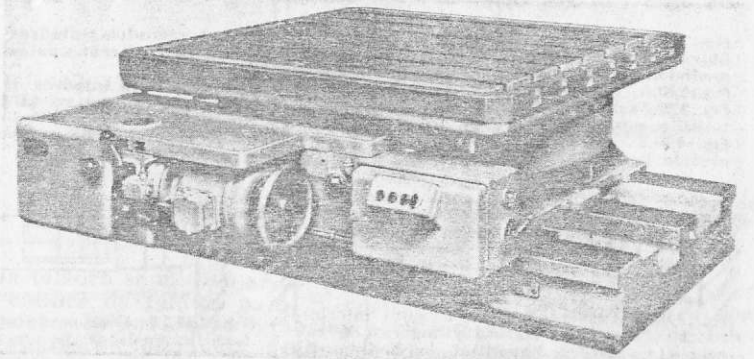


Fig. 129,6 Mesa de sujeción con accionamiento eléctrico.

Medición y comprobación de taladros (figs. 130,1 ... 10; 131,1 ... 4: 132,1 ... 3)

Los buenos taladros tienen que ofrecer una superficie limpia, mantener las medidas pedidas y ser exactamente redondos y cilíndricos. A veces tiene una especial importancia la correcta posición del taladro en la pieza.

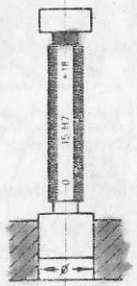


Fig. 130,1

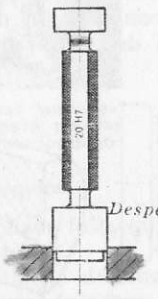


Fig. 130,2

Fig. 130,3

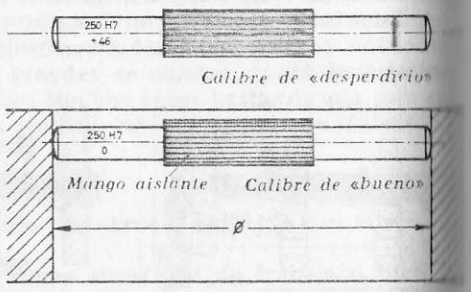


Fig. 130,4

Fig. 130,1 Calibre de tolerancia macho. Cilindro de 1 mm Ø ... 100 mm Ø.
Fig. 130,2 Calibre de tolerancia macho con saliente de «pre-guía». Este saliente en el lado «bueno» facilita la introducción del mandril en el taladro.
Fig. 130,3 Calibre de tolerancia macho de un solo lado. El lado «bueno» y el de «desperdicio» se hallan dispuestos en el mismo extremo del instrumento.
Fig. 130,4 Calibre de tolerancias de extremos esféricos con agarradera aislante. Para taladros de 100 mm Ø ... 500 mm Ø. Los mangos aislantes (negro para el lado «bueno», rojo para el de «desperdicio») evitan la influencia de la temperatura al medir.

Fig. 130,5

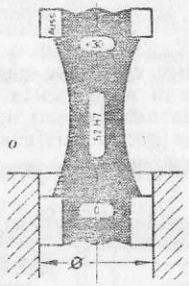


Fig. 130,6

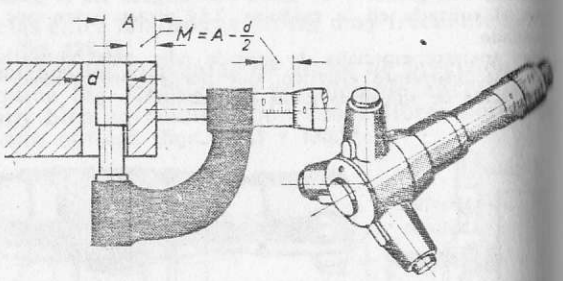


Fig. 130,7

Fig. 130,8

Fig. 130,5 Calibre de tolerancias macho para taladros cerrados (taladros en fondo de saco). Con objeto de que pueda salir el aire se ha dispuesto en la periferia una estría o en el cilindro de medición un taladro.
Fig. 130,6 Calibre de tolerancias macho de forma plana. Para taladros de 8 mm Ø ... 100 mm Ø.
Fig. 130,7 Medición de la distancia del agujero partiendo de una arista de la pieza mediante el tornillo especial.
Fig. 130,8 Tornillo para medición de interiores con tres superficies de medición. Exactitud de medida hasta 0,005 mm.

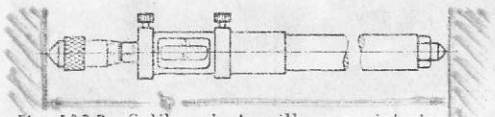


Fig. 130,9 Calibre de tornillo para interiores con micrómetro de esfera y marcas de tolerancia ajustables. Exactitud de medidas 0,01 mm. Para taladros de 200 mm Ø...1400 mm Ø (con empleo de alargaderas).

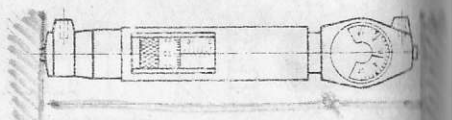


Fig. 130,10 Calibre de puntas para cilindros con tornillo medidor de precisión. Exactitud de medida 0,01 mm. Para taladros desde 150 mm Ø ... 4000 mm Ø y más.

La superficie se comprueba en el taller por simple contemplación visual de la misma o por medio de palpación con los dedos. Para la exacta comprobación de la calidad superficial se han desarrollado diversos procedimientos (ver páginas 194 ... 198).

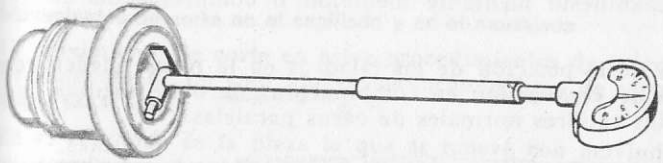


Fig. 131,1 Aparato para medición de interiores. Exactitud de medidas 0,01 mm y en pequeños taladros también 0,001 mm. Para taladros de 5 mm Ø ... 800 mm Ø. Ajuste con calibres normales de caras paralelas en el mango o con anillo calibrador. Mediante un dispositivo centrador (puente de centrado) resulta el aparato auto-centrante es decir que al medir no hace falta con ello hacer movimientos pendulares lateralmente para conseguir el centrado.

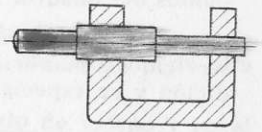


Fig. 131,2 Modo de verificar la coincidencia de ejes en los taladros mediante un mandril de comprobación.

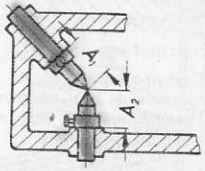


Fig. 131,3 Modo de verificar la posición del punto de intersección de los ejes de dos taladros que se cortan, empleando puntas de granete y anillos calibradores.

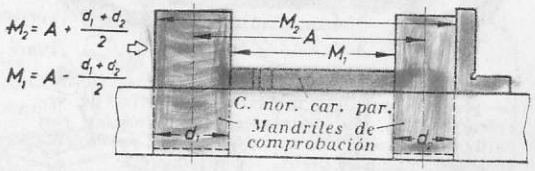


Fig. 131,4 Verificación de la distancia de agujeros con mandriles de comprobación y calibres normales de caras paralelas.

El cálculo de las cotas (**fig. 131,5**) se lleva a cabo empleando las siguientes relaciones:

$$M_1 = A_1 + A_2 - \frac{d_2}{2}$$

$$= M_2 + \frac{d_1}{2} + A_2 - \frac{d_2}{2}$$

$$M_2 = A_1 - \frac{d_1}{2}$$

$$M_3 = A_2 - \frac{d_1}{2} - \frac{d_2}{2}$$

$$A_2 = M_1 - M_2 - \frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2}$$

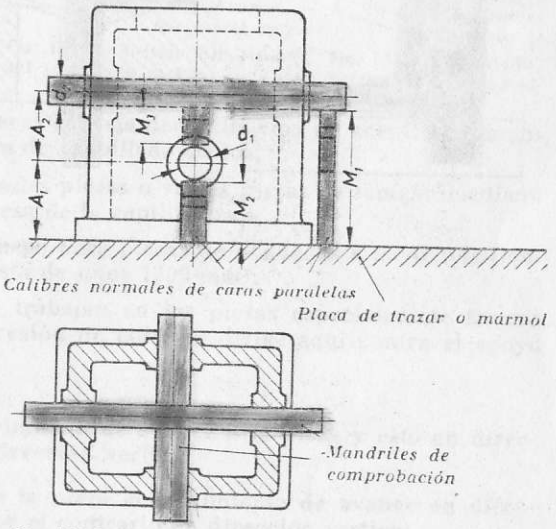


Fig. 131,5 Comprobación de las distancias de ejes de taladros que se cruzan empleando mandriles de verificación y calibres normales de caras paralelas.

El diámetro de un taladro se mide o se comprueba mediante pies de rey, pálmer para interiores, calibre de puntas para cilindros, calibre para interiores con micrómetro de esfera, calibres de tolerancias para interiores (calibres de tolerancia machos, calibres de tolerancia machos de forma plana, calibres de extre-

mos esféricos), aparatos para medición de interiores, compás para interiores y compás de precisión para interiores.

La discrepancia con respecto a la forma circular de la sección o cilíndrica del taladro se pone de manifiesto mediante medición o comprobación de varios puntos del taladro.

Para la comprobación de la posición de los taladros en la pieza pueden rendir servicio los mandriles de verificación en combinación con otros medios de medición y en especial los calibres normales de caras paralelas.

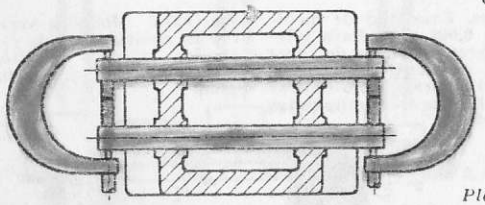


Fig. 132,1 Medición de las distancias de taladros de posición paralela mediante mandriles de verificación. En vez de medir las distancias con calibres normales de caras paralelas puede emplearse también el pie de rey o pálmer.

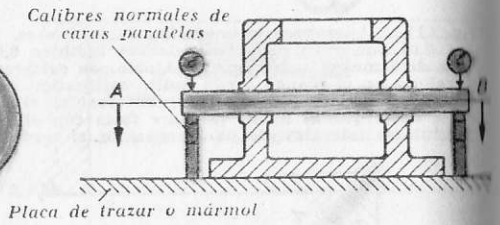


Fig. 132,2 Comprobación de la posición de los taladros paralelos con mandril de verificación y calibres normales de caras paralelas o con micrómetros de esfera.

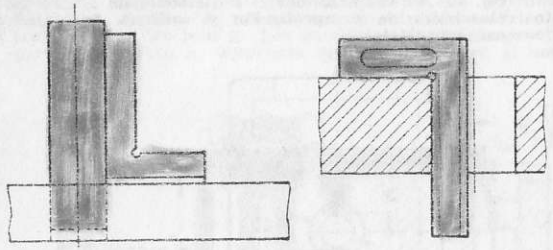


Fig. 132,3 Comprobación de la posición perpendicular de taladros con mandril de verificación y escuadra normal o escuadra de precisión (de pelo).

Arranque de viruta por cepillado y mortajado

Movimientos de corte en el cepillado y en el mortajado

El movimiento de corte en estos procedimientos de mecanizado es rectilíneo; la herramienta de un solo filo va arrancando tiras de viruta una después de otra (**figs. 133,1 ... 3**).

En el *cepillado* es la pieza la que se mueve con movimiento de vaivén y en el *mortajado* por el contrario es la herramienta la que se mueve. Es decir que para cada corte se necesitan una carrera de trabajo y otra en vacío.

En el *cepillado* se trabaja por lo general sólo horizontalmente y en el *mortajado* por el contrario tanto horizontal como verticalmente.

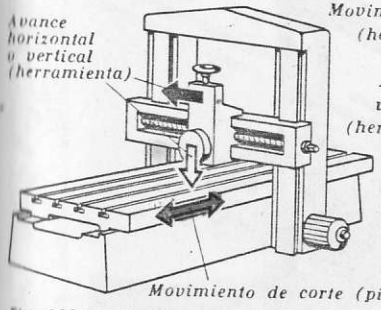


Fig. 133,1 Cepillado (cepillado largo).

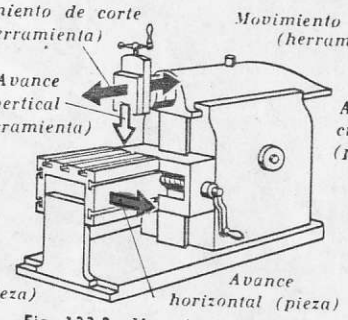


Fig. 133,2 Mortajado horizontal (cepillado corto).

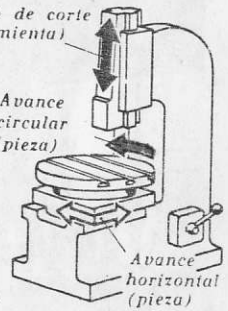


Fig. 133,3 Mortajado vertical (mortajado).

En vez de cepillado se emplea a veces la vieja denominación de «cepillado largo» y en vez de mortajado horizontal la de «cepillado corto».

Mediante *cepillado* se trabajan grandes piezas o varias piezas de tamaño mediano colocadas una tras otra sobre la mesa de la cepilladora.

El *mortajado horizontal* entra en juego para piezas de pequeñas a medianas (longitud de carrera de la máquina hasta de unos 1200 mm).

Mediante el *mortajado vertical* se trabajan en las piezas especialmente formas interiores de bordes agudos. La presión de corte se dirige aquí contra el apoyo de la pieza.

Movimientos de avance

En el *cepillado* se imprime el movimiento de avance a la pieza y esto en dirección horizontal lo mismo que en dirección vertical.

En el *mortajado horizontal* obtiene la pieza el movimiento de avance en dirección horizontal y la herramienta por el contrario en dirección vertical.

En el *mortajado vertical* se ha previsto para la pieza el avance en el plano horizontal, es decir longitudinal, transversal y a veces circularmeante.

Comparación con otros procedimientos de trabajo

Muchos trabajos pueden realizarse ya sea mediante un procedimiento de mecanizado (trabajo con con arranque de viruta) o ya mediante otro. En cada caso debe decidirse qué sistema es el más conveniente.

En el cepillado y en mortajado se arrancan generalmente grandes secciones de virutas.

En comparación con el fresado, el cepillado y el mortajado están en desventaja a consecuencia de sus largos tiempos de marcha en vacío.

Más económico que el fresado resulta, sin embargo, de acuerdo con la experiencia, el cepillado de superficies delgadas y largas (guías, ranuras y prismas), especialmente cuando se trabaja con varias herramientas a la vez. También se cepillan generalmente las superficies de piezas grandes, pesadas y voluminosas como asimismo las superficies muy anchas.

Es importante además la cuestión de la herramienta. Mediante cepillado y mortajado pueden obtenerse con herramientas sencillas, formas muy diversas lo cual hace que puede frecuentemente prescindirse en el mecanizado de las fresas de forma que son siempre caras. Esto es importante para la fabricación de piezas sueltas.

El afilado de las herramientas de cepillar y de mortajar es también más sencillo y barato que el de las fresas.

El mortajado no puede siempre ser substituido por el fresado como ocurre por ejemplo en la ejecución de ranuras en los taladros (véase el capítulo «Brochado»).

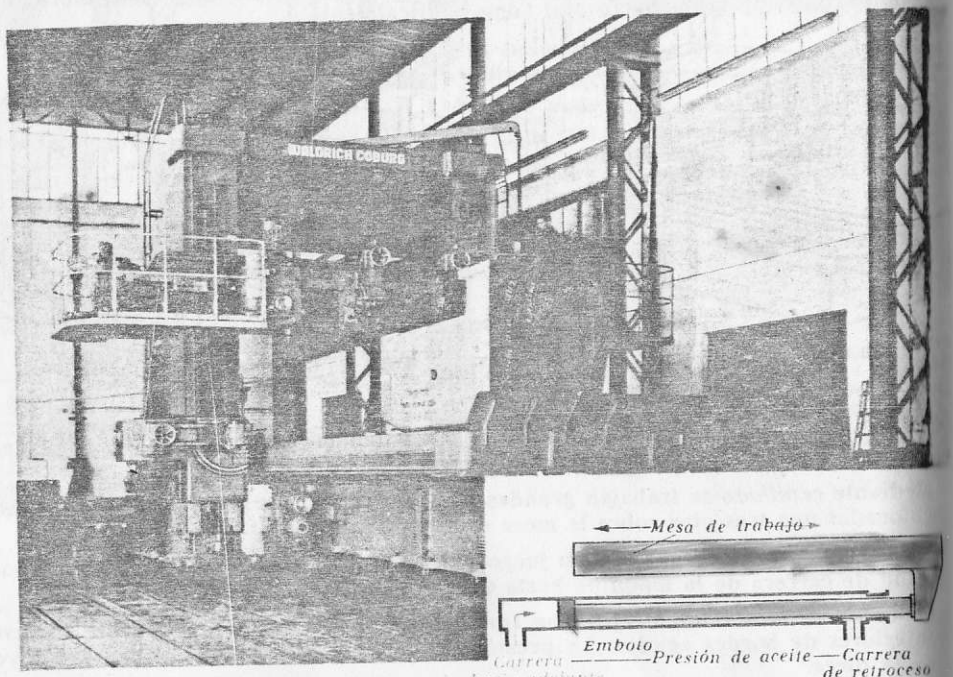


Fig. 134,1 Máquina de cepillar de dos montantes (mecanismo hidráulico de inversión de marcha).

Fig. 134,2 Accionamiento hidráulico (esquema).

Máquinas cepilladoras y mortajadoras

Según sea el modo de trabajar de las máquinas, se distinguen los siguientes tipos:

1. Cepilladoras, que pueden ser de dos montantes o de un solo montante.
2. Mortajadoras horizontales.
3. Mortajadoras verticales.
4. Cepilladoras especiales (por ejemplo cepilladoras de ruedas dentadas cepilladoras de ruedas cónicas, cepilladoras de precisión, cepilladoras copiadoras)

Cepilladoras (cepilladoras de mesa, cepilladoras largas)

Cepilladoras de dos montantes (fig. 134,1)

Partes principales: Bancada, mesa, travesaño, corredera de distribución en el travesaño (carro porta-herramientas en el travesaño, carro transversal), corredera de distribución en el montante (carro porta-herramientas en el montante, carro lateral), órganos de accionamiento y de maniobra.

Es característica de las cepilladoras la gran longitud de la bancada que puede tener 20 m y más. Bancada, montantes y pieza de unión constituyen un marco rígido. El marco este tiene que ser lo suficientemente fuerte para que pueda absorber sin sacudidas ni vibraciones los grandes esfuerzos que se presentan durante el cepillado.

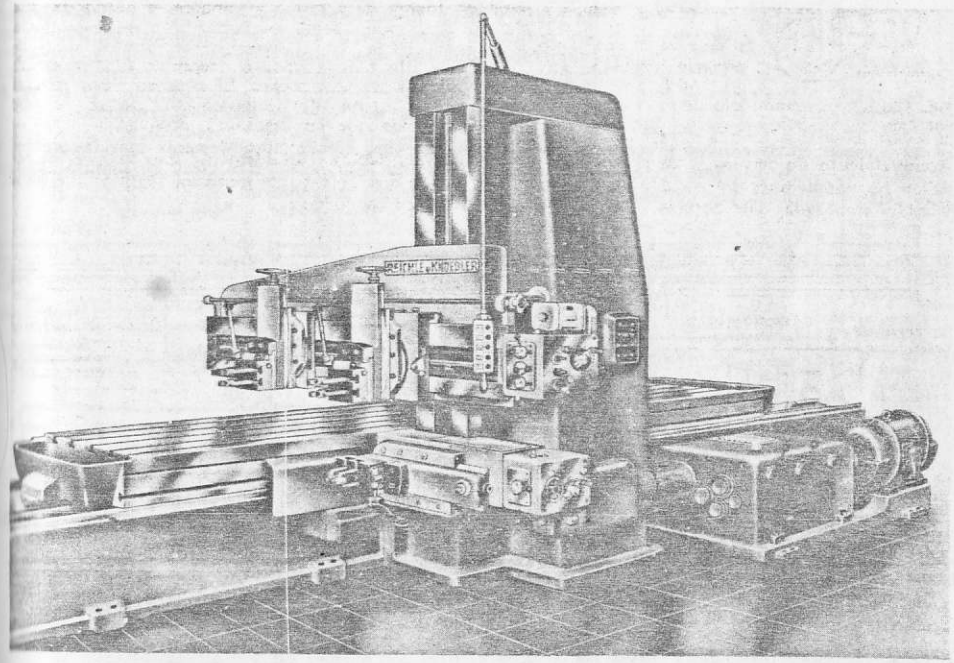


Fig. 135,1 Cepilladora de un montante: Accionamiento a través de una caja de engranajes (palanca para accionar sobre la velocidad. Inversión de marcha mediante acoplamientos magnéticos. Véase fig. 136,4).

El travesaño provisto de una o varias correderas de distribución puede frecuentemente ajustarse o regularse mediante un motor especial.
La corredera de distribución rotativa hace posible el movimiento de la herramienta en dirección vertical. Además de esto es basculante, de modo que puede cepillarse también oblicuamente.
Para el movimiento principal de la mesa se prevén generalmente rueda dentada y cremallera. Mediante un dentado oblicuo se consigue una marcha más tranquila. A veces engrana en la cremallera en vez de la rueda dentada un husillo sin fin. El accionamiento hidráulico de la mesa ofrece grandes ventajas (fig. 134,2).
El avance y el movimiento de aproximación pueden ser ejecutados a mano. El avance automático y el levantamiento también automático de la placa porta-herramientas se realiza en virtud de un mecanismo especial de cambio de marcha.
Lo mismo que todas las máquinas-herramientas modernas, las cepilladoras se proveen ampliamente de dispositivos de maniobra eléctricos.

Cepilladora de un montaje (fig. 135,1). La constitución fundamental es la misma que la de las máquinas de dos montantes. En vez del travesaño conducido por los dos montantes llevan estas cepilladoras el brazo o *pescante* soportado en un montante. Con esto se hace posible el mecanizado de piezas especialmente anchas y voluminosas.

Inversión de los sentidos de marcha de las cepilladoras

El movimiento de vaivén de la mesa se obtiene mediante construcciones diversas.

Corrimiento de correas (fig. 136,1 y 2). Dos correas, de las cuales una está cruzada, se corren a un lado y a otro y arrastran así alternativamente las poleas colocadas entre ellas y unidas de modo fijo con el árbol de salidas o árbol atacado. Como la polea de la correa cruzada es menor el árbol de salida girará a mayor velocidad y hará posible así un retroceso rápido. La inversión de la correa la reciben unas levas de distribución dispuestas en la mesa y regulables de acuerdo con la carrera, las cuales, a través de palancas y timonería, dan a la citada mesa el movimiento de vaivén. Resultan otros tantos inconvenientes el gran desgaste de las correas, la relativamente reducida fuerza de arrastre y también el hecho de que la polea y el eje de accionamiento así como las ruedas dentadas de reducción tomen parte en la inversión del sentido de movimiento y que con ello tengan que ser frenadas y nuevamente puestas en movimiento grandes masas. El proceso lleva mucho tiempo consigo. Este sistema de accionamiento no se ve por ello empleado nada más que en máquinas antiguas.

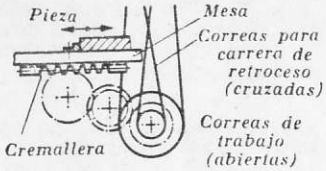


Fig. 136,1 Accionamiento de correas.

Accionamiento de correas y acoplamientos magnéticos (fig. 136,3). Notablemente más favorables resultan las condiciones del accionamiento cuando entre las dos poleas que giran en sentidos opuestos y están accionadas por correas se disponen acoplamientos magnéticos.

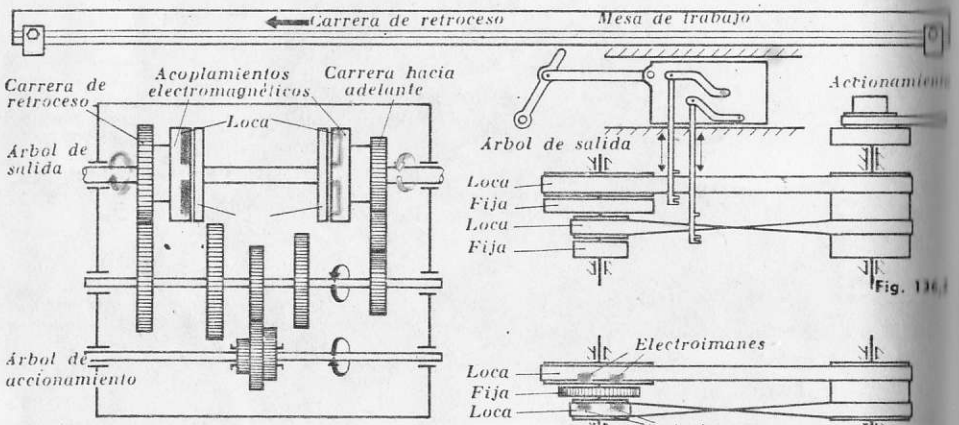


Fig. 136,4

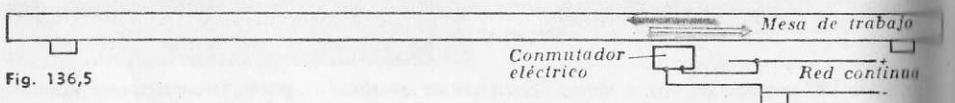


Fig. 136,5

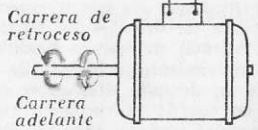


Fig. 136,2 Inversión de marcha en caso de accionamiento por correas.

Fig. 136,3 Inversión de marcha mediante mecanismo de correas y acoplamiento electromagnético.

Fig. 136,4 Caja de engranajes con acoplamientos electromagnéticos para la inversión del accionamiento.

Fig. 136,5 Inversión de marcha mediante motor reversible de corriente continua.

Caja de engranajes con acoplamientos magnéticos (fig. 136,4). Los acoplamientos magnéticos y la rueda dentada para el accionamiento de la mesa están situados sobre el mismo árbol (árbol de salida). Con esto el mecanismo de engranajes accionado por el motor tiene siempre el mismo sentido de giro; no necesita por lo tanto ser frenado y nuevamente puesto en movimiento cada vez, en los movimientos de vaivén de la mesa. Entre otras ventajas, se obtiene de este modo una economía de potencia muy importante.

Motor reversible de corriente continua (fig. 136,5). El cambio de sentido de dirección en el movimiento de la mesa se consigue aquí mediante inversión del sentido de giro del motor de accionamiento. El campo de revoluciones regulable del motor es de unas 250 ... 1000 rev/min. Las velocidades de corte se pueden regular con ello en una relación hasta de 1:4 y generalmente sin escalonamiento. La ventaja consiste en que una parte de la potencia como consecuencia de la acción de frenado al invertir el sentido de giro del motor es devuelta a la red. Ahora bien, se necesita disponer de continua para el accionamiento.

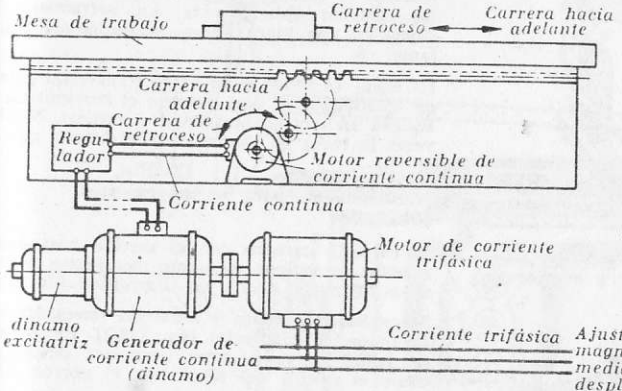


Fig. 137,1 Inversión de la marcha mediante motor reversible de continua conexión Leonard.

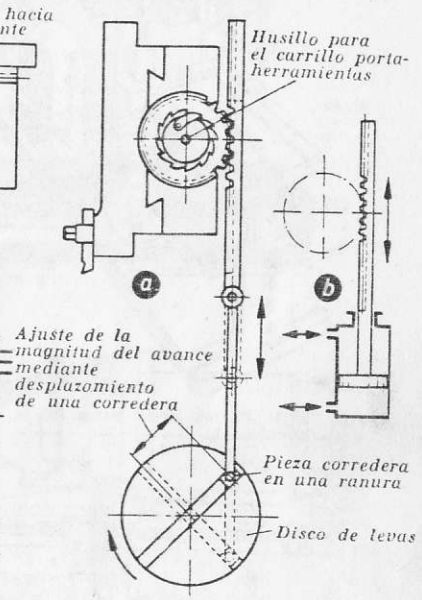


Fig. 137,2 a) Mecanismo de avance mediante disco de levas y cremallera (representación esquemática); b) mecanismo hidráulico de avance.

Motor reversible en conexión Leonard (fig. 137,1). En este sistema hay un motor de corriente alterna trifásica que acciona una dinamo (corriente continua) y esta a su vez alimenta a un motor de corriente continua. Las velocidades de corte pueden regularse sin escalonamiento por ejemplo hasta una relación de 1:20. Los movimientos se invierten rápidamente y sin golpe.

Inversión hidráulica de la marcha (fig. 134,2). Sobre el émbolo que va nido a la mesa de trabajo actúa alternadamente por un lado y por otro la presión del aceite. Como son pocas las piezas del accionamiento también son relativamente pequeñas las masas que hay que frenar y que acelerar. La inversión es extraordinariamente rápida y está notablemente exenta de choque.

El mecanismo del avance

El avance se maniobra antes de comenzar la carrera o después de haber terminado ésta. Generalmente se transmite a este efecto a un trinquete el movimiento de vaivén de una cremallera derivado de un disco de levas **(fig. 137,2 a)** o maniobrando hidráulicamnte **(fig. 137,2 b)** (véanse **figs. 66,2 y 211,2**). El trinquete mueve a través de ruedas dentadas los correspondientes husillos de los carros porta-herramientas.

La magnitud del avance se regula, por ejemplo, mediante el desplazamiento de una corredera en una ranura del disco de levas.

Mortajadoras horizontales (cepilladora corta, cepilladora rápida, limadora [Shapingmachine])

Partes principales: Armazón o bancada (montante), carro o carnero, carrillo porta-herramienta (carro porta-cincel), mesa, órganos de accionamiento y de maniobra **(fig. 138,1)**.

La *bancada* (montante) está constituida generalmente por un robusto cuerpo de fundición en forma de cajón que garantiza a la máquina un movimiento reposado dentro de lo posible. Una gran placa de basamento aumenta la estabilidad de la máquina.

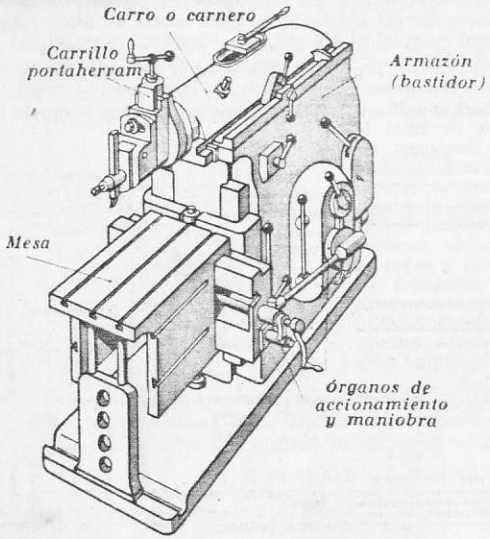


Fig. 138,1 Partes principales de la mortajadora horizontal.

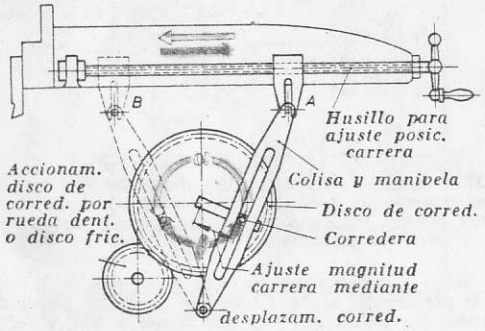


Fig. 138,2 Accionamiento de una mortajadora horizontal.

El *carro* o *carnero* se desliza a lo largo de guías en forma de cola de milano cuyo juego puede ser regulado mediante listones ajustables.

El *carrillo porta-herramientas*, situado en la cabeza del carro o carnero, puede correr con ayuda de un husillo en una guía en cola de milano. Además es rotativo, de modo que puede mortajar también oblícuamente. La herramienta se sujeta en una placa *porta-herramientas* basculante.

La *mesa* va unida a un carro transversal guiado en la armazón el cual permite el movimiento de aquélla en sentido horizontal y vertical. Muchas veces la mesa es soportada por delante con un apoyo.

Accionamiento para los movimientos principales

El carro o carnero con el carrillo porta-herramientas se acciona mediante mecanismo de colisa o manivela o con un dispositivo hidráulico.

Mecanismo de colisa y manivela (mecanismo de inversión de manivela) (fig. 138,2). En el disco de levas hay una pieza corredera desplazable hacia el centro del disco con el gorrón de la manivela. Este gorrón encaja en la ranura de una palanca oscilante, que está soportada inferiormente en un punto alrededor del cual puede girar mientras que el extremo superior transmite al carro o carnero su movimiento de vaivén que recibe en virtud del giro del disco-manivela. Mediante desplazamiento del taco-corredera (gorrón de la manivela) en el disco-manivela puede regularse la *magnitud* de la carrera. La *posición* de la carrera puede variarse mediante un husillo que lleva el carnero. Para el accionamiento, el disco-manivela puede estar constituido en forma de rueda dentada o de rueda de fricción.

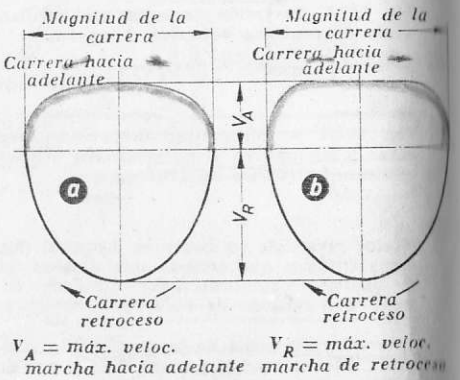


Fig. 138,3 Diagramas de velocidad para mortajadoras horizontales: a) en caso de accionamiento por colisa y manivela; b) en caso de accionamiento hidráulico.

El gorrón de la manivela se mueve uniformemente describiendo una circunferencia. Con ello se mueve la palanca oscilante alternativamente desde un punto muerto (*A*) hasta otro (*B*). En el movimiento de avance del carnero recorre el gorrón de manivela el arco mayor (α) y en el retorno el arco menor (β). Es decir que en el retorno emplea un tiempo menor. Si por ejemplo $\alpha = 240°$, β valdrá por lo tanto 120° y el retroceso será a velocidad doble que el movimiento de avance.

La magnitud de las velocidades durante el transcurso de la carrera puede ponerse de manifiesto mediante un diagrama de velocidades **(fig. 138,3)**. Una vuelta del disco-manivela corresponde a una carrera doble; para *n* vueltas por minuto tenemos por lo tanto también *n* dobles carreras por minuto. Generalmente se da en la máquina el número de dobles carreras que se pueden ajustar (por ejemplo 13 - 21 - 34 - 53 - 85 - 137).

Accionamiento hidráulico (fig. 139,1). El carnero que va unido a un árbol es movido mediante la presión del aceite que actúa sobre éste. La presión del aceite la da una bomba accionada por su correspondiente motor. La bomba aspira el aceite de un depósito a donde vuelve a fluir. Para inversión de la corriente de aceite se utiliza una válvula que es accionada por topes dispuestos sobre el carnero. Estos topes pueden desplazarse de acuerdo con la posición y la magnitud de la carrera. La velocidad de corte es regulable sin escalonamiento (por ejemplo 6 ... 40 m/min).

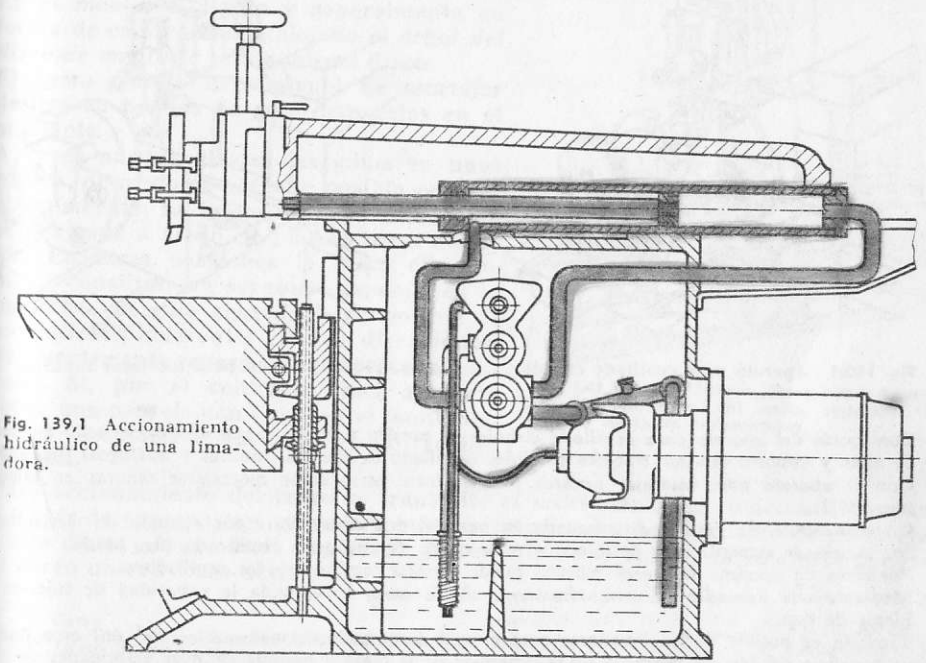


Fig. 139,1 Accionamiento hidráulico de una limadora.

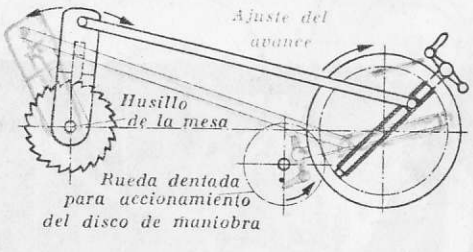


Fig. 139,2 Dispositivo mecánico de avance en la limadora.

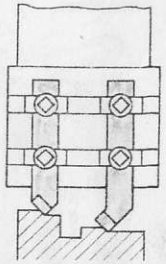


Fig. 139,3 Trabajo simultáneo con dos útiles.

Dispositivo de avance (fig. 139,2). El avance transversal automático de la mesa se hace posible por ejemplo mediante un disco de accionamiento, una barra y su trinquete o un dispositivo hidráulico. En algunas máquinas el carrillo porta-herramientas tiene también un avance automático (generalmente por mecanismo hidráulico).

Dispositivos adicionales para cepilladoras y limadoras

Estos dispositivos tienen por objeto facilitar un mejor aprovechamiento de la máquina y ampliar sus posibilidades de aplicación. Así por ejemplo una charnela portaútil para varios útiles permite el mecanizado simultáneo de varias superficies y, en casos, el desbastado y afinado simultáneos de la misma superficie **(fig. 139,3)**.

Una **placa de mesa inclinable** hace posible también el mecanizado de superficies mayores e inclinadas.

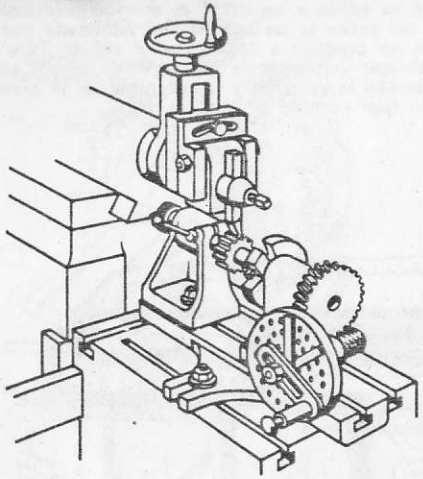


Fig. 140,1 Aparato para cepillado circular.

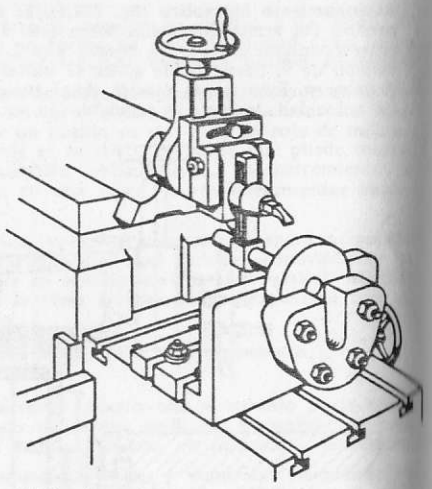


Fig. 140,2 Aparato para mortajar ranuras.

Con ayuda del *aparato para cepillado circular* se pueden trabajar piezas cilíndricas todo alrededor de ellas y también realizar trabajos parciales (cepillado de dientes, ranuras y análogos) **(fig. 140,1)**.
Con el *aparato para mortajar ranuras* pueden entre otras cosas mortajarse ranuras en taladros **(fig. 140,2)**.
Un dispositivo de rectificado montado en vez del útil de cepillar (por ejemplo un electromotor con muela de esmeril) hace posibles los trabajos de esmerilado o rectificado **(fig. 140,3)**.
Poniendo un *aparato de fresar* especial puede fresarse también en las cepilladoras.
Mediante una *escuadra de ensanchamiento de la mesa* se agranda la capacidad de sujeción de piezas de ésta.
También es posible en las limadoras conseguir el *levantamiento automático del útil* cosa que va en beneficio del filo del mismo y de la superficie de la pieza y permite emplear velocidades de corte mayores.

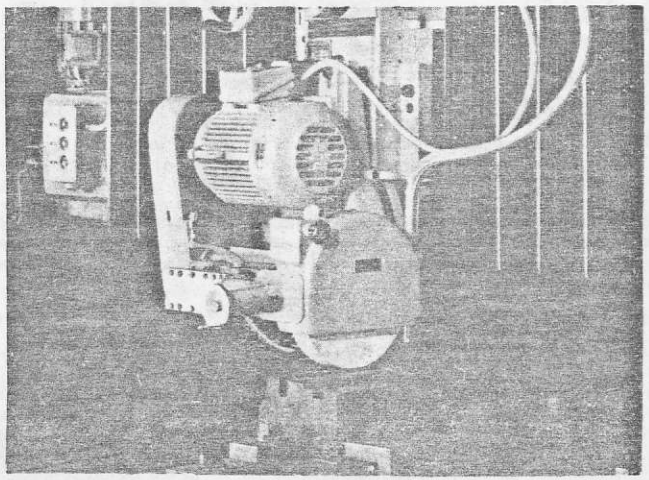


Fig. 140,3 Soporte de rectificar dispuesto en una cepilladora.

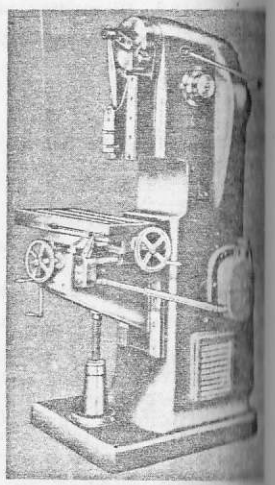


Fig. 140,4 Mortajadora vert.

La mortajadora (figs. 140,4; 141,1)

Partes principales: Montante, carro, mesa con consola o bancada, órganos de accionamiento y mando.
En el *montante*, rígido y generalmente en forma de cajón se halla alojado el *árbol del disco de manivela* y este mismo disco.
El *carro* con la herramienta de mortajar desliza en bandas de guia dispuestas en el montante.
A veces pueden girarse las guias en unos grados, de modo que resulte posible cepillar oblicuamente. La *mesa* está frecuentemente conformada a modo de plato o *mesa circular*. En otras ocasiones la mesa circular puede constituir un accesorio especial de la máquina. La guia cruzada hace posible el movimiento horizontal en dos direcciones. Frecuentemente reposa la mesa sobre la *bancada*. Si, por el contrario, está apoyada sobre una consola con guias en el montante, podrá desplazarse también en dirección vertical.

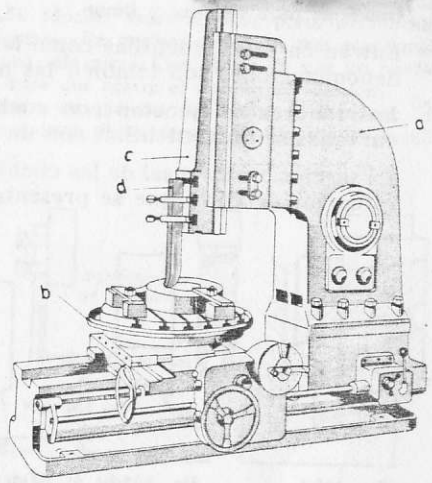


Fig. 141,1 Mortajadora. Mesa sobre bancada. a) Montante; b) mesa redonda; c) carro; d) porta-heramientas.

Para accionamiento del carro se transmite el movimiento de rotación del motor a través de engranajes y corredera móvil giratoria al árbol del disco de manivela, a este disco y a una biela **(fig. 141,2)**. Por medio de la corredera rotatoria obtiene el carro un retroceso acelerado.

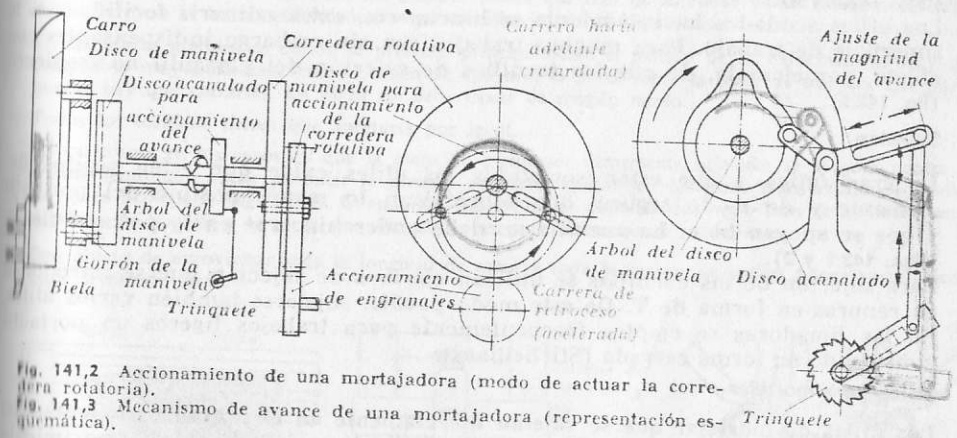


Fig. 141,2 Accionamiento de una mortajadora (modo de actuar la corredera rotatoria).
Fig. 141,3 Mecanismo de avance de una mortajadora (representación esquemática).

La magnitud de la carrera del carro se regula mediante corrimiento del botón de manivela en el disco de manivela. La *posición* de la carrera se ajusta según sea la construcción de la máquina con un husillo roscado dispuesto en el carro (como en las limadoras) o mediante desplazamiento de la mesa en altura.
El avance automático se prevé frecuentemente en el sentido longitudinal y transversal de la mesa así como en el movimiento de giro de la mesa circular (a veces a través de husillo articulado) **(fig. 141,3)**.
La mesa circular va provista generalmente de un dispositivo graduado.

Cuchillas para cepillar y limar

Entran en juego cuchillas como las que se usan habitualmente para tornear. Las denominaciones son también las mismas que en el útil de tornear [1].

Las ranuras se ejecutan con cuchillas de tronzar rectas o curvas. Para formas curvadas se usan cuchillas con un perfil adecuado **(figs. 142,1 y 2)**.

La sección transversal de las cuchillas tiene que estar proporcionada a los grandes esfuerzos de corte que se presentan en las máquinas de cepillar.

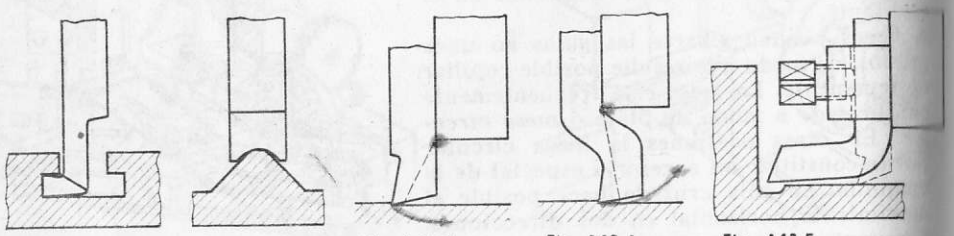


Fig. 142,1 Fig. 142,2 Fig. 142,3 Fig. 142,4 Fig. 142,5

Fig. 142,1 Útil de tronzar curvado en ángulo recto.
Fig. 142,2 Útil de forma.
Fig. 142,3 Cuchilla sin acodar (se flexa hincándose en la superficie).
Fig. 142,4 Cuchilla acodada hacia atrás (se flexa separándose de la superficie).
Fig. 142,5 Cuchilla acodada hacia adelante (para que no tropiece el tornillo de sujeción).

Los útiles rectos flexan fácilmente introduciéndose en la superficie de trabajo. Especialmente para el afinado se emplean muchos los útiles acodados hacia atrás **(figs. 142,3 y 4)**.
Los útiles acodados hacia adelante se hincan con extraordinaria facilidad en la superficie de trabajo. Para muchos trabajos son sin embargo indispensables con objeto, por ejemplo, de que los tornillos de sujeción del portaútil no tropiecen **(fig. 142,5)**.

Sujeción

La gran fatiga a que están sometidos los útiles exige que estén sujetos firmemente y de modo seguro, que sobresalgan lo menos posible del portaútil y que se apoyen bien. La cuchilla no debe poder hincarse en la pieza al flexar **(figs. 143,1 y 2)**.
Para sujeción de las cuchillas se utilizan estribos de sujeción que se introducen en ranuras en forma de T. De este modo pueden sujetarse también varios útiles. En las limadoras se emplea frecuentemente para trabajos ligeros un portaútil constituido en forma cerrada (Stichelhaus).

Utiles para mortajar

Los útiles de mortajar que se sujetan directamente en el porta-herramientas del carro se mueven durante el trabajo de corte en dirección de su eje (movimiento de corte). Con objeto de que puedan cortar libremente están curvados hacia adelante. El ángulo de incidencia, la superficie de incidencia, el ángulo de ataque y la superficie de ataque están por lo tanto situados de distinto modo que en los útiles de tornear y de cepillar **(fig. 143,3)**. Los útiles de mortajar están solicitados a pandeo y a flexión **(fig. 143,4)**. Por esta razón juegan un papel importante, entre otras cosas, la longitud que sobresale de la sujeción, la magnitud de los ángulos de ataque y de incidencia y el grado de afilado de la cuchilla.

[1] Según DIN se llaman cuchillas o cinceles de tornear (Drehmeissel) especialmente en caso de útiles de metal duro.

Cuchillas insertadas en útiles de mortajar (fig. 143,5). Muchas veces se usan porta-herramientas especiales en que se insertan pequeñas cuchillas de mortajar. En muchos casos son más económicas que los útiles corrientes de mortajar constituidos de una sola pieza. Con objeto de que no puedan correrse se les provee de entalladuras o cosa análoga para que agarre el tornillo de sujeción.
Para trabajos que no sean pasantes, tales como ranuras en agujeros de fondo de saco, etc., se utilizan porta-herramientas con cuchillas de mortajas sujetas oblicuamente. El filo de la cuchilla sobresale del final del porta-herramientas **(fig. 143,6)**.

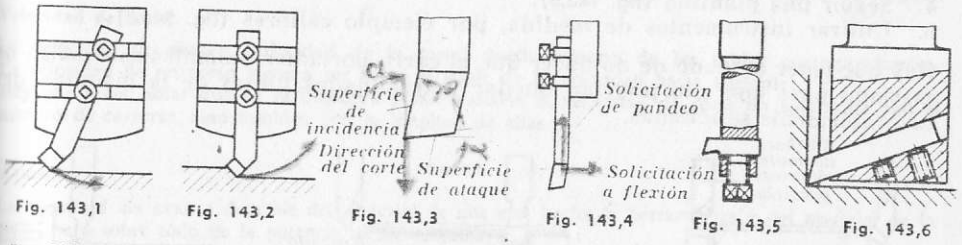


Fig. 143,1 Fig. 143,2 Fig. 143,3 Fig. 143,4 Fig. 143,5 Fig. 143,6

Fig. 143,1 La cuchilla se flexa o se gira introduciéndose en la pieza.
Fig. 143,2 La cuchilla flexa o gira pero despegándose de la pieza.
Fig. 143,3 Angulos en el útil de mortajar (α, ángulo de incidencia; β, ángulo de filo; γ, ángulo de ataque).
Fig. 143,4 Solicitaciones del útil de mortajar.
Fig. 143,5 Soporte para cuchillas insertadas.
Fig. 143,6 Porta-herramientas para agujeros en fondo seco.

Sujeción y herramientas de sujeción

Sobre la sujeción de las piezas para el cepillado se puede decir lo mismo que lo indicado en el caso del fresado (págs. 48 ... 51). Para las grandes piezas que han de sujetarse en las máquinas cepilladoras de mesa se usan predominantemente tornillos o pernos de sujeción.

En las piezas grandes es donde se presenta principalmente el peligro de la deformación. Hay que comprobar muy cuidadosamente el modo de apoyarse la pieza sobre la mesa de trabajo. Las partes huecas hay que calzarlas. La pieza no debe flexar de ningún modo.

Todos los tornillos tienen que apretarse por igual.

Especialmente en los casos en que la pieza no puede ser firmemente sujetada, se asegura contra el deslizamiento que puede producir la presión de corte, aplicando elementos transversales, o análogos, para acodalarla **(fig. 143,7)**. Cuando las superficies de contacto son muy lisas se intercala entre el perno de fijación y la pieza una tira de papel para aumentar el rozamiento.

Con objeto de aprovechar toda la longitud de mesa o toda la carrera se suelen poner varias piezas unas detrás de otras.

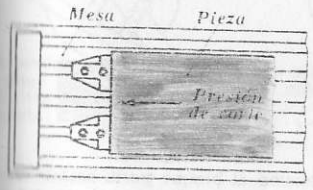


Fig. 143,7 Elementos para acodalar o fijar la pieza que se trabaja.

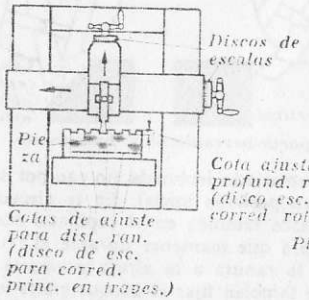


Fig. 143,8 Ajuste mediante discos graduados.

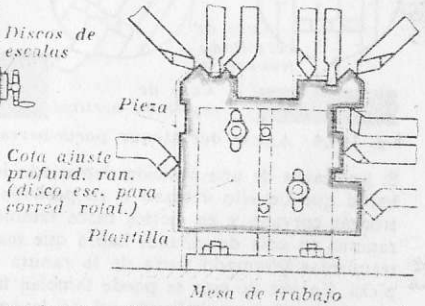


Fig. 143,9 Ajuste de acuerdo con plantilla.

Ajuste de la herramienta

Son usuales los siguientes modos de proceder:

1. Utilizar escalas que lleva incorporadas la máquina (discos de división, división en grados) **(fig. 143,8)**.
2. Empleo de calibres normales de caras paralelas **(fig.144,1)**.
3. Seguir el trazado realizado en la pieza **(fig. 144,2)**.
4. Seguir una plantilla **(fig. 143,9)**.
5. Utilizar instrumentos de medida, por ejemplo calibres **(fig. 144,3)**.

Hay que tener cuidado de no hacer que el carro porta-herramientas sobresalga demasiado pues con ello podrían quedar determinadas piezas de la máquina desfavorablemente solicitadas.

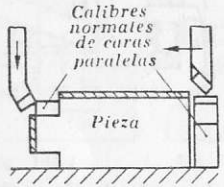


Fig. 144,1 Ajuste mediante calibres normales de caras paral.

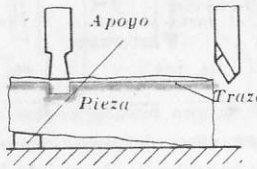


Fig. 144,2 Ajuste según el trazado.

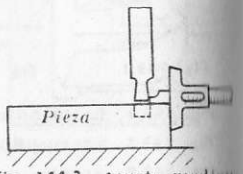


Fig. 144,3 Ajuste mediante pie de rey.

Ajuste del bloque porta-herramientas

El bloque porta-herramientas tiene que ser ajustado siempre de tal modo que la cuchilla al retroceder la máquina pueda levantarse con facilidad y después en la carrera activa vuelva a tomar su posición de trabajo. En el cepillado transversal el bloque porta-herramientas tiene posición perpendicular a la superficie de trabajo **(fig. 144,4)**.
Para el cepillado oblícuo el carro porta-herramientas es girado el ángulo necesario pero el bloque porta-herramientas basculante se coloca para el cepillado oblícuo exterior tan normal como se pueda y para el cepillado oblícuo interior en cambio se le hace girar en un ángulo suplementario. En el cepillado vertical (mortajado) el bloque basculante citado se ajusta inclinado con objeto de que la cuchilla no rasque la superficie de trabajo en la carrera de retroceso **(fig. 144,4)**.

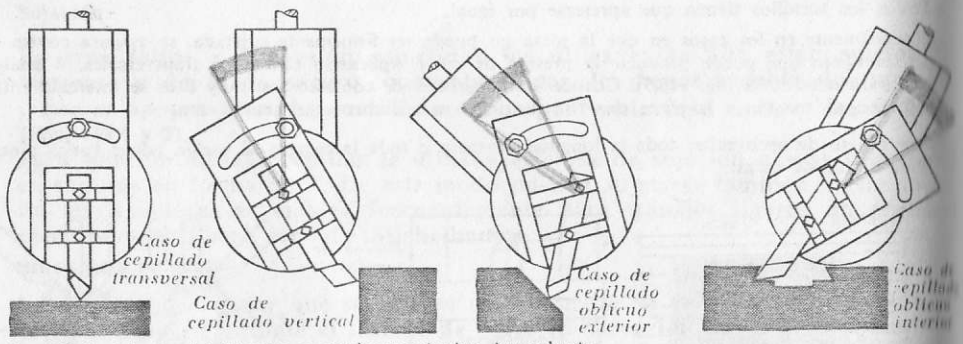


Fig. 144,4 Ajuste del bloque porta-herramientas basculante.

Si por causa de una posición demasiado inclinada no cae por sí mismo el bloque porta-herramientas habrá que llevarlo a mano a su posición inicial. En la ejecución de ranuras en T con un útil de tronzar curvado y en ciertos casos también en el cepillado oblículo de interiores (p. ej. al ejecutar ranuras en cola de milano) habrá que mantener durante el retroceso el bloque basculante porta-herramientas levantado fuera de la ranura a la altura necesaria para que la cuchilla quede sobre la pieza. En vez de esto se puede también fijar el bloque porta-herramientas mediante una clavija prevista para ello prescindiendo así del levantamiento de la cuchilla. Con esto, empero, padece frecuentemente el filo.

Anticipación a la entrada y rebase a la salida

La anticipación a la entrada y el rebase a la salida no deben ser demasiado pequeños porque el proceso de inversión de marcha así como la maniobra de avance necesitan su tiempo pero tampoco demasiado grandes porque con ello aumentaría inútilmente el tiempo de funcionamiento de la máquina. La anticipación a la entrada hay que ajustarla mayor que el rebase a la salida.
En la limadora son tanto la anticipación como el rebase menores que en la cepilladora de mesa (anticipación a la entrada 15 ... 20 mm, rebase a la salida 5 ... 10 mm). La posición de la carrera hay que ajustarla en lo posible de tal modo que el carnero no tenga que salir demasiado de su guía.

Velocidad de corte

La velocidad de avance (velocidad de la mesa) puede tomarse de las tablas correspondientes.
La velocidad de retroceso viene a ser hasta el triple de la velocidad hacia adelante.
Hay que hacer notar que en la limadora puede variarse la velocidad de corte no solamente con el número de carreras, sino también con la longitud de ellas.

Avance

La magnitud del avance depende del material de que está hecha la herramienta y del material de la pieza, pero sobre todo de la potencia de la máquina.

Valores de orientación:

Para el desbastado: 0,4 ... 4 mm/d.c. y para una potencia correspondientemente alta hasta 12 mm/d.c.
En función de la profundidad de corte (a) el avance para la fundición gris es aproximadamente $^1/_3$ ... $^1/_5$ y para el acero $^1/_4$ ... $^1/_{10}$ de esa profundidad.
Para el afinado: con la cuchilla puntiaguda de afinar, según sea la calidad superficial unos 0,2 ... 0,5 mm/d.c.; con la cuchilla ancha hasta aproximadamente 5 mm/d.c. (ahorro de tiempo de trabajo).
Cuando en las limadoras no se levanta la cuchilla automáticamente, es decir, cuando el filo de la herramienta resbala, en retroceso, sobre la superficie de corte, se maniobra el avance antes de iniciar la carrera hacia adelante cuando se trata de desbaste y antes de iniciarse el retroceso cuando se trata de afinado, todo ello con objeto de que la cuchilla no retroceda en la estría recién cortada originando con ello una superficie poco limpia.

Carrera de trabajo y carrera en vacío al cepillar y al mortajar

El *recorrido total* L para una carrera se compone de la longitud de la pieza, o de la longitud bruta de la pieza l, más el valor de la anticipación en la entrada l_a más el rebase a la salida l_u:

$$L = l + l_a + l_u$$

Para una *carrera doble* L_D es decir para las carreras de trabajo y de retroceso juntas se tiene:

$$L_D = 2 \cdot L$$

Velocidad de corte y velocidad de retroceso

Puesto que la velocidad es el camino recorrido en la unidad de tiempo, se calculará del siguiente modo para el movimiento rectilíneo al cepillar (v en m/min, L en mm):

a) Velocidad para la carrera de trabajo (velocidad de corte):

$$v_A = \frac{L}{1000 \cdot t_A}$$

t_A = tiempo invertido en la carrera de trabajo en minutos

b) Velocidad para la carrera en vacío (velocidad de retroceso):

$$v_R = \frac{L}{1000 \cdot t_R}$$

t_R = tiempo invertido en el retroceso en minutos

c) Velocidad media (v_m):

$$v_m = \frac{2 \cdot L}{1000\ (t_A + t_R)}$$

d) Si en la ecuación de c) se pone para $t_A = L/1000 \cdot v_A$ y para $t_R = L/1000 \cdot v_R$ se obtiene

$$v_m = \frac{2\ L}{1000\left(\frac{L}{v_A \cdot 1000} + \frac{L}{v_R \cdot 1000}\right)} = \frac{2\ L}{\frac{L}{v_A} + \frac{L}{v_R}} = \frac{2\ L}{\frac{L\ (v_A + v_R)}{v_A \cdot v_R}}$$

o sea:

$$v_m = \frac{2 \cdot v_A \cdot v_R}{v_A + v_R}$$

e) Si la relación entre la velocidad de retroceso v_R y la del movimiento de trabajo v_A, $q = v_R/v_A$ nos es conocida, obtendremos la velocidad de corte media partiendo de la velocidad hacia adelante si en la ecuación que aparece en d) se pone para v_R su valor $q \cdot v_A$:

$$v_m = \frac{2 \cdot v_A \cdot q}{1 + q}$$

f) Cuando el número de las carreras dobles por minuto n_D nos es conocido la velocidad media será, en función de aquélla:

$$v_m = \frac{2\ L \cdot n_D}{1000}$$

Tiempo principal al cepillar

Tiempo por cada doble carrera (t_D)

De las ecuaciones correspondientes a la velocidad de corte y la de retroceso se obtienen los tiempos invertidos en la carrera de trabajo y en la carrera en vacío:

$$t_A = \frac{L}{v_A \cdot 1000} \qquad t_R = \frac{L}{v_R \cdot 1000}$$

El tiempo para la carrera doble (t_D) es, por lo tanto:

$$t_D = t_A + t_R = \frac{L}{v_A \cdot 1000} + \frac{L}{v_R \cdot 1000}$$

Avance s y número de las dobles carreras Z:

El avance se da en mm por cada doble carrera (s en mm/D_H).

Se obtiene el número de las dobles carreras Z, dividiendo la anchura de la pieza o de la anchura bruta de la pieza b por el avance en cada doble carrera:

$$Z = \frac{b}{s}$$

Tiempo principal t_p:

El tiempo principal se calcula multiplicando el tiempo invertido en una doble carrera por el número Z de dobles carreras necesario para mecanizar la pieza:

$$t_p = Z \cdot t_D = b/s\ (t_A + t_R) = t_p = \frac{b}{s}\left(\frac{L}{v_A \cdot 1000} + \frac{L}{v_R \cdot 1000}\right)$$

Si se toma como base la velocidad de corte v_m resulta la fórmula frecuentemente empleada:

$$t_p = \frac{b}{s} \cdot \frac{2 \cdot L}{v_m \cdot 1000}$$

Ejemplo:

Calcúlese el tiempo principal (desbastado y afinado) para una pieza con b = 500 mm de anchura bruta y l = 3000 mm de longitud bruta.

Desbastado: s = 2 mm/d.c., v_A = 16 m/min, v_R = 31,5 m/min.
Afinado: s = 3 mm/d.c., v_A = 20 m/min, v_R = 31,5 m/min.
$l_a + l_u$ = 250 mm.

Solución:

Desbastado:

$$t_{p1} = \frac{b}{s}\left(\frac{L}{v_A \cdot 1000} + \frac{L}{v_R \cdot 1000}\right) = \frac{500\ \text{mm}}{2\ \text{mm/1}}\left(\frac{3250\ \text{mm}}{16\ \text{m/min} \cdot 1000} + \frac{3250\ \text{mm}}{31{,}5\ \text{m/min} \cdot 1000}\right) =$$
$$= 250 \cdot 0{,}306\ \text{min} = 76{,}5\ \text{min}$$

Afinado:

$$t_{p2} = \frac{b}{s}\left(\frac{L}{v_A \cdot 1000} + \frac{L}{v_R \cdot 1000}\right) = \frac{500\ \text{mm}}{3\ \text{mm/1}}\left(\frac{3250\ \text{mm}}{20\ \text{m/min} \cdot 1000} + \frac{3250\ \text{mm}}{31{,}5\ \text{m/min} \cdot 1000}\right) =$$
$$= 167 \cdot 0{,}266\ \text{min} = 44{,}4\ \text{min}$$

Tiempo total:

$$t_p = t_{p1} + t_{p2} = 76{,}5\ \text{min} + 44{,}4\ \text{min} = 120{,}9\ \text{min}$$

Ejercicios:

1. Calcúlese en el ejemplo anterior:

   a) El tiempo principal con ayuda de la velocidad de corte media v_m;
   b) el tiempo invertido en una doble carrera y el número de dobles carreras por minuto (desbastado y afinado):
   c) el avance por minuto (desbastado y afinado);
   d) el tiempo invertido en el retroceso, dado en % del tiempo invertido en una doble carrera;
   e) el tiempo principal cuando al afinar con una cuchilla puntiaguda el avance por cada doble carrera, vale $s = 0{,}5$ mm/d.c.

2. Con una longitud de carrera sencilla $L = 3400$ mm se emplearon para 8 dobles carreras 2,5 min. Calcúlese la velocidad de corte media v_m.

3. Para una longitud de carrera de trabajo de 4620 mm se contaron 12,6 segundos. a) ¿Qué magnitud tenía la velocidad de corte? b) Qué magnitud tenía la velocidad media cuando la relación $v_R : v_A$ era igual a 2,5:1? c) ¿Qué valor tenía el número de dobles carreras por minuto?

4. Se trata de trabajar con desbastado ($s = 1{,}6$ mm/d.c.) y afinado ($s = 0{,}6$ mm/d.c.) con acero rápido una pieza fundida, de fundición gris blanda, que tiene una longitud de 2800 mm y una anchura de 820 mm; la velocidad de corte para el desbastado según tablas = 16 m/min y para el afinado 24 m/min, $l_a + l_u = 200$ mm). Ahora bien: para la marcha hacia adelante no se dispone en la máquina nada más que de las velocidades 9, 14, 22 y 35 m/min. La velocidad de retroceso es $v_R = 35$ m/min.

   Calcúlese para el desbastado y el afinado:

   a) la velocidad media para el afinado y el desbastado partiendo de las velocidades medias hacia adelante y hacia atrás;
   b) tiempo por doble carrera y por minuto;
   c) número de dobles carreras por minuto;
   d) avance por minuto;
   e) tiempo principal;
   f) tiempo principal en el caso de que se duplicase la velocidad de retorno;
   g) ¿En qué % se acortaría en este caso el tiempo principal?

Número de dobles carreras y tiempo principal en el mortajado horizontal (limado)

Aquí podemos emplear las mismas fórmulas que para el cepillado (véase páginas 146 y 147).

En las limadoras se dan, empero, las velocidades del carnero, frecuentemente, en dobles carreras. Para cálculo del número de dobles carreras a ajustar en la máquina y del tiempo principal se usa corrientemente la velocidad media (v_m), o sea, por lo tanto, el recorrido total del carnero (marcha de trabajo y retroceso) en metros por minuto:

$$\text{De la ecuación } v_m = n_D \cdot 2L/1000 \text{ se deduce } n_D = \frac{v_m \cdot 1000}{2 \cdot L}$$

Ejemplo:

Se trata de trabajar cepillando en una sola pasada una superficie de 360 mm de longitud y 300 mm de anchura empleando una velocidad de corte (velocidad del movimiento hacia adelante) $v_A = 15$ m/min. El retroceso de la máquina es 1,8 veces más rápido que la marcha de trabajo; $l_a + l_u$ vale 40 mm; el avance es $s = 0{,}8$ mm/d.c.; las velocidades que pueden ponerse en la máquina son 13 - 18 - 23 - 28 - 35 - 45 - 55 - 65 - 85 - 115 - 130 - 165. Calcúlense el número de dobles carreras necesario y el tiempo de trabajo.

Solución:

Velocidad de corte media: $v_m = 2\,\frac{v_A \cdot v_R}{v_A + v_R} = 2\,\frac{15 \text{ m/min} \cdot 27 \text{ m/min}}{15 \text{ m/min} + 27 \text{ m/min}} = 19{,}29 \text{ m/min}$

Número de dobles carreras a ajustar: $n_D = \frac{v_m \cdot 1000}{2\,L} = \frac{19{,}29 \text{ m/min} \cdot 1000}{2\,(360 \text{ mm} + 40 \text{ mm})} = 24\ ^1/\text{min}$

Se elige: $n_D = 23\ ^1/\text{min}$

Tiempo principal t_p:

Como el número de carreras que se va a establecer es menor que el número calculado, la velocidad media resultará también disminuida. Para el cálculo del tiempo de trabajo tendremos pues que determinarla de nuevo partiendo del número de carreras que se establece:

Velocidad media: $v_{m1} = \frac{n_D \cdot 2\,L}{1000} = \frac{23\ ^1/\text{min} \cdot 2 \cdot 400 \text{ mm}}{1000} = 18{,}4 \text{ m/min}$

Tiempo principal: $t_p = \frac{b}{s} \cdot \frac{2\,L}{v_{m1} \cdot 1000} = \frac{300 \text{ mm}}{0{,}8 \text{ mm/1}} \cdot \frac{2 \cdot 400 \text{ mm}}{18{,}4 \text{ m/min} \cdot 1000} = 16{,}3 \text{ min}$

Ejercicios:

1. a, b, c. Longitud de la superficie de trabajo a) 450 mm; b) 280 mm; c) 540 mm. Anchura de la superficie de trabajo a) 200 mm; b) 160 mm; c) 410 mm. Velocidad de corte v a) 12 m/min; b) 18 m/min; c) 22 m/min.

   Avance s a) 0,8 mm/d.c.; b) 0,6 mm/d.c.; c) 1,2 mm/d.c.; $l_a + l_u = 50$ mm.
   Relación entre la velocidad en la carrera de trabajo y la velocidad de retroceso a) 1:2; b) 1:1,8; c) 1:2,2. Número de dobles carreras de la máquina, como en el ejemplo.
   Calcúlense: Números de dobles carreras a emplear y tiempos principales para una pasada.

2. Una pieza se trabaja con 30 dobles carreras por minuto. La longitud de carrera L es de 300 mm. Calcúlese la velocidad media para las carreras de trabajo y de retroceso cuando éstas guardan entre sí la relación 1:2.

3. a, b, c, d. Datos: Número de dobles carreras por minuto: a) 55; b) 85; c) 110; d) 17. Longitud de carrera: a) 350 mm; b) 250 mm; c) 200 mm; d) 540 mm. Calcúlense las velocidades en la carrera de trabajo y en la de retroceso (v_A y v_R) cuando guardan éstas la relación a) 1:2; b) 1:1,8; c) 1:2,2; d) 1:1,5.

Velocidad máxima en las limadoras con accionamiento por corredera oscilante

La velocidad del carnero es aquí irregular **(fig. 150,1)**. En los puntos C y C_1 es nula, en el punto B tiene el carnero la velocidad máxima en su carrera de trabajo ($v_{A\,max}$) o en la de retroceso ($v_{R\,max}$). La velocidad del punto A es uniforme y dependiente de la distancia r del bloque de corredera al centro del disco-manivela (M). Su valor es

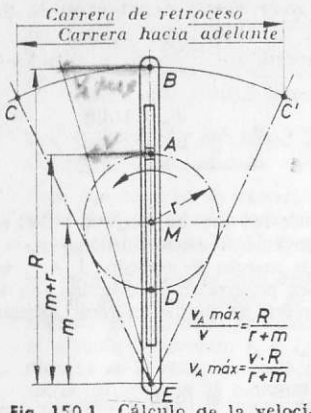


Fig. 150,1 Cálculo de la velocidad máxima de marcha de trabajo en el accionamiento mediante corredera oscilante.

$$v = \frac{2\,r \cdot \pi \cdot n_D}{1000}$$

Según la ley de proporcionalidad se tiene **(fig. 150,1)**:

$$\frac{v_{A\,max}}{v} = \frac{R}{m+r} \qquad v_{A\,max} = \frac{v \cdot R}{m+r}$$

De modo análogo se halla la velocidad máxima de retroceso:

$$\frac{v_{R\,max}}{v} = \frac{R}{m-r} \qquad v_{R\,max} = \frac{v \cdot R}{m-r}$$

Ejemplo:

En una máquina limadora se conocen: el radio de oscilación de la palanca oscilante $R = 820$ mm, la distancia del punto de giro del disco-manivela al punto de giro de la palanca oscilante $m = 550$ mm y la longitud de la manivela $r = 140$ mm. ¿Qué magnitud tiene la velocidad máxima de trabajo cuando el número de dobles carreras es $n_D = 55$d.c./min?

Solución:

El número de dobles carreras es igual al número de revoluciones del disco-manivela. La velocidad circunferencial es según esto

$$v = \frac{2\,r \cdot \pi \cdot n_D}{1000} = \frac{2 \cdot 140\text{ mm} \cdot \pi \cdot 55\ ^1/\text{min}}{1000} = 48{,}4\text{ m/min}$$

La velocidad máxima de trabajo vale entonces:

$$v_{A\,max} = \frac{v \cdot R}{m+r} = \frac{48{,}4\text{ m/min} \cdot 820\text{ mm}}{550\text{ mm} + 140\text{ mm}} = 57{,}5\text{ m/min}$$

Ejercicio:

Calcúlese en el ejemplo anterior la velocidad máxima de retroceso ($v_{R\,max}$).

Potencia de accionamiento en el cepillado y en el mortajado

En el cepillado y en el mortajado los esfuerzos de corte actúan lo mismo que en el torneado. Por esta razón empleamos también las mismas fórmulas para calcular el consumo de potencia:

$$P_{CV} = \frac{A \cdot k_s \cdot v}{75 \cdot 60 \cdot \eta} \quad \text{o bien} \quad P_{kW} = \frac{A \cdot k_s \cdot v}{102 \cdot 60 \cdot \eta}$$

A = sección de viruta en mm²
k_s = esfuerzo de corte específico en kp/mm²
v = velocidad de corte en m/min

La fuerza $F = A \cdot k_s$ se suele denominar fuerza de tracción o de arrastre. El rendimiento en cepilladoras y mortajadoras vale $\eta = 0{,}65 \ldots 0{,}85$. Este rendimiento es elevado en las máquinas dotadas de accionamiento hidráulico o eléctrico y bajo, en cambio, en las máquinas accionadas mecánicamente.

Ejemplo:

La profundidad de corte en el desbastado es $a = 7{,}5$ mm, el avance por cada doble carrera $s = 2$ mm/dc, la velocidad de corte para la carrera de trabajo es $= 16$ m/min. Calcúlese la potencia de accionamiento del motor P_{kW} si se consideran $k_s = 200$ kp/mm² y $\eta = 0{,}8$.

Solución:

$$P_{kW} = \frac{s \cdot a \cdot k_s \cdot v}{102 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{2\text{ mm/1} \cdot 7{,}5\text{ mm} \cdot 200\text{ kp/mm}^2 \cdot 16\text{ m/min}}{102 \cdot 60 \cdot 0{,}8} = 9{,}8\text{ kW}$$

La potencia de accionamiento necesaria es por tanto en números redondos de 10 kW.

Ejercicios:

1. ¿Qué magnitud tienen en el ejemplo anterior la sección transversal de la viruta A, el esfuerzo de tracción o de arranque F y la potencia necesaria en CV?
2. Hay que cepillar en una sola pasada planchas de acero de St 34 ($v = 18 \ldots 22$ m/min) que tienen 65 mm de espesor para dejarlos en 55 mm. El avance debe ser $s = 1{,}5$ mm/dc. El esfuerzo de corte específico que hay que considerar es de 140 kp/mm² y el rendimiento $\eta = 0{,}78$. Como velocidades hacia adelante que pueden ajustarse en la máquina se tienen las 8 — 10 12,5 — 16 — 20 — 25 — 31,5 — 40 — 50 m/min. Calcúlese de acuerdo con todo esto la potencia de accionamiento en kW.
3. La potencia de accionamiento de una cepilladora es $P = 12$ kW, el rendimiento $\eta = 0{,}8$. Para k_s se debe considerar 180 kp/mm², la profundidad de corte igual a 8 mm y la velocidad de corte $v = 20$ m/min. ¿Qué valor puede darse al avance para aprovechar al máximo la potencia de la máquina?
4. Se trata de determinar el consumo de potencia de una limadora. Se tiene como datos: radio de oscilación de la palanca oscilante $R = 900$ mm, distancia del punto de giro de la corredera oscilante $m = 580$ mm, longitud de la manivela $r = 160$ mm, número de dobles carreras $n_D = 45$ dc/min, profundidad de corte $a = 8$ mm, avance $s = 0{,}3$ mm/dc, esfuerzo de corte específico $k_s = 220$ kp/mm² y rendimiento $\eta = 0{,}65$.

Trabajos a realizar en cepilladoras especiales

Mecanización fina. Para la fabricación de herramientas, punzones, piezas de montajes, piezas de mecánica fina, etc., etc., es ventajoso el empleo de máquinas dotadas de variadas posibilidades de sujeción **(fig. 151,1)**.
Las piezas con formas complicadas pueden a veces trabajarse con una sola sujeción. Por medio de dispositivos para cepillar en forma acanalada o perfilada pueden producirse punzones con superficies que adoptan esas formas. Los dispositivos ópticos facilitan el ajuste exacto de la máquina y la observación de la marcha del trabajo.

Cepillado copiador. Para la preparación de superficies curvadas mediante cepillado y sin utilizar útil de forma tiene que recibir el útil de cepillar un avance que se corresponda con la forma de la pieza.
Lo mismo que en el fresado copiador o que en el torneado copiador se emplea también para el cepillado copiador una plantilla que guía al carro portaherramientas.

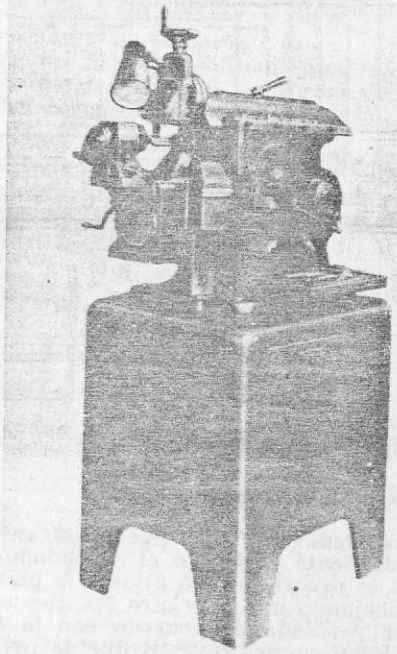


Fig. 151,1 Limadora para mecanización fina.

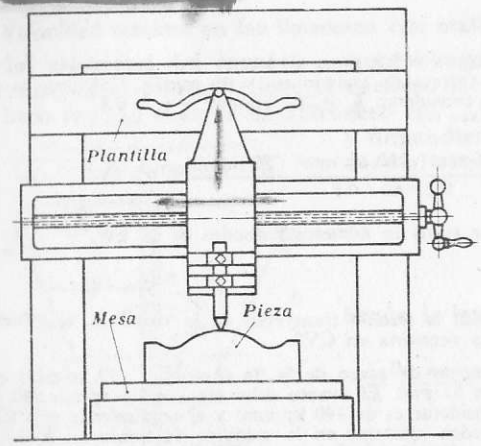


Fig. 152,1 Cepillado copiador (el distribuidor giratorio es guiado directamente por la plantilla).

En los modelos antiguos el distribuidor es guiado directamente por la plantilla. El husillo del carro está desacoplado.

Mientras el avance automático actúa en dirección horizontal sobre la corredera de distribución situada en el travesaño, desliza el distribuidor giratorio en dirección vertical siguiendo la forma de la plantilla **(fig. 152,1)**. Es desventajoso aquí el hecho de que la presión de trabajo actúe directamente sobre la guía de deslizamiento de la plantilla ocasionado un gran desgaste y además el de que las formas empinadas o con resaltos no pueden ser copiadas.

Los inconvenientes pueden ser ampliamente superados mediante el empleo de dispositivos de copia eléctricos **(fig. 152,2)**. El palpador que pasa deslizándose suavemente a lo largo de la plantilla cierra o abre, según sea el movimiento que reciba, los contactos eléctricos. Con ello se conectan o desconectan acoplamientos electromagnéticos que van unidos al husillo del carro de trabajo. El útil de cepillar obtiene de esta forma los necesarios movimientos de avance (véase página 226).

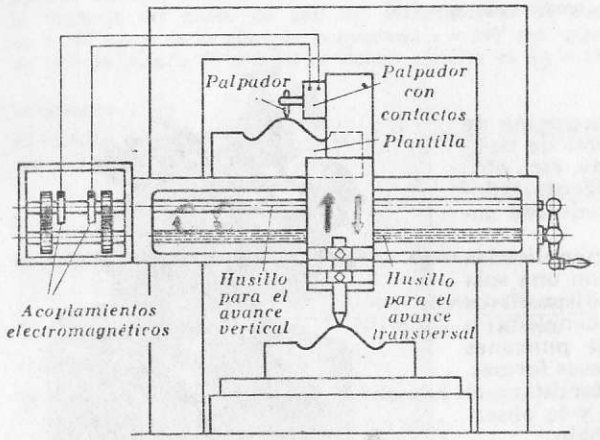


Fig. 152,2 Cepillado copiador con mando por palpador eléctrico (representación esquemática).

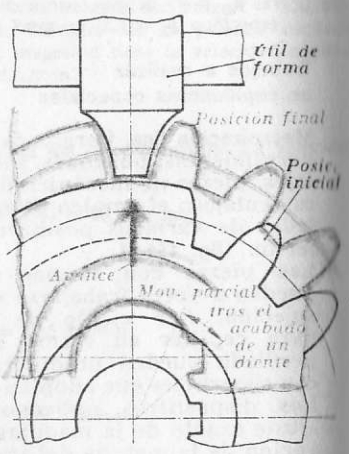


Fig. 152,3 Mortajado de una rueda dentada por el procedimiento divisor.

Mortajado de ruedas dentadas

Las ruedas dentadas pueden obtenerse mediante arranque de viruta por el procedimiento divisor o el de rodadura.

En el procedimiento divisor la pieza es tomada por el cabezal divisor y se van trabajando uno tras otro los dientes empleando para ello una cuchilla de cepillar perfilada de acuerdo con la forma del diente. Los defectos del procedimiento son los mismos que se presentan en el fresado de dientes por el procedimiento divisor **(fig. 152,3)**.

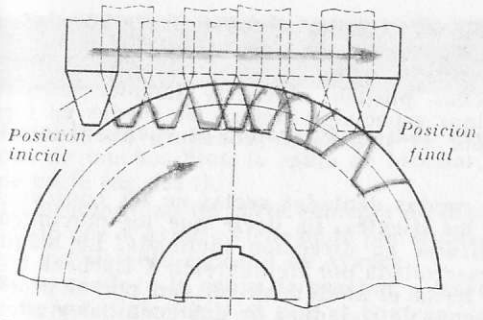


Fig. 153,1 Mortajado de una rueda dentada por el procedimiento de rodadura.

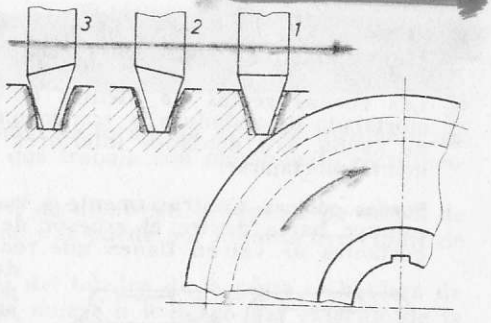


Fig. 153,2 Mortajado de una rueda dentada por el procedimiento de rodadura con tres cuchillas: 1. Desbastado previo del hueco del diente; 2. Terminación del flanco derecho del diente con el útil especial para los flancos derechos; 3. Terminación del flanco izquierdo del diente con el útil correspondiente a este flanco.

En el procedimiento de rodadura se obtiene la forma del diente mediante adecuados movimientos de avance (movimientos de rodadura) de la pieza o de la herramienta. Si se trabaja, por ejemplo, con una cuchilla mortajadora de forma trapecial (cuchilla de flanco), la pieza recibirá un movimiento de rodadura giratorio y la herramienta que va y viene, por el contrario, un movimiento de rodadura rectilíneo. Es decir que el perfil del diente se forma mediante cortes envolventes **(fig. 153,1)**.

El movimiento rectilíneo puede adicionalmente ser realizado por la pieza en vez de por la herramienta.

En muchas ocasiones se utilizan tres cuchillas. Una cuchilla ejecuta el corte previo, la segunda trabaja el flanco izquierdo y la tercera el flanco derecho **(fig. 153,2)**.

Se obtienen gran precisión y limpieza en los flancos de los dientes así como un mejor rendimiento mediante el empleo de una cuchilla en forma de peine, es decir, de una cuchilla que tiene dientes cortantes de forma trapecial, o sea, que adopta la forma de una cremallera **(fig. 153,3)**.

En un procedimiento muy empleado hoy día (procedimiento Fellow) se emplea como útil de mortajar una rueda cortante cuyos dientes adoptan una ordenación circular. En este caso obtienen tanto la pieza como la herramienta un movimiento circular de rodadura **(figs. 153,4 y 154,1)**.

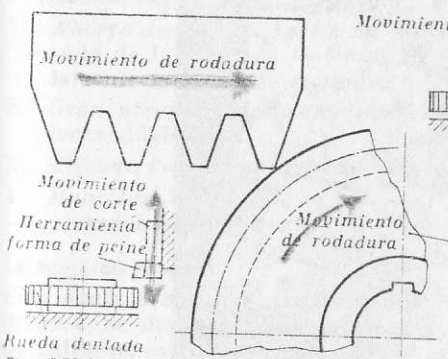


Fig. 153,3 Mortajado de ruedas dentadas por el procedimiento de rodadura y empleando herramienta en forma de peine.

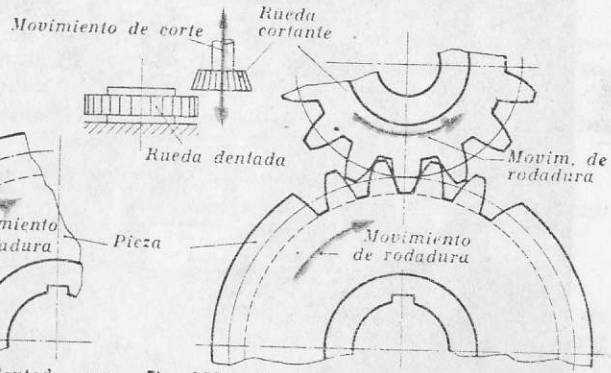


Fig. 153,4 Mortajado de ruedas dentadas por procedimiento de rodadura empleando rueda cortante (procedimiento de Fellow).

El número de carreras de las mortajadoras de rodadura es de hasta 700 dc/min. El mortajado de rodadura es por lo general más preciso que el fresado de rodadura.
Las ruedas rectas de dientes oblicuos pueden obtenerse también mediante mortajado de rodadura, y con máquinas especiales incluso las ruedas en forma de flecha. Los dentados interiores por el sistema de rodadura pueden únicamente mortajarse.

Ruedas cónicas. Contrariamente a las ruedas dentadas rectas en las cónicas disminuye hacia dentro el espesor de los dientes. Es decir que los movimientos cortantes de vaivén tienen que realizarse en dirección inclinada. La máquina desarrollada por Heindereich & Harbeck trabaja hasta el módulo de 20 mm por el procedimiento de rodadura de dos cuchillas y además la forma del diente se obtiene por el procedimiento de la plantilla.

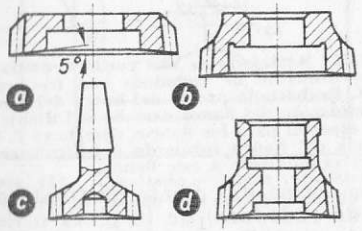


Fig. 154,1 Ruedas cortantes normalizadas para el mortajado de rodadura: a) rueda cortante de disco; b) rueda cortante de campana; c) rueda cortante de cuello; d) rueda cortante de vástago.

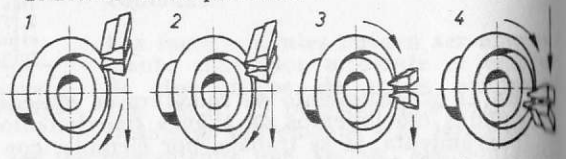


Fig. 154,2 Fabricación de ruedas cónicas mediante mortajado por el sistema de rodadura.

En el sistema de rodadura de dos cuchillas se mueven las dos cuchillas de cepillar alternativamente con movimientos de vaivén en guías oblícuas. El porta-herramientas y el cabezal divisor con la pieza obtienen aquí los necesarios movimientos de rodadura. Se ejecuta un diente tras otro **(fig. 154,2)**.

De este modo se pueden obtener también ruedas hipoides, es decir, ruedas cónicas cuyos ejes no se cortan, sino se cruzan.

En el procedimiento de las plantillas se conducen los útiles de cepillar a lo largo de una plantilla de tamaño agrandado. La pieza permanece en reposo en tres etapas. Primeramente se desbasta mediante un útil escalonado, después se trabaja la forma del diente que finalmente obtiene su perfil definitivo.

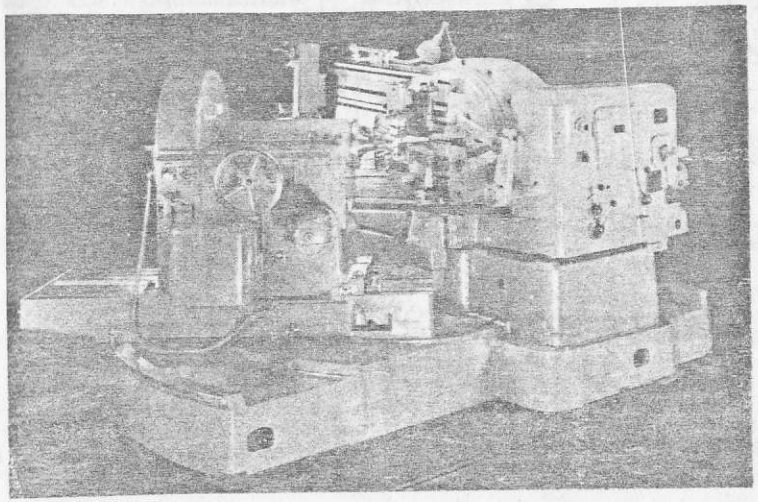


Fig. 154,3 Mortajadora para ruedas dentadas.

Arranque de viruta mediante brochado

En el brochado se obtiene el deseado cambio de forma de la pieza mediante un útil de muchos filos, la aguja de brochar, que trabaja con movimiento rectilíneo de corte **(fig. 155,1)**.
La profundidad de corte aumenta de diente en diente en el espesor de viruta de modo que el avance viene dado por sí mismo y se puede por lo tanto prescindir de un movimiento especial de avance.
Si se conduce la aguja de brochar a través del taladro de la pieza se hablará de *brochado interior* y si por el contrario se mueve a lo largo del exterior de la pieza se llamará el proceso de trabajo *brochado exterior* **(figs. 156,1 y 160,3)**.

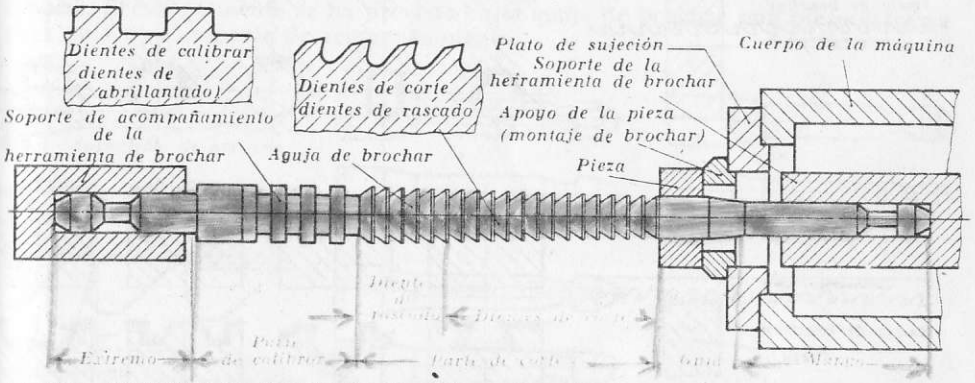


Fig.155,1 Dispositivo de brochar con la aguja correspondiente.

De este modo pueden obtenerse muy diversas formas en las piezas.
Mediante una rotación de la aguja de brochar durante el movimiento de corte se obtienen también trabajos de forma helicoidal.
Como la herramienta es muy cara, el brochado no entra en juego nada más que para trabajos en grandes series o cuando han de trabajarse repetidamente piezas de la misma clase. En estos casos presenta las siguientes notables ventajas frente al fresado, cepillado y mortajado:

1. *Ahorro de tiempo.* La forma de la pieza se obtiene por lo general en una pasada de la aguja de brochar. El proceso de brochado tarda casi siempre solamente unos pocos segundos.
2. *Gran precisión* de las piezas. Las pequeñas tolerancias hacen posible la intercambiabilidad.
3. *Elevada calidad superficial,* sin necesidad de trabajo especial de afino.
4. *Maniobra sencilla de la máquina.* Los oficiales de primera pueden ser reemplazados por ayudantes.

La aguja de brochar

Esta aguja constituye una herramienta de corte en forma de barra provista de dientes. Se distinguen las siguientes partes: mango, guía, parte de corte, parte de calibrar, extremo.
Las denominaciones y los diversos tipos están normalizados por DIN 1415 **(figuras 155,1 y 157,1)**.

El *mango* de la aguja de brochar sirve para la sujeción en el soporte correspondiente. Tiene, según sea la forma de la aguja de brochar, sección transversal, redonda o rectangular. Los mangos redondos están frecuentemente aplanados con objeto de evitar que la aguja gire. Las superficies de arrastre convenientemente trabajadas aseguran una buena transmisión del esfuerzo de tracción de la máquina **(fig. 157,2)**.
La zona que hace de guía conduce la aguja de brochar a través de la parte de pieza que hay que brochar (por ejemplo a través de un taladro) o a través de un

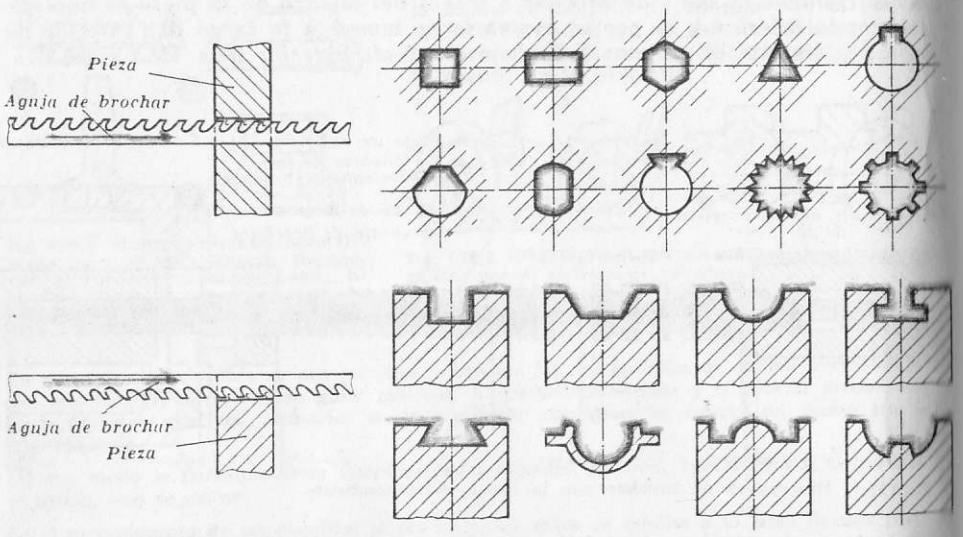


Fig. 156,1 Brochado interior — Brochado exterior.

montaje portaútil y hace así posible el correcto «agarre» de los primeros dientes. La longitud de la parte que hace de guía debe corresponder aproximadamente a la longitud de brochado.

Parte de corte. Esta parte de la aguja es la que hace el trabajo de arranque de viruta. Por regla general los primeros dientes tienen una acción cortante, mientras que los últimos tienen más bien una función de rascado o de escariado (dientes de corte y dientes de rascado) **(fig. 155,1)**.
En los dientes de corte y según sea la dureza del material el ángulo de incidencia es $\alpha = 2^\circ \ldots 5^\circ$ y el de ataque $\gamma = 2^\circ \ldots 20^\circ$ mientras que en los dientes de rascado tenemos $\alpha = 0^\circ \ldots 2^\circ$ y $\gamma = 0^\circ \ldots 3^\circ$.
Mediante un bisel de 0,3 ... 1,2 mm de ancho se obtiene un corte más uniforme y silencioso de la aguja de brochar.
La diferencia de alturas de dos dientes consecutivos viene a ser, según sean la sección transversal del núcleo de la aguja, el material y la calidad superficial pedida a la pieza, 0,02 ... 0,25 mm. Esta diferencia es mayor en los dientes de corte que en los de rascado.
El número de dientes crece con la profundidad de brochado, con la dureza del material y con las exigencias en cuanto a precisión.
Para conseguir una mejor evacuación de las virutas se redondea fuertemente el fondo del hueco entre diente y diente **(fig. 157,1)**.

La distancia entre diente y diente (división o paso t) no debe ser demasiado pequeña, pues de lo contrario el hueco para las virutas no podría alojar el volumen de virutas producido. Tiene que ser tanto mayor cuanto mayor sea la longitud a brochar en la pieza. Por otro lado tienen que estar actuando siempre al menos uno o dos dientes.
Por lo general el paso vale

$$t = 1{,}5 \ldots 3 \cdot \sqrt{\text{longitud de brochado}}$$

Parte de calibrar. Esta parte de la aguja mejora la calidad superficial. Los dientes (dientes de abrillantado) no tienen acción cortante alguna. Se limitan a prensar o presionar contra las paredes brochadas dándoles brillo **(fig. 155,1)**.

Extremo. Frecuentemente se ha previsto en la aguja de brochar una pieza extrema para guía en el soporte de acompañamiento.

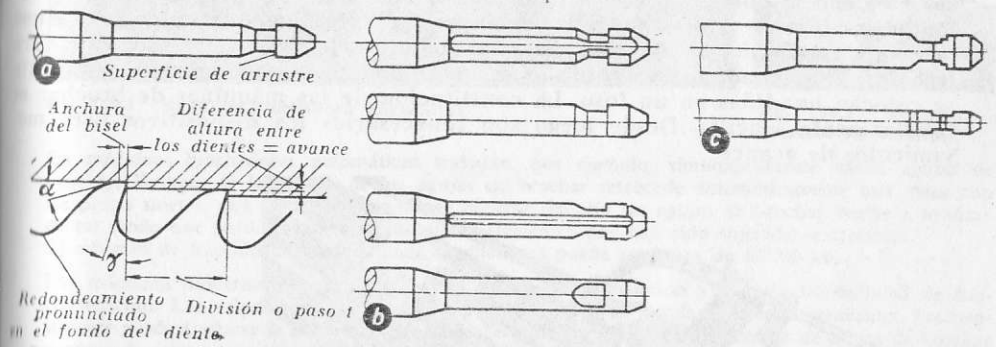


Fig. 157,1 Denominaciones en el diente de la aguja de brochar α, ángulo de incidencia; γ, ángulo de ataque.

Fig. 157,2 Formas del mango en agujas de brochar: a) mango redondo sin aseguramiento contra el giro; b) mangos con aplanados para seguridad contra el giro; c) mango rectangular.

La **longitud total** de la aguja de brochar depende de:

a) La profundidad de brochado; b) de la longitud de brochado; c) del material de la pieza; d) de la forma de la pieza; e) de la calidad superficial exigida; f) de la longitud de máquina disponible.
Se hacen agujeros de brochar hasta de unos 2000 mm de longitud. En algunos casos, como por ejemplo cuando tienen que ser producidas grandes cantidades de viruta, se emplean también dos o tres agujas una tras otra (agujas de desbastar, de afinar y de abrillantar).

Fabricación. Como material para agujas de brochar se emplea acero de herramientas (acero al carbono) o también acero con aleaciones que le hacen especialmente tenaz, como por ejemplo acero al vanadio.

Los dientes se consiguen por fresado, en las agujas redondas por torneado y pudiendo también insertarse. La ventaja de estos dientes «postizos» es la de que en caso de deterioro pueden recambiarse.

Presenta especiales dificultades la cuestión del temple a consecuencia de la gran longitud pues las agujas de brochar no pueden deformarse.

Máquinas de brochar

Según que la herramienta sea movida por la máquina en dirección vertical o en dirección horizontal, se distinguirá entre máquinas brochadoras verticales o máquinas brochadoras horizontales **(figs. 159,1 y 2)**. Las máquinas brochadoras horizontales son de aplicaciones más variadas.

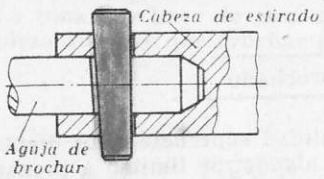


Fig. 158,1 Bloqueo de la aguja de brochar mediante chaveta.

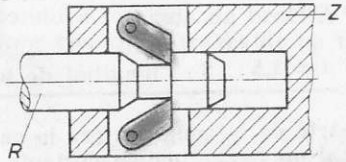


Fig. 158,2 Dispositivo automático de bloqueo.

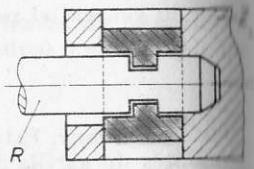


Fig. 158,3 Bloqueo de la aguja de brochar mediante cierre de bayoneta.

Puede resultar ventajoso en estas máquinas el hecho de que la altura de trabajo sea baja con lo que se pueden sujetar fácil y cómodamente piezas grandes y voluminosas. Frente a esta ventaja presentan las máquinas verticales la de que ocupan menos sitio. Se emplean estas máquinas verticales preferentemente para trabajos de brochado exterior. En los casos de grandes longitudes de herramienta se colocan hundidas en un foso. La constitución de las máquinas de brochar es relativamente sencilla. Desde luego son innecesarios los dispositivos para movimientos de avance.

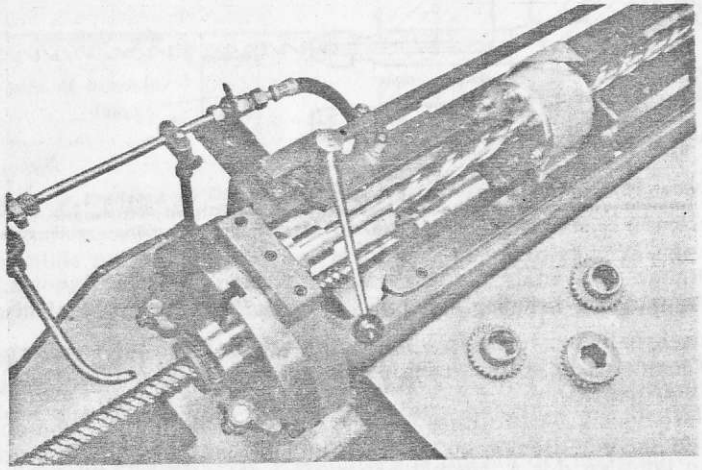


Fig. 158,4 Brochado de espirales interiores mediante mando mecánicamente acoplado de la herramienta en una brochadora horizontal.

La herramienta se sujeta en el portaútil del carro de estirado. Los dispositivos de bloqueo están concebidos de tal forma que puede sin dificultad soltarse la herramienta después de cada pasada **(fig. 158,1 ... 3)**.

Para el accionamiento del carro de estirado se utilizan cremallera y rueda dentada, husillo y tuerca o bien un dispositivo hidráulico. Lo mismo que en las cepilladoras y mortajadoras se ha previsto también en estas máquinas un retroceso acelerado del carro de estirado **(fig. 159,3)**.

En máquinas sencillas, pequeñas y sobre todo en la máquinas antiguas la aguja de brochar tiene que ser metida a mano en el taladro de la pieza después de cada pasada o bien meter la guía de entrada y bloquearla en el portaútil

En muchas máquinas modernas la herramienta, una vez separada de la pieza terminada, retrocede automáticamente, es recibida por un soporte de arrastre (soporte de acompañamiento), se desbloquea se conduce al taladro, se bloquea en el soporte portaútil y se pasa a través de la pieza.

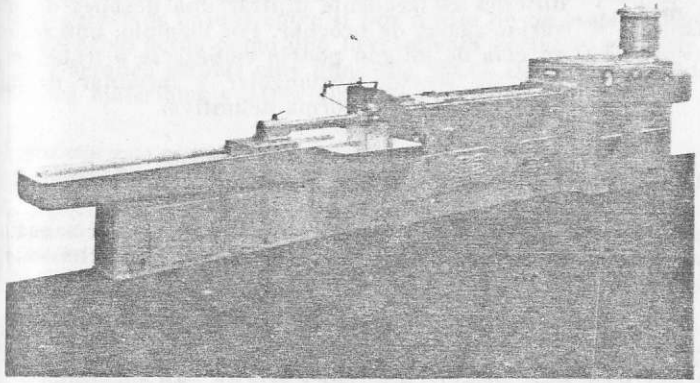


Fig. 159,1 Máquina brochadora horizontal.

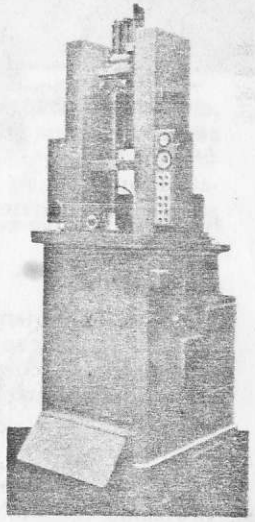


Fig. 159,2 Máquina brochadora vertical.

En máquinas brochadoras automáticas trabajan, por ejemplo, simultáneamente varias agujas de brochar. Después de la pasada de las agujas de brochar retrocede automáticamente una mesa con las piezas sujetas, gira en 90° y después de haberse retirado las agujas de brochar vuelve a avanzar de tal modo que pueden trabajarse las piezas siguientes que han sido sujetadas entretanto.
El esfuerzo de tracción de las máquinas brochadoras puede ser hasta de 50 000 kp.

Las máquinas modernas se caracterizan por su sólida construcción y elevada tranquilidad de funcionamiento. Las velocidades de brochado y de retroceso se regulan sin escalonamiento. Frecuentemente puede ajustarse la carga máxima de la herramienta y evitar así la rotura de agujas de brochar a causa de sobrecargas. La maniobra mediante pedales hace que las manos queden libres para otros trabajos. Al porta-herramientas se le puede dar durante el proceso de brochado un movimiento de rotación y de este modo hacerse factible la obtención de ranuras helicoidales mediante el brochado **(fig. 158,4)**.

Sujeción de la pieza. La pieza se conduce generalmente por sus partes ya trabajadas (taladro o superficies) para que asiente en el dispositivo de sujeción de la máquina **(fig. 155,1)**.

A veces se recibe la pieza en la máquina sin sujetarla en ella de un modo especial.

En muchos casos pueden sujetarse varias piezas una detrás de otra.

La calidad del trabajo de brochado depende grandemente de la del mecanizado previo y su exactitud. Especialmente el taladro en que se introduce la herramienta tiene que ajustarse bien y la superficie de apoyo ser exactamente perpendicular al eje del mismo.

Antes de sujetar la pieza hay que limpiar cuidadosamente de virutas y análogos. Un apoyo oblicuo de la pieza hace que la aguja se curve y resulte mal guiada **(fig. 160,1)**.

Por medio de montajes especiales de sujeción puede brocharse también utilizando el procedimiento de divisor **(fig. 160,2)**.

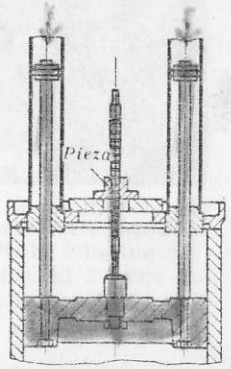


Fig. 159,3 Accionamiento hidráulico de una máquina brochadora de doble montante.

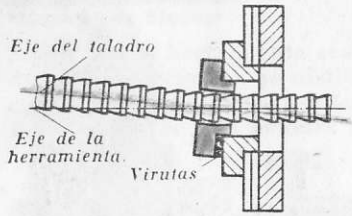


Fig. 160,1 Mal apoyo de la pieza.

Herramienta

Cuando cambie la profundidad de brochado, o la largura del mismo, o la calidad del material que se trabaje hay, a veces, que utilizar otra aguja de brochar (véase la pág. 156). Para trabajar formas difíciles es frecuente utilizar una después de otra varias agujas de brochar. Por ejemplo, una ranura en cola de milano podría empezarse a trabajar en plan de sección rectangular y terminar después de brocharla a su forma definitiva.

Lubricación

El fuerte rozamiento exige ineludiblemente una buena y abundante lubricación. Además se obtiene con esto una mejor superficie exterior. Por lo general se emplea aceite de colza y para el aluminio y sus aleaciones petróleo o trementina. La fundición maleable, la fundición gris o el latón se trabajan muchas veces en seco.

Velocidad de corte

Brochado interior: Acero: 3 ... 7 m/min; fundición gris: 2 ... 6 m/min.

Brochado exterior: Acero: 5 ... 10 m/min; fundición gris: 4 ... 8 m/min.

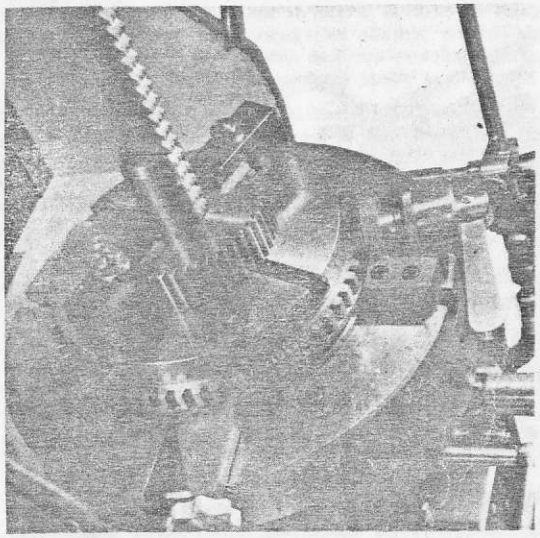


Fig. 160,2 Brochado de cubos de chaveta múltiple por el procedimiento divisor.

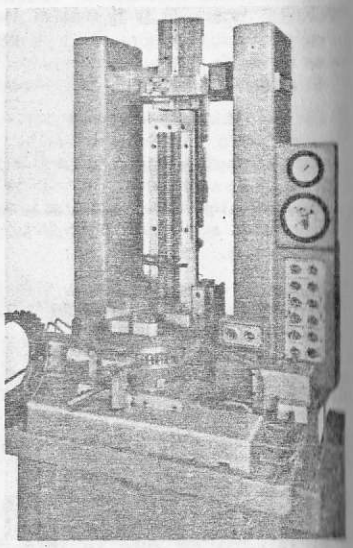


Fig. 160,3 Brachado exterior.

Arranque de viruta mediante esmerilado

Para esmerilar se utilizan como herramientas cuerpos abrasivos (por ejemplo, muelas de esmeril o piedras de afilar) que están compuestos por muchos y duros granos abrasivos unidos entre sí por medio de un material aglutinante. Cada granillo abrasivo actúa como una herramienta cortante, es decir, penetra en el material y arranca virutas muy finas **(fig. 161,1)**. De este modo pueden ser trabajados todos los materiales y especialmente los materiales duros.

Este procedimiento es ineludible para el afilado de útiles de corte. Tiene además gran importancia como medio de mejora de la calidad superficial y exactitud de medidas de las piezas obtenidas por trabajo previo de torneado, cepillado o fresado y, sobre todo, de las que han sido endurecidas (temple, cementación). Según sea la superficie que se esmerile se hablará de esmerilado redondo, esmerilado plano, esmerilado de roscas, de flancos de dientes o de cualquier otro perfil arbitrario.

A veces se trabaja la costra de fundición de las piezas fundidas con objeto de eliminar de ellas las costuras de fundición u otras rugosidades para proporcionar, por ejemplo, apoyo uniforme a las patas de las máquinas o para dar mejor aspecto a la superficie exterior. Mediante esmerilado con una pasta abrasiva se consiguen buenas superficies de junta (por ejemplo en asientos de válvulas).

Por medio de muelas delgadas de espiral pueden también cortarse piezas.

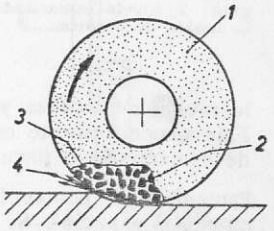


Fig. 161,1 Proceso de esmerilado. 1. Muela de esmeril; 2. Granillos de esmeril; 3. Material aglutinante; 4. Virutas de esmerilado.

Lo mismo que para cualquier procedimiento de trabajo, se necesitan también en el esmerilado movimientos principal o de corte, de avance y de aproximación. El movimiento principal o de corte lo recibe en todo caso la muela de esmeril animada de movimiento de rotación. Los movimientos de avance y de aproximación pueden ser dados, según sea el tipo constructivo de la máquina, ya sea a la pieza o ya sea a la herramienta.

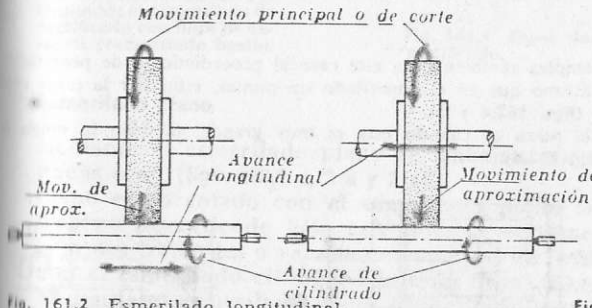


Fig. 161,2 Esmerilado longitudinal.

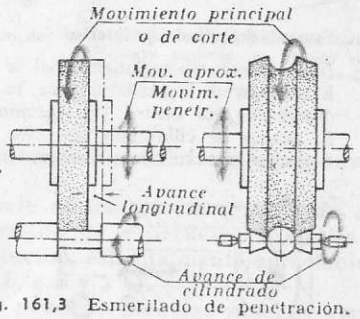


Fig. 161,3 Esmerilado de penetración.

Esmerilado cilíndrico exterior

Esmerilado longitudinal. Generalmente se sujeta la pieza (árbol, pernos, espigas conos, etc.) entre puntas. Para el avance se necesita un movimiento longitudinal y otro redondo (de giro) (maniobras longitudinal y de cilindrado). El avance de cilindrado lo recibe la pieza y el longitudinal por el contrario lo pueden tener bien sea la pieza o bien sea la herramienta. El movimiento de aproximación es la herramienta quien lo recibe **(fig. 161,2)**.

Esmerilado de penetración. Aquí lo que se hace es acercar la muela a la pieza de tal modo que aquélla trabaje a toda su anchura. El avance longitudinal se omite por lo tanto. En casos de gran anchura de esmerilado, se acerca repetidas veces

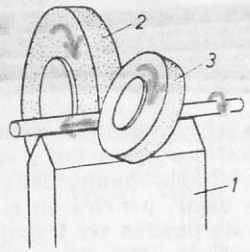


Fig. 162,1 Esmerilado sin puntas, procedimiento de paso. 1, guía; 2, muela esmeriladora; 3, muela de avance.

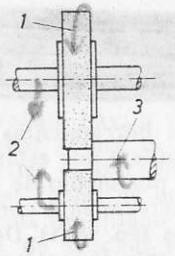


Fig. 162,2 Esmerilado sin puntas, procedimiento de penetración. 1, movimiento principal o de corte; 2, movimiento de penetración o de aproximación; 3, avance de cilindrado de la pieza.

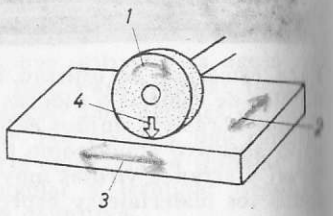


Fig. 162,3 Movimientos en el esmerilado plano. 1, movimiento principal o de corte; 2, avance transversal; 3, avance longitudinal; 4, movimiento de aproximación.

la muela a la pieza y se termina de esmerilar con una carrera de ida y vuelta. Este procedimiento entra en juego por lo general para piezas con poca anchura de esmerilado o para esmerilados de forma **(fig. 161,3)**.

Esmerilado sin puntas. Piezas lisas, cilíndricas, pueden esmerilarse también sin una sujeción especial. Se utilizan en este procedimiento dos muelas animadas del mismo sentido de rotación pero de velocidades periféricas diferentes. Como consecuencia del efecto de frenado de la muela de avance que gira más lentamente recibe la pieza un movimiento de giro (avance de cilindrado) lento, si lo comparamos con el de elevado número de revoluciones que tiene la muela esmeriladora. El eje de la muela de avance está inclinado además y da con esto a la pieza su avance longitudinal. De este modo son empujados sobre un apoyo templado una detrás de otra las piezas que pasan entre dos muelas de esmeril (procedimiento de paso) **(figs. 162,1 y 163,5)**.

Prescindiendo del avance longitudinal pueden obtenerse también piezas con resaltos o con formas especiales (procedimiento de penetración) **(fig. 162,2)**.

Esmerilado cilíndrico interior

Junto al esmerilado longitudinal se emplea también para este caso el procedimiento de penetración. Existe además la posibilidad de, lo mismo que en el esmerilado sin puntas, esmerilar la pieza cilíndricamente por dentro, sin sujeción **(figs. 162,4 y 5)**.
El avance de cilindrado lo recibe la pieza o, cuando ésta es muy grande, también la muela de esmerilar (movimiento planetario) **(fig. 162,6)**.

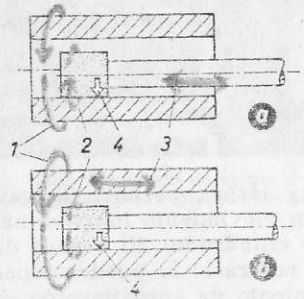


Fig. 162,4 Esmerilado cilíndrico interior, esmerilado longitudinal. 1, avance cilíndrico; 2, movimiento principal o de corte; 3, avance longitudinal; 4, movimiento de aproximación.

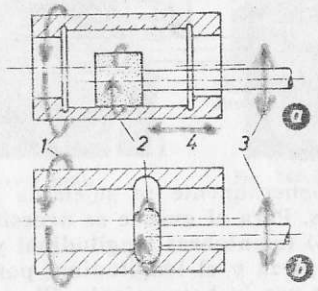


Fig. 162,5 Esmerilado cilíndrico interior, procedimiento de penetración. 1, avance cilíndrico; 2, movimiento principal o de corte; 3, movimiento de penetración; 4, avance longit.

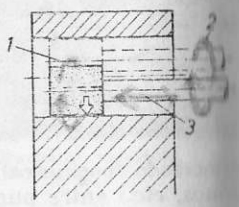
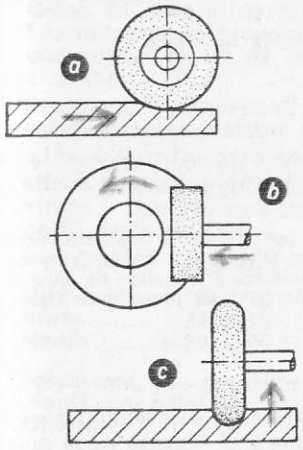
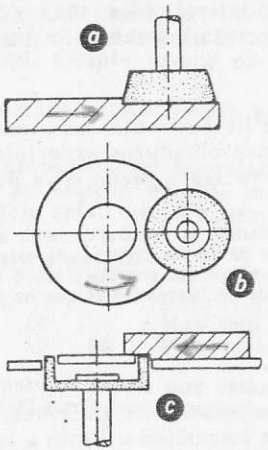


Fig. 162,6 Esmerilado cilíndrico interior en caso de pieza inmóvil. 1, movimiento principal o de corte; 2, movimiento circular del husillo de esmerilar (movimiento planetario); 3, avance longitudinal.





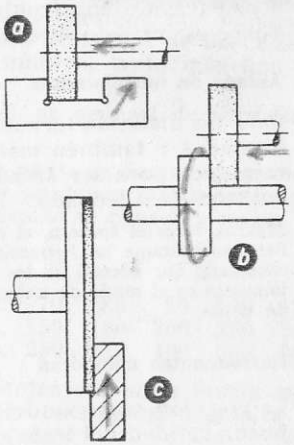


Fig. 163,1 Esmerilado tangencial o circunferencial. a) Esmerilado plano; b) esmerilado de refrentado; c) esmerilado de forma.

Fig. 163,2 Esmerilado frontal. a) Esmerilado plano; b) esmerilado de refrentado; c) esmerilado de rectificado.

Fig. 163,3 Esmerilado lateral. a) Esmerilado plano; b) esmerilado de refrentado; c) esmerilado de rectificado con hoja de esmeril (esmerilado basto).

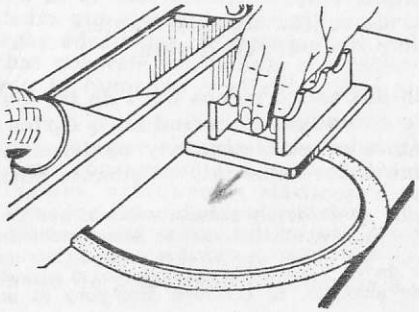


Fig. 163,4 Esmerilado de rectificado.

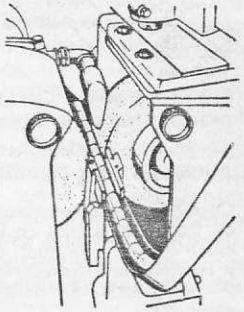


Fig. 163,5 Esmerilado sin puntas de piezas cilíndricas por el procedimiento de paso.

Esmerilado plano

Mediante el esmerilado plano se trabajan por ejemplo superficies planas, inclinadas o no **(figs. 163,1 a, 2 a y 3 a)**.
Como emparentado con el esmerilado plano suele citarse el *esmerilado de refrentar*. Se entiende bajo este nombre el esmerilado de superficies frontales o laterales (rebordes o valonas) en cuerpos de revolución, especialmente en relación con el esmerilado cilíndrico interior **(figs. 163,1 b, 2 b y 3 b)**.
Mediante el esmerilado plano (esmerilado basto) pueden obtenerse muchas veces superficies planas de modo más barato que por fresado o cepillado. Para piezas en bruto se necesita además aquí tan sólo un relativamente pequeño exceso para el mecanizado.
En el esmerilado plano de rectificado se pasa la pieza a mano por la muela de esmeril. Es decir que se elimina la tarea de sujeción de la pieza. Se trabajan de este modo preferentemente piezas en bruto difíciles de sujetar, especialmente piezas de pared delgada que se prestan mal a ser sujetadas **(figs. 163,2 c, 3 c y 163,4)**. Muchas veces se someten también al esmerilado rectificador a piezas previamente cepilladas o fresadas.
La muela de esmeril trabaja indistintamente por su superficie periférica o por las laterales. De acuerdo con esto el husillo de esmerilar se coloca paralelo (es-

merilado circunferencial o periférico) a la superficie de trabajo o perpendicular a ella (esmerilado frontal o lateral) **(figs. 163,1 y 3)**.
Sobre esmerilado mediante cinta o banda sin fin, véase la **fig. 169,4.**

Afilado de herramientas

Para las distintas formas de herramientas se necesitan muelas especialmente conformadas y también máquinas afiladoras especiales. Las herramientas a afilar se conducen para ser afiladas ya sea a mano o ya de modo mecánico por medio de un montaje adecuado.

Muchas veces el tornero, el cepillador, el taladrador, etc., afilan por sí mismos sus herramientas. Pero no obstante las herramientas de forma complicada exigen ser afiladas por un operario experimentado que además de los conocimientos generales sobre herramientas y máquinas de afilar esté impuesto en el modo de trabajar de las herramientas que ha de afilar y en los procesos de arranque de viruta.

Herramientas afiladoras

La elección correcta del cuerpo afilador (la muela de esmeril) es esencial para la buena calidad del trabajo de esmerilado. Junto a la forma y el tamaño de la muela tiene sobre todo gran influencia:

1. El medio abrasivo.
2. El granulado.
3. El aglutinante.
4. La dureza.
5. La estructura.

Medio abrasivo. Los granillos más o menos finos de las muelas están fabricados en primer lugar a base de corundum (o corindón) o carburo de silicio. En muchos casos, no obstante, se emplea el diamante y modernamente también el carburo bórico o una combinación boro-aluminio (diamante bórico).

Corindón. Está constituido por óxido de aluminio cristalizado que se obtiene en virtud de proceso de fusión de arcilla en el horno eléctrico (por esto se llama también electrocorindón). Se distingue entre corindón normal, corindón semipuro y corindón puro. El corindón normal tiene color pardo y contiene aproximadamente un 95 % de óxido de aluminio, el corindón puro es blanco y contiene 99 %, y más, de óxido de aluminio. El corindón semi-puro es un término medio entre estos otros dos.
El corindón normal es menos duro pero más tenaz que el corindón puro.
Hay distintos nombres comerciales como, por ejemplo, Alundum, Bikorit, Rapid-Corund (Corindón rápido).
El esmeril es el corindón impuro. Contiene aproximadamente 50 ... 80 % de óxido de aluminio.

Carburo de silicio. Se trata de una combinación de silicio y carbono, obtenida en el horno eléctrico partiendo de cuarzo, serrín y sal común tratados a altas temperaturas. El color varía desde el negro hasta el verde claro. El carburo de silicio forma cristales extraordinariamente duros y cortantes pero que son también muy quebradizos.
Nombres comerciales, por ejemplo: Carborundum, Carbidurit.

Carburo de boro - diamante de boro. Es una combinación de boro y carbono o de boro y aluminio con dureza todavía mayor que la del carburo de silicio.

Diamante. El diamante es carbono cristalizado. No hay material más duro que éste.

Símbolos para designar los medios abrasivos, según DIN 69 100:

Corindón normal	NK	Corindón (negro)	KS	Esmeril	SL
Corindón semipuro ...	HK	Corindón natural ...	KO	Diamante	DT
Corindón puro	EK	Carburo de silicio ...	SC		

Empleo: *Corindón normal:* Aceros templados y aleados.
Carburo de silicio: Fundición gris, fundición dura, metal duro, metales no férreos y materiales no metálicos.
Carburo de boro: Aceros muy duros y metal duro.
Diamante: Aceros duros, metal duro, diamante.

Grano. El tamaño de los granos del material abrasivo se designa por números. Los números corresponden aproximadamente al número de mallas de un cedazo que entran en 1″ de longitud. Cuanto mayor es el número, tanto más fino es el grano.

Cuanto más fino sea el grano tanto más limpia queda, en general, la superficie exterior de la pieza.

A veces se emplean cuerpos abrasivos con granulación mixta es decir con granos bastos y granos más finos. Se obtiene de este modo un buen rendimiento en viruta y también una superficie relativamente lisa. Además se conserva mejor el perfil de la muela.

Designación del grano según DIN 69 100:

Muy basto.	8	10	12			Fino	70	80	90	100	120
Basto	14	16	20	24		Muy fino	150	180	200	220	240
Medio	30	36	46	50	60	Pulverulento.	280	320	400	500	600

Aglutinante. Los granillos abrasivos tienen que estar mantenidos en la muela mediante un aglutinante. Se distingue entre aglutinantes cerámicos, vegetales y minerales.

El *aglutinante cerámico* es el más corrientemente empleado como consecuencia de las buenas propiedades que reúne. Los granillos abrasivos se mezclan con arcilla refractaria y cargas adecuadas, se prensan en moldes y se cuecen a unos 1400°. Las muelas hechas con este aglutinante son resistentes, porosas, agarran y son insensibles frente a la humedad y el calor. Por otra parte son en cambio frágiles.

Los *aglutinantes vegetales* son por ejemplo la resina sintética (Bakelit), el caucho y la resina natural. Como consecuencia de su relativamente grande elasticidad se llaman estos aglutinantes, aglutinantes elásticos. Como son muy resistentes, puede trabajarse con elevadas velocidades periféricas (hasta 80 m/s). El desarrollo de calor es, con todo, bastante reducido. *Estos aglutinantes son especialmente adecuados para muelas delgadas (muelas de corte) y para afilar cuchillas finas.* Las muelas con aglutinado de goma tienen tendencia a «engrasar» con el calor.

Entre los *aglutinantes minerales* podemos citar la magnesita y el silicato (vidrio soluble). Son ahora poco usados.

Las combinaciones de magnesita soportan sólo reducidas velocidades de rotación y son sensible al agua. Suministran, empero, una superficie exterior limpia a las piezas.

Las combinaciones de silicato se prestan bien para aquellos casos en que las piezas hayan de calentarse tan poco como sea posible, por ejemplo en cuchillas muy agudas.

Designaciones del aglutinante según DIN 69 100:

Cerámica	Ke	Magnesita	Mg
Resina sintética	Ba	Aceite	Ol
Goma	Gu	Resina natural	Nh
Silicato	Si		

Dureza. Se entiende aquí por dureza la fuerza con que están mantenidos en el agluinante los granillos abrasivos. Es decir que la dureza depende principalmente de la resistencia en sí del aglutinante. Juegan, sin embargo también un papel importante el tamaño de los distintos granillos abrasivos y las distancias entre ellos.

La dureza tiene que ser tal que los granillos abrasivos embotados se arranquen por sí mismos permaneciendo por lo tanto la muela afilada, sin degastarse demasiado rápidamente por otra parte.

Como con los materiales duros los granillos se embotan antes, tiene que desprenderse por lo tanto más fácilmente.

Para materiales duros hay que emplear muelas blandas y para materiales blandos por el contrario muelas duras.

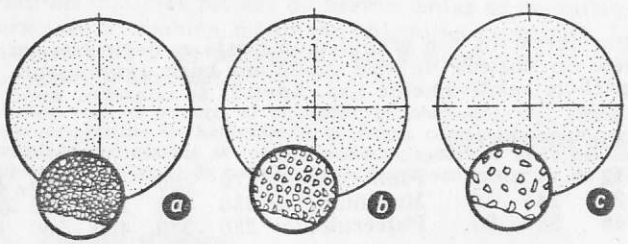


Fig. 166,1 Estructura de las muelas: a) compacta; b) media; c) basta.

Designación de los grados de dureza según DIN 69 100 (escala Norton):

Muy blanda	E F G
Blanda	H I J K
Media	L M N O
Dura	P Q R S
Muy dura	T U V W
Durísima	X Y Z

Estructura (fig. 166,1). Para el trabajo de esmerilado es además importante qué distancia guardan entre sí los granillos abrasivos en la muela y también qué grado de compacidad, o por el contrario de porosidad, tiene el aglutinante.
Esta constitución interna de la muela es la que llamamos su estructura. De esta estructura depende grandemente el tamaño de los huecos para virutas y con ello también el «agarre» de la muela.

Se elige la estructura tanto más compacta cuanto más duro y frágil y tanto más abierta (porosa) cuanto más blando y tenaz sea el material que ha de tratarse.

Designación de la estructura según DIN 69 100:

Muy compacta	0 y 1	Abierta (porosa)	6 y 7
Compacta	2 y 3	Muy abierta ((muy porosa) ...	8 y 9
Media	4 y 5		

Formas de las muelas

Para trabajos en las máquinas rectificadoras se utilizan muelas con forma de cuerpo de revolución al que según sea el fin perseguido se da una u otra forma.

Muelas rectas. A las muelas cilíndricas con superficies laterales planas y verticales se les llama según DIN 69 120 *muelas rectas* (gerade Schleifkörper) **(fig. 167,1)**. Estas muelas trabajan por su perifieria. Para los distintos trabajos que se presenten pueden adoptar estas muelas formas muy diversas en su superficie periférica **(fig. 167,1)**.

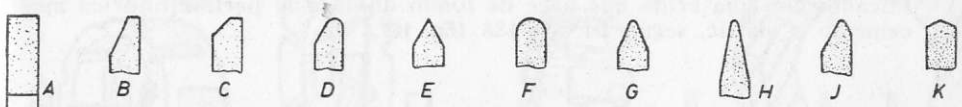


Fig. 167,1 A, muela recta, B ... K formas de la superficie periférica de la muela según DIN 69 120.

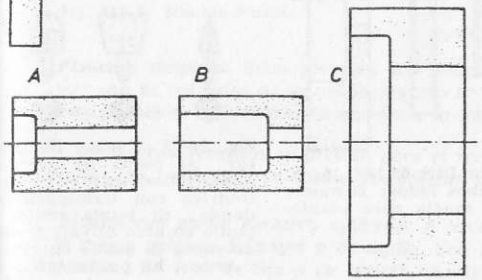


Fig. 167,2 Muelas rectas ahuecadas para rectificado interior (DIN 69 125). A muela recta, ahuecada por un solo lado; B muela recta con ahuecamiento profundo; C muela recta con ahuecamiento plano.

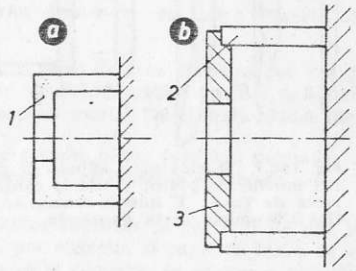


Fig. 167,3 Muelas rectas de vaso cilíndrico para rectificado plano; a) muela recta de vaso según DIN 69 139; b) muela cilíndrica con brida de fondo tomada con cemento o mástic, según DIN 69 138; 1, fondo; 2, muela cilíndrica; 3, brida de fondo.

Ejemplos de normalización:

a) Muelas rectas sin forma especial en el borde o periferia con 300 mm de diámetro exterior, 40 mm de anchura, 76 mm de diámetro del taladro, de corindón normal, grano 50, grado de dureza N, estructura 5 y aglutinante cerámico:

Muela 300 × 40 × 76 DIN 69 120 NK 50 N 5 Ke

b) Muela con borde o periferia semicircular (F), 125 mm de diámetro exterior, 20 mm de anchura, 32 mm de diámetro del taladro, de corindón puro, grano 70, grado de dureza M, estructura 5 y aglutinante de resina sintética:

Muela 125 × 20 × 32 F DIN 69 120 EK 70 M 5 Ba

Muelas rectas ahuecadas para rectificado interior (rectificado cilíndrico interior); estas muelas tienen un taladro ensanchado o ahuecado según DIN 69 125 **(fig. 167,2)**.

Ejemplo de normalización:

Muela recta ahuecada por un solo lado para rectificado interior según DIN 69 125, 40 mm de diámetro exterior, 32 mm de anchura, 13 mm de taladro, de corindón normal, grano 50, dureza L, estructura 4 y aglutinante cerámico:

Muela A 40 × 32 × 13 DIN 69 125 NK 50 L 4 Ke

Para el rectificado periférico y para el lateral se utilizan generalmente muelas rectas y para el frontal, por el contrario, muelas de vaso.

Muelas de vaso rectas para rectificado plano; en estas muelas según DIN 69 139 el ahuecamiento es tan grande que el espesor del suelo o del alma es menor que un tercio de la anchura total de la muela **(fig. 167,3 a).**

Ejemplo de normalización:

Muela recta de vaso con 100 mm de diámetro exterior, de carburo de silicio, grano 46, grado de dureza J, estructura 5 y aglutinante cerámico:

Muela de vaso 100 DIN 69 139 S C 46 J 5 Ke

Las demás medidas vienen determinadas en la hoja de normas.

En vez de grandes muelas de vaso de una sola pieza se fabrican cilindros rectificados con una brida que hace de fondo unida a la parte cilíndrica mediante cemento o mástic, según DIN 69 138 **(fig. 167,3 b).**

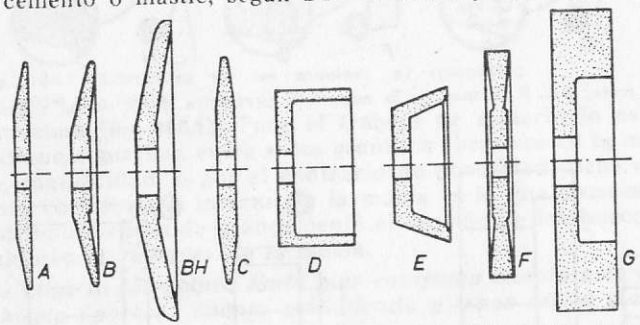


Fig. 168,1 Muelas para afilado de útiles según DIN 69 149; A, B, BH muelas de plato; C muela cónica por ambos lados; D muela recta de vaso; E muela cónica de vaso; F muela para plantillas; G muela recta ahuecada.

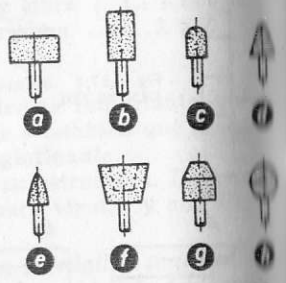


Fig. 168,2 Puntas de rectificar: a) punta de disco; b) punta cilíndrica; c) punta cilíndrica con terminación redonda; d) punta cónica; e) punta en arco ojival; f) punta de vaso; g) punta en cilindro y cono; h) punta esférica.

Muelas para el afilado de herramientas. Se utilizan tanto para la fabricación de útiles como para mantenerlos afilados. Las formas están normalizadas según DIN 69 149.

Ejemplo de normalización **(fig. 168,1):**

Muela de plato según la forma B, 100 mm de diámetro exterior, de corindón puro, grano 70, grado de dureza 0, estructura 4, aglutinante cerámico:

Muela de plato B DIN 69 149 E K 70 O 4 Ke

Todas las demás medidas se encuentran en la hoja de normas correspondiente.

Muelas para fresas y tornillos sin fin están normalizados en DIN 69 151, las de roscas en DIN 69 160 y las de dientes de ruedas en DIN 69 162.

Puntas de rectificar. Se designan bajo este nombre (DIN 69 170) pequeñas muelas fijadas con mástic sobre un vástago de acero. Se utilizan por ejemplo en combinación con árboles flexibles para el trabajo a mano de moldes (estampas, matrices). Los datos normalizados están contenidos en la hoja DIN 69 170 **(fig. 168,2).** Puntas especialmente pequeñas (muelas para torno de dentista) son por ejemplo usadas en medicina dental.

Piedras de afilar y limas de afilar. Las piedras de afilar se utilizan para afilar filos de herramientas (generalmente a mano). Para acero de herramientas o para acero rápido se utiliza como abrasivo el corindón puro y para metal duro el carburo de silicio.

Para afilado de herramientas de mano (por ejemplo el escoplo o formón de los carpinteros) existen piedras de afilar que son de piedra natural con superficie tratada con un abrasivo para alisarlas. Para trabajos de retoque en piezas y también para desbarbar existen limas de corindón o de carburo de silicio. Estas limas tienen sección transversal cuadrada, rectangular, redonda, semicircular o triangular.

Muelas para gran rendimiento de viruta. Con objeto de evitar quemadas, deformaciones y grietas cuando se trata de grandes rendimientos de viruta y especialmente cuando los materiales que se trabajan son delicados, se ha tratado de crear muelas interrumpidas por medio de ranuras. En virtud de las numerosas aristas de ataque se produce una mejor acción de rectificado. Las ranuras mejoran la refrigeración y la eliminación de viruta. Las muelas se prestan para el afilado plano y para el de las herramientas (Muelas Nurei) **(fig. 169,1).**

Segmentos abrasivos. Se obtienen grandes rendimientos en el rectificado plano, empleando muelas constituidas por segmentos abrasivos dispuestos alrededor de un cuerpo de revolución de acero **(fig. 169,2).**

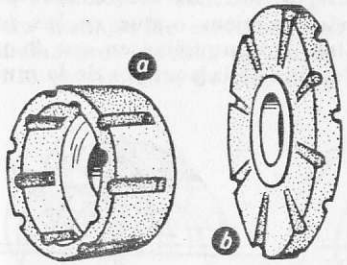


Fig. 169,1 Muelas Nurei.

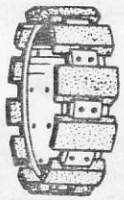


Fig. 169,2 Muelas de segmentos.

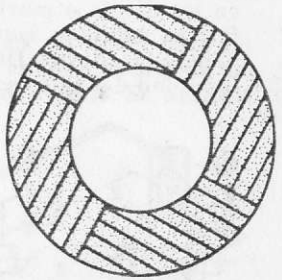


Fig. 169,3 Plancha abrasiva.

Planchas abrasivas. Estas planchas son discos de acero, a veces de gran diámetro que van provistos por uno de sus lados de un recubrimiento abrasivo. Este recubrimiento está provisto de ranuras. Con esto se mejora el rendimiento en viruta lo mismo que con las muelas Nurei antes citadas **(fig 169,3).**

Las planchas abrasivas se prestan para el rectificado de grandes piezas fundidas, prensadas o estampadas. Se puede por su medio reemplazar ventajosamente el cepillado o el fresado.

Muelas con medio abrasivo aplicado. A veces los granillos abrasivos se pegan sobre una base más o menos delgada de papel o de tejido. Son conocidos, por ejemplo, el papel de lija o de esmeril y también las telas de lija o de esmeril que se expenden en el comercio en pliegos o en rollos. Estos medios abrasivos se encuentran también a veces dispuestos en la periferia o en las superficies laterales de discos en algunos casos con una base elástica. Se han acreditado especialmente en los últimos tiempos las cintas esmeriladoras sin fin **(fig. 169,4).**

Velocidad periférica. Es de grande importancia para el trabajo de rectificado la elección de la velocidad periférica correcta.

Una mayor velocidad periférica con pequeño avance hace por ejemplo el efecto de una granulación más fina. Además de esto el disco parece más fuerte, es decir, que los granillos abrasivos ya embotados se arrancan más difícilmente. Cuando la velocidad periférica es demasiado baja podría por otro lado hacer el efecto de que el grano fuera más basto y que la dureza del disco fuera menor. Es decir, que la velocidad periférica hay que acompasarla a las condiciones del trabajo.

En ningún caso deben sobrepasarse las velocidades circunferenciales máximas admisibles indicadas en la etiqueta. Generalmente esas velocidades no pasan de los 35 m/s. En casos especiales están

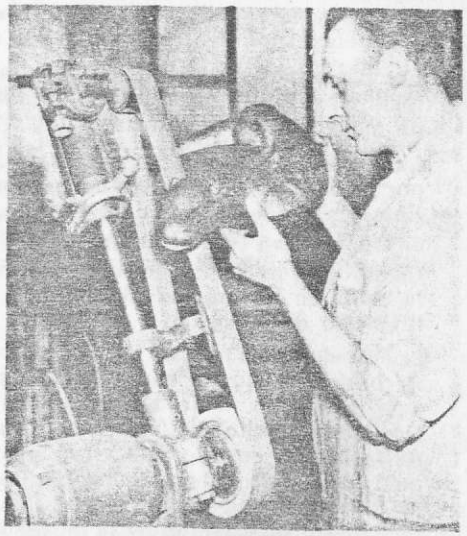


Fig. 169,4 Trabajo en la banda esmeriladora.

admitidos por la Deutsche Schleifscheibenausschuss (DSA) (= Comité Alemán de Discos Esmeriladores) para los discos con aglutinante de resina sintética o de goma 45 m/s, para los discos con núcleo de acero 60 m/s y para los discos o muelas corrientes para cortar, con aglutinante de resina sintética, 80 ... 100 m/s. Pero para esto es preciso que sobre el disco haya una observación que autorice esas velocidades.

En las muelas con ahuecamiento profundo (por ejemplo en las muelas de vaso), en los discos o muelas a base de segmentos abrasivos, etc., las velocidades periféricas máximas son más bajas que en las muelas macizas o que en las poco ahuecadas. Según DIN se consideran de este último tipo aquellas en que la profundidad del ahuecado es igual o menor que dos tercios de la anchura de la muela.

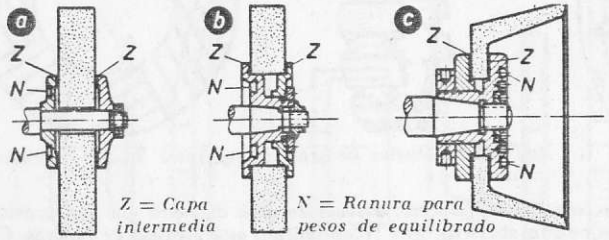


Fig. 170,1 Sujeción de las muelas de rectificar: a) muela con taladro pequeño; b) muela con taladro grande; c) muela de vaso.

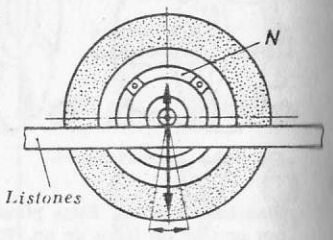


Fig. 170,2 Equilibrado de la muela sobre listones dispuestos horizontalmente.

Sujeción de las muelas. Las muelas han de sujetarse sobre el eje correspondiente de modo especialmente cuidadoso y teniendo en cuenta las prescripciones sobre accidentes de las máquinas para trabajo de metales.

Antes de colocar la muela se la prueba al sonido suspendiéndola de un husillo. Las que tienen un sonido poco limpio, o sea las deterioradas o defectuosas, no deben ser empleadas.

La muela debe poderse deslizar solamente de modo fácil con su taladro sobre el árbol correspondiente o cuando son de taladro grande sobre el cuerpo del soporte.

Los diámetros de las bridas de fijación (mordazas laterales) tienen que ser de igual magnitud y para muelas de más de 200 mm de diámetro deben ser al menos de un tercio de ese diámetro **(fig. 170,1)**.

Las bridas deben ser ahuecadas de tal modo que no apoyen sobre la muela, sino por un borde de aproximadamente una veinteava parte del diámetro de la muela. Entre la brida y la muela hay que colocar una capa intermedia, o forro, de goma, fieltro, cuero o análogos.

Cuando no pueden colocarse caperuzas o casquetes protectores, el diámetro de la brida en las muelas afiladas será al menos ½ y en las rectas al menos ²/₃ del diámetro de la muela.

Equilibrado de las muelas. La muela una vez colocada sobre el árbol correspondiente no basta con que se mueva sin golpes sino que tiene que estar impecablemente equilibrada, es decir, que el peso de la misma debe estar uniformemente repartido de tal modo que el centro de gravedad de la muela coincida con el centro de la misma cuando ésta gira. En caso contrario la muela tiene un movimiento que no es completamente tranquilo; las consecuencias serían un menor rendimiento de la muela, una peor calidad de las superficies de trabajo y también una más fuerte solicitación de la muela y de su soporte.

Para el equilibrado se puede colocar por ejemplo la muela, sujetada, con su árbol

sobre los listones de un caballete de equilibrado. Los listones se nivelan con un nivel de agua.

En vez de los listones se emplean a veces dos pares de discos sobre los que rueda el árbol de la muela o bien una balanza de equilibrar. La muela debe conservar siempre su posición cuando se hace girar lentamente por fracciones. Para esto los pesos de compensación o equilibrado (generalmente, dos) se desplazan convenientemente en unas ranuras en cola de milano dispuestas en las bridas de sujeción **(figs. 170,2; 171,1 y 2)**.

Para trabajos de rectificado especialmente limpios y precisos así como para las muelas muy anchas no basta a veces con el *equilibrado estático* mediante un lento movimiento de giro de la muela, a que nos acabamos de referir. Se necesita

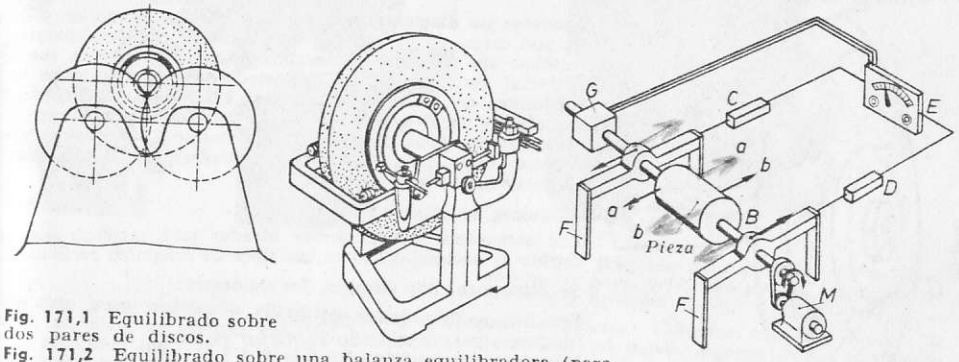


Fig. 171,1 Equilibrado sobre dos pares de discos.

Fig. 171,2 Equilibrado sobre una balanza equilibradora (para el equilibrado estático).

Fig. 171,3 Principio de una equilibradora dinámica: *a* y *b* fuerzas centrífugas que dan origen a oscilaciones o vibraciones de desequilibrio. *F* caballete elástico, *A* y *B* oscilaciones, *C* y *D* absorbedor de oscilaciones, *E* aparato indicador eléctrico, *G* aparato para determinación de la posición angular del desequilibrio, *M* accionamiento.

entonces un *equilibrado dinámico* es decir determinar la masa centrífuga que desequilibra la muela y sus efectos durante el giro rápido de la misma. Para esto se necesitan máquinas equilibradoras con aparatos indicadores eléctricos **(fig. 171,3)**.

Después de un largo uso o cuando el desgaste del disco es ya grande hay que comprobarlo de nuevo y compensar el desequilibrio que haya podido sobrevenir. Puede producirse también desequilibrio cuando operando con esmerilado húmedo se haya colmatado unilateralmente de humedad el disco. Será entonces conveniente antes de parar la maquina dejar a la muela que gire en seco para que la humedad sea proyectada o centrifugada al exterior.

Rectificado, regeneración o reavivado de la muela. De tiempo en tiempo hay que someter a las muelas embotadas o que golpean y las especialmente perfiladas a un tratamiento que podemos llamar de rectificado o reavivado. Se utilizan para ello diamantes de rectificar u otros aparatos sin diamante.

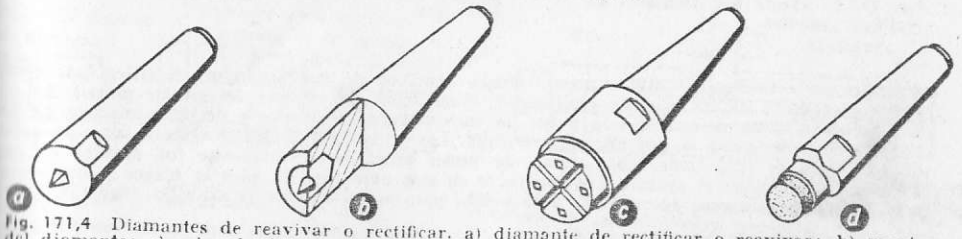


Fig. 171,4 Diamantes de reavivar o rectificar. a) diamante de rectificar o reavivar; b) montura del diamante; c) erizo de diamantes; d) agregado de diamantes.

Diamantes de rectificar o reavivar. Los *diamantes de rectificar o reavivar normales* se adaptan en monturas de acero mediante soldadura especial de plata o de cobre o bien se engastan en cobre (**fig. 171,4**). Para su uso tiene el diamante que estar sujeto con inclinación hacia a bajo y lateral de modo que la punta vaya en retraso. Con objeto de que siempre ataque una arista aguda, hay que girar frecuentemente el soporte o variar su ángulo de incidencia. El diamante no debe recalentarse y tiene, en consecuencia, que estar bien refrigerado. La velocidad periférica de la muela se baja un poco si es posible (**fig. 172,2**).

El *erizo de diamantes* consiste en varios pequeños diamantes engarzados en metal duro. Se prestan bien para el arranque de grandes cantidades de viruta, por ejemplo para muelas que golpean fuertemente, y tienen la ventaja de que puedan desgastarse completamente (**fig. 171,4 c**).

Los *agregados de diamantes* son aparatos rectificadores o reavivadores en los cuales se han repartido, sobre una masa de metal duro de acero o de bronce, diamantes de determinada magnitud de grano. Se utilizan ventajosamente para muelas de grano fino con formas de arista viva, por ejemplo en muelas para rectificado de roscas (**fig. 171,4 d y 172,1**).

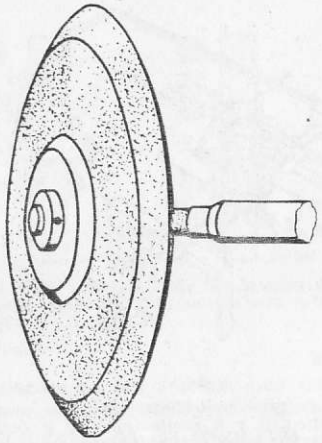


Fig. 172,1 Rectificado con agregado de diamantes.

Aparatos sin diamante para rectificar muelas. Como los diamantes son caros, en cuanto ello es posible se emplean aparatos de rectificar sin diamante. Generalmente consisten en una ruedecita de metal duro que gira en cojinetes de metal duro o en varias ruedecillas de acero estriadas (**figs. 172,3 y 4**). Las ruedecillas se colocan en el centro del disco animado de movimiento de rotación con lo cual se pasa inmediatamente a carreras de vaivén. A veces basta para rectificar con emplear sencillas piedras de carburo de silicio.

Máquinas de afilar

Los numerosos procedimientos ideados para rectificar han conducido al desarrollo de muchos tipos de máquinas rectificadoras.

Se distinguen, por ejemplo, los siguientes:

Sencillos aparatos porta-muelas.
Máquinas para rectificado cilíndrico exterior.
Máquinas de rectificar sin puntas.
Máquinas para rectificado cilíndrico interior.
Máquinas para esmerilado de superficies planas.
Máquinas para afilado de herramientas.
Máquinas rectificadoras especiales (por ejemplo máquinas de rectificar flancos de dientes, máquinas de rectificar roscas, máquinas rectificadoras copiadoras [rectificadoras de perfiles]).

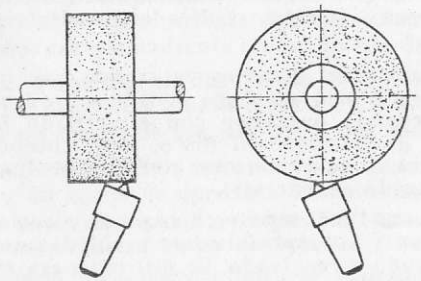


Fig. 172,2 Ajuste del diamante de rectificar muelas.

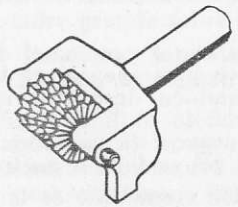


Fig. 172,3 Aparato para rectificar muelas compuesto por ruedecillas estriadas.

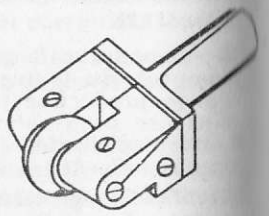


Fig. 172,4 Aparato para rectificar muelas desprovisto de diamante.

Aparato porta-muelas. Se utiliza para trabajos sencillos de rectificado en el taller (por ejemplo para afilar útiles de torno o de cepilladora, eliminación de rugosidades en las piezas). La pieza se conduce a mano desapareciendo todos los movimientos de avance y de aproximación. La constitución de la máquina es por ello muy sencilla. Las piezas a trabajar se apoyan sobre un soporte que a veces es basculante, con objeto de poder mantener exactamente los ángulos de corte. Frecuentemente tiene el aparato dos muelas y en este caso una de ellas es mayor y sirve para el trabajo previo y la otra es más fina y se utiliza para el rectificado de acabado. (**fig. 173,1**).

En el rectificado de herramientas de metal duro existe muchas veces otra muela especial para el bruñido (**fig. 173,2**).

Fig. 173,1 Aparato porta-muelas.

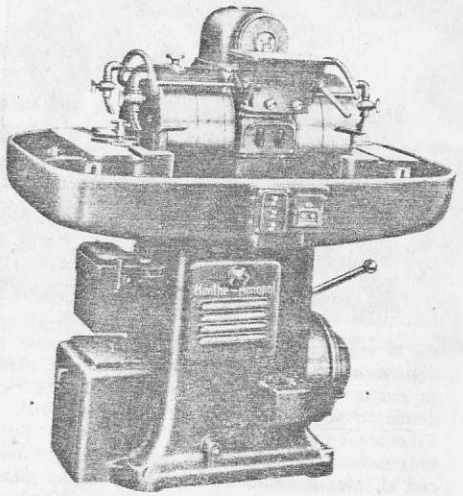


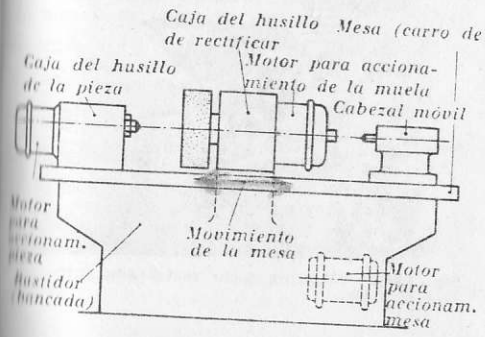
Fig. 173,2 Máquina para rectificar metal duro con muela para rectificado previo, rectificado de acabado y bruñido.

Máquina para rectificado cilíndrico exterior. *Partes principales:* Columna, caja del husillo de rectificar, mesa de trabajo, caja del husillo de la pieza, cabezal móvil, órganos de accionamiento y de maniobra (**fig. 173,3 y 4**). La columna es relativamente pesada y a poder ser se funde de una sola pieza con objeto de que la máquina trabaje sin sacudidas. La *caja de husillo de rectificar* contiene el husillo con la muela. El accionamiento se obtiene mediante un electromotor firmemente unido a la citada caja. Como el mecanismo de engranajes perturba notablemente la tranquilidad de marcha de la muela no se utiliza generalmente sino la transmisión de fuerza a través de correas sin fin (correas de seda, correas trapezoidales o correas planas). El *husillo de rectificar*, templado, rectificado y bruñido en los cuellos de apoyo funciona generalmente con cojinetes de deslizamiento de bronce. El empuje en el sentido longitudinal del husillo lo absorben, por lo general, cojinetes de bolas axiales. Los accidentes que puedan sobrevenir por rotura de la muela se evitan mediante una caperuza protectora de material tenaz.

La caja del husillo de rectificar se puede a veces girar en 180° y puede aplicársele un montaje adecuado para el rectificado interior (véase máquina universal para rectificado cilíndrico, página 175).

En la mesa de trabajo van dispuestos la caja del husillo de la pieza, el cabezal móvil y eventualmente, lunetas. Para el avance longitudinal de la pieza se mueve la mesa guiada por las correspondientes bandas de la columna. Para el movimiento de vaivén se prevé un accionamiento mecánico (cremallera, rueda dentada) o uno hidráulico. Las inversiones de marcha automática corren a cargo de topes.

La parte superior de la mesa (mesa superior) puede desplazarse para el rectificado de conos esbeltos (**fig. 173,4**). Si el movimiento longitudinal lo realiza la muela, la caja del husillo desliza en una guía especial de la columna (bancada).



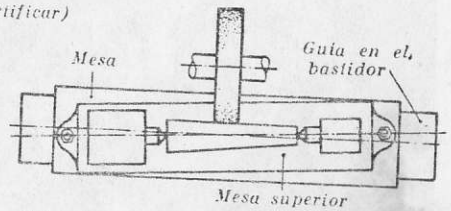


Fig. 173,4 Rectificado cónico mediante desplazamiento de giro del carro superior.

Fig. 173,3 Constitución de una máquina para rectificado cilíndrico (representación simplificada).

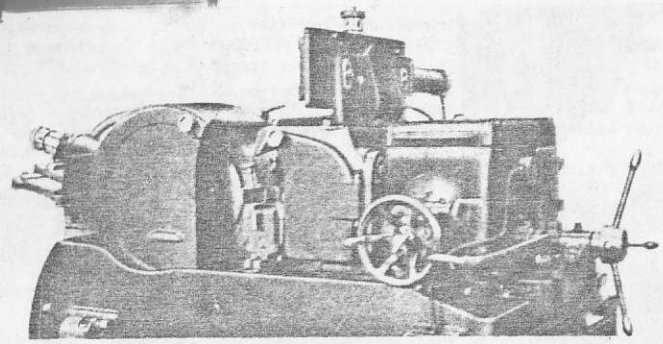


Fig. 174,1 Rectificado sin puntas.

En la caja del husillo de la pieza va sujeta ésta. El husillo es hueco y en las máquinas pequeñas tiene mordazas de sujeción (pág. 179). La parte superior puede bascularse con objeto de que incluso en el caso de sujeción unilateral de la pieza (plato) pueda hacerse rectificado cónico. Para accionamiento se utiliza un electromotor especial.
El cabezal móvil es análogo al del torno. Su pínola, empero, va guiada de modo elástico en el eje longitudinal, con objeto de que pueda amoldarse a las variaciones de longitud que puedan sobrevenir con el calentamiento de la pieza. Para las piezas pesadas la pínola puede también fijarse fuertemente. Otros accesorios son las lunetas para apoyo de piezas largas, un dispositivo para rectificado húmedo y frecuentemente un montaje con diamante incorporado para tornear.

Rectificadores sin puntas. Sus partes principales son la caja del husillo con motor de accionamiento para éste y la caja de engranajes con motor para accionar el husillo de la muela reguladora. Para la transmisión de fuerza se utiliza generalmente para el husillo de rectificar la correa trapecial y para la muela de regulación un mecanismo de tornillo sin fin. La muela reguladora puede bascularse para regular el avance longitudinal. Además de esto, de acuerdo con el diámetro de la pieza, puede ajustarse la distancia entre las dos muelas **(figs. 162,1,2 y 174,1).**
El apoyo de la pieza está fijado a un caballete de soporte. Para el procedimiento de paso tiene éste unas guías laterales y por el contrario para el procedimiento de penetración un dispositivo de expulsión **(fig. 174,2).**
Con un montaje de diamantes para tornear se pueden en cualquier momento rectificar exactamente ambas muelas. Un dispositivo de ajuste de precisión hace posible la aproximación hasta 0,001 mm. Todas las partes de la máquina se construyen extraordinariamente fuertes y rígidas.
Ventajas del rectificado sin puntas.

1. Queda suprimida la operación de sujetar la pieza.
2. Rectificado ininterrumpido en el procedimiento de paso.
3. Son innecesarios los centrajes.
4. Se evita la flexión de la pieza (cosa importante para las piezas delgadas).
5. Se necesita poca demasía para el rectificado.

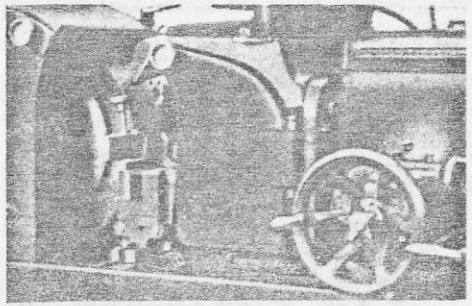


Fig. 174,2 Caballete de soporte de la pieza con carriles de apoyo y mandíbulas de guía.

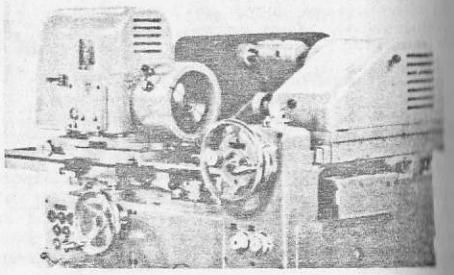


Fig. 174,3 Máquina para rectificado interior y plana.

Máquina rectificadora para interiores.

Rectificadora sencilla para interiores. Se parece en su constitución a la máquina para rectificado cilíndrico exterior.

Las piezas no se sujetan entre puntas sino en un plato (plato de tres mordazas, plato magnético) o en un montaje. El cabezal móvil falta aquí por lo tanto. La pieza y la muela tienen movimientos de sentidos encontrados. Puesto que los taladros de distintos tamaños exigen husillos de rectificar de distintos gruesos, estos últimos se hacen recambiables. El tamaño menor de la muela exige un número notablemente más alto de revoluciones que cuando se trata del rectificado exterior.

Máquina para rectificado interior y plano (figs. 174,3 y 175,1). Resultan ventajosas las rectificadoras para interiores provistas de un dispositivo para el rectificado plano, ya que esto hace posible trabajar la superficie plana y el taladro con una sola sujeción de la pieza y además hacer que la superficie plana quede exactamente normal al taladro.

Máquina universal para rectificado cilíndrico. Con esta máquina pueden hacerse rectificados cilíndricos tanto exteriores como interiores. Para cada uno de estos tipos de trabajo se ha previsto un husillo distinto, generalmente con accionamiento también distinto.

Máquina rectificadora de interiores para piezas grandes y pesadas en estado de reposo. Exigen una construcción especial de la mesa del husillo puesto que éste toma también a su cargo el avance cilíndrico. Para el accionamiento circular se utiliza un mecanismo de engranajes planetarios **(figs. 162,6 y 208,1).**

Máquinas para rectificado plano. Estas máquinas están dotadas de un husillo de rectificar dispuesto horizontal o verticalmente **(fig. 175,2).** La caja del husillo contiene además del husillo de rectificar los órganos de accionamiento incluido un electromotor especial. El husillo puede ajustarse en altura (movimiento de aproximación).

La mesa sirve para sujetar las piezas por medio de bridas u orejas de sujeción, tornillos, platos magnéticos, dispositivos divisores o montajes especiales. La mesa obtiene el avance longitudinal de vaivén y, después de cada carrera, el avance transversal. Muchas veces las rectificadoras planeadoras van equipadas con mesa redonda.

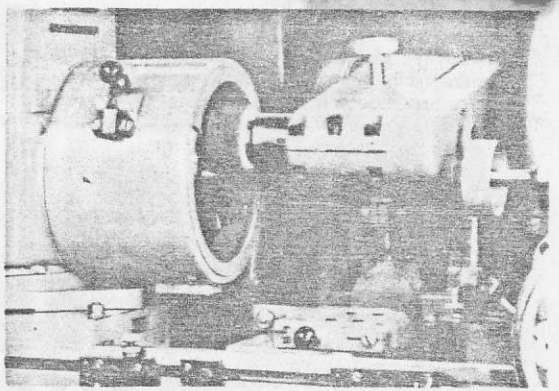


Fig. 175,1 Máquina para rectificado de interiores y plano con el husillo de planear girado.

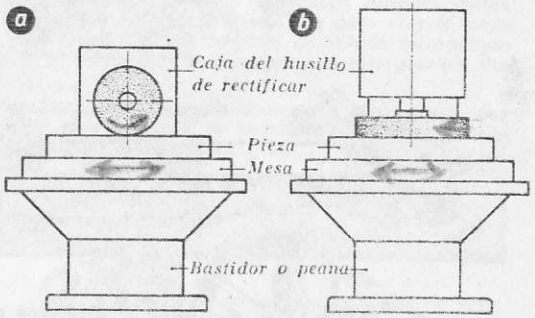


Fig. 175,2 Máquina para rectificado plano. a) husillo de rectificar paralelo a la superficie de trabajo; b) husillo de rectificar dispuesto perpendicularmente a la superficie de trabajo.

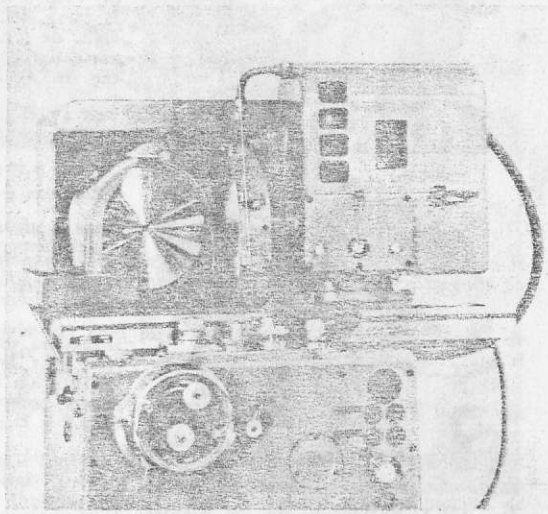


Fig. 175,3 Máquina para rectificado plano.

Máquina para rectificado plano. Se utilizan estas máquinas especialmente para piezas en forma de disco que exigen una gran exactitud de planitud.
La pieza recibe un movimiento circular (avance circular) mientras la muela es guiada en dirección radial sobre la superficie a planear (avance radial) **(fig. 175,3)**.
A veces pueden obtenerse en la misma máquina conos interiores y exteriores.

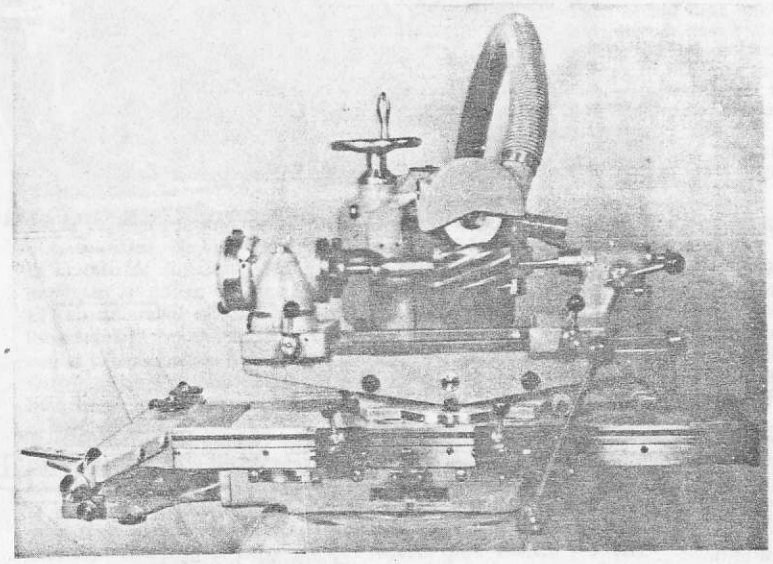


Fig. 176,1 Máquina universal para afilado de herramientas. Rectificado de una fresa cilíndrica con ranura espiral, por medio de dispositivo especial de rectificado espiral sin apoyo de dientes.

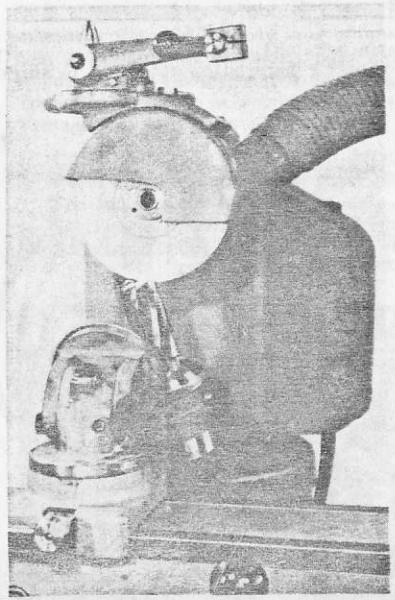


Fig. 176,2 Rectificado de los dientes frontales de una fresa de vástago con dispositivo divisor basculante.

Máquina rectificadora planeadora. El husillo de rectificar está dispuesto perpendicularmente a la superficie de trabajo. El motor de accionamiento va alojado en la armazón, en forma de caja, de la máquina. La muela (muela de vaso o muela de segmentos) gira en una abertura de la mesa. La pieza se mueve a mano a lo largo de una regla de guía. La parte delantera de la mesa puede sacarse para permitir el rectificado de piezas con resaltos **(fig. 163,4)**.

Máquinas para afilar herramientas

Para el afilado de útiles de torno y de cepillado se emplea corrientemente el sencillo soporte para muela **(figs. 173,1 y 2)**. Las fresas, los escariadores y otros lo mejor es afilarlos en una máquina universal para afilado de herramientas.

Máquina universal para afilar herramientas. Se caracteriza por las grandes posibilidades que ofrece para la adaptación de la muela a la forma del diente de las a veces complicadas piezas que han de trabajarse **(figs. 176,1 y 2)**.

Así por ejemplo, la muela no solamente es ajustable en altura, sino que a veces puede bascular en 360° juntamente con el cabezal para amolar. Además de esto puede inclinarse este cabezal de acuerdo con el ángulo de despulla de los dientes de la fresa que se afile.

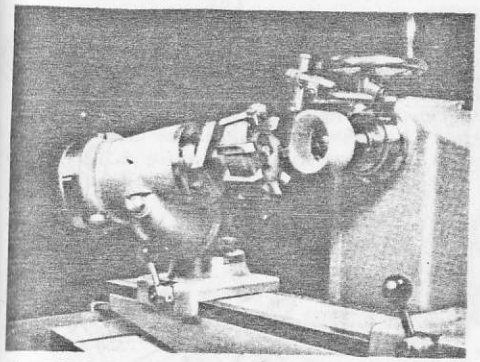


Fig. 177,1 Rectificado o afilado de un cabezal de cuchillas en un aparato divisor basculante.

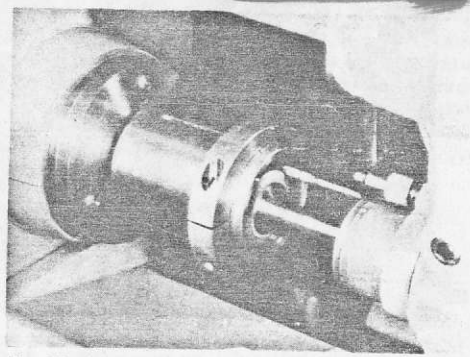


Fig. 177,2 Rectificado de una rosca interior.

En el bastidor, configurado en forma de caja, desliza un carro transversal. La mesa de guía puede girar sobre el carro transversal, con objeto de poder hacer también rectificados espirales. Sobre la mesa de guía se encuentran, por ejemplo, una mesa de trabajo basculante para el rectificado del necesario ángulo en herramientas cónicas. Con auxilio de un montaje de afilado incorporado puede ser afilada lá muela en el correcto plano. Para trabajar entre puntas se han previsto dos cabezales.

Un cabezal divisor rotatorio a voluntad y un dispositivo especial para rectificado espiral, que ejecuta espirales uniformes con ayuda de regla de guía y banda de rodamiento, facilitan la ejecución de muchos trabajos difíciles de rectificado **(figs. 176,2 y 177,1)**.

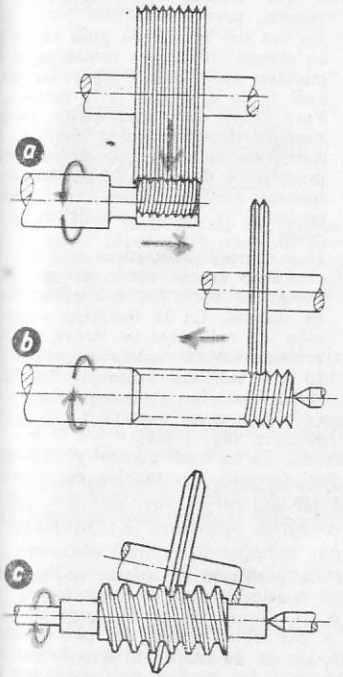


Fig. 177,3 a) rectificado de roscas, procedimiento de penetración; b) rectificado de roscas, procedimiento de rectificado longitudinal; c) rectificado de un tornillo sin fin.

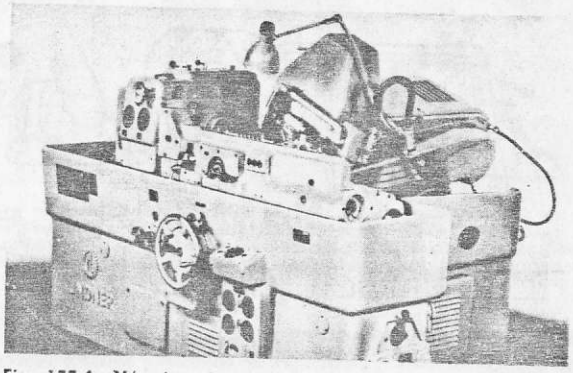


Fig. 177,4 Máquina de rectificar roscas.

Máquinas de rectificar especiales

Máquinas de rectificar roscas (figs. 177,2 y 4). Sirven para la ejecución de roscas muy exactas (por ejemplo en husillos de guía, husillos de medición, galgas de roscas).

Especialmente para piezas templadas el procedimiento es de importancia, ya que las deformaciones producidas por el temple pueden ser compensadas con ello.

A veces se pueden amolar las roscas partiendo de una pieza maciza.

La maquina trabaja de modo parecido al torno con un husillo de guía que es accionado a través de ruedas de cambio desde el cabezal de la pieza. De la calidad del hussillo de guía depende la de la rosca que se obtenga. Por esta razón se ejecuta muy cuidadosamente, se le templa y se rectifica.

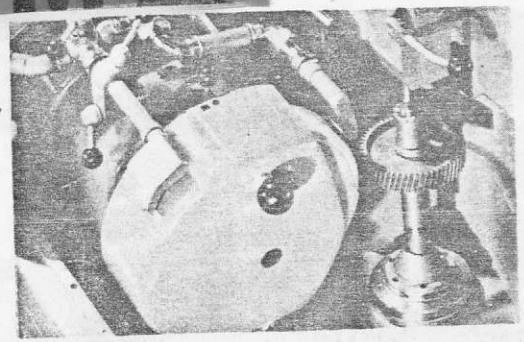


Fig. 178,2 Esmerilado por rodadura de una rueda con dentado helicoidal, en una máquina de esmerilar ruedas dentadas provista de tornillo sin fin.

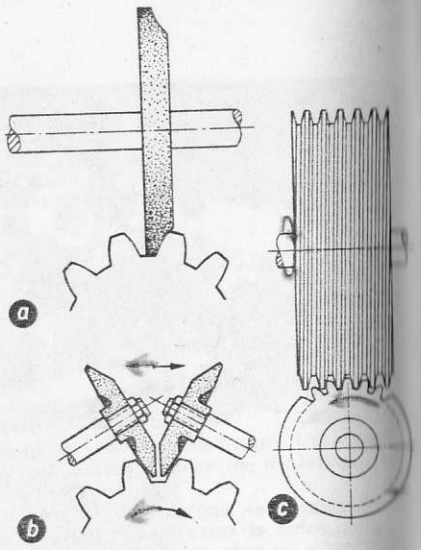


Fig. 178,1 Esmerilado de flancos de dientes. a) Procedimiento de división; b) procedimiento de rodadura con dos muelas; c) procedimiento de rodadura con tornillo sin fin. El movimiento de giro de la rueda dentada se produce por sí mismo mediante el perfil del sin fin de la muela de rectificar.

El husillo de rectificar puede virarse de acuerdo con el paso de rosca. La muela es de uno o de varios perfiles. Se trabaja por los procedimientos de penetración o de rectificado longitudinal (fig. 177,3). El rectificado longitudinal con muela de un perfil produce las roscas más exactas (hasta ± 0,0002 mm en el diámetro de los flancos).

Las muelas de un perfil se rectifican por medio de un montaje de diamante incorporado. Para muelas de varios perfiles se utiliza un rodillo perfilado que transmite su forma a las muelas para rectificado de roscas.

En vez del husillo de guía se emplea en algunas máquinas también un dispositivo de plantilla de guía con el cual se da el avance a la pieza.

Para roscas de varios pasos es conveniente un dispositivo divisor. Por medio de un dispositivo de rectificado posterior o de despulla pueden destalonarse también útiles como brocas espirales o fresas cilíndricas o de perfil.

Hay dispositivos ópticos que facilitan el ajuste exacto de la máquina.

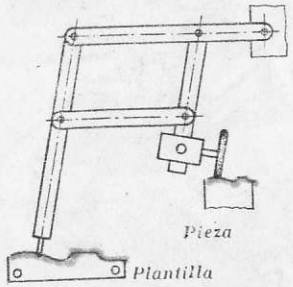


Fig. 178,3 Principio del pantógrafo en el rectificado copiador.

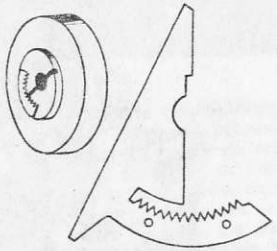


Fig. 178,4 Ejemplo de trabajo para el rectificado copiador. Matriz de tres piezas en el anillo-montura y plantilla correspondiente.

Máquinas rectificadoras para flancos de dientes. En la moderna construcción de máquinas se tienen frecuentemente las más altas exigencias por lo que respecta a las ruedas dentadas. Para la obtención de formas exactas de dientes en ruedas dentadas templadas se han creado máquinas especiales. Se trabaja en ellas ya sea por el procedimiento divisor o por el de rodadura (fig. 178,1).

En el procedimiento de división (ver págs. 80 ... 90) se utiliza un cabezal divisor y una muela de forma. En el procedimiento de rodadura se emplean por ejemplo dos muelas en forma de plato que trabajan respectivamente cada una uno de los flancos del diente (movimientos análogos al de cepillado de rodadura) o bien un *tornillo sin fin rectificador* (movimientos análogos al de fresado de rodadura) (figs. 178,1 y 2).

Máquinas de rectificar copiadoras (Máquinas rectificadoras de perfilar). De modo análogo a lo que sucede con el torneado o el fresado copiador se guía el movimiento de la herramienta (aquí la herramienta es la muela), por medio de una plantilla o un dibujo. El perfil ampliado de la plantilla se transmite por ejemplo por fuerza de resorte y por el principio del pantógrafo al perfil normal de la pieza (fig. 178,3). La relación de transmisión es de hasta 1:100 y la exactitud de copia hasta ± 0,002 mm. De este modo se pueden realizar los perfiles más variados tales como los que son necesarios para cortes y estampa o para herramientas de corte perfiladas. El perfil final de la pieza se compone frecuentemente de varios perfiles individuales (fig. 178,4). Mediante dispositivos suplementarios es también posible el rectificado cilíndrico.

Sujeción y aparatos de sujeción para rectificar (fig. 179,1)

Según sea el procedimiento de esmerilado, y también la forma de la pieza, se sujeta ésta entre puntas, en mandriles, en platos, en pinzas o tenazas de sujeción, por medio de bridas y suplementos de base, en platos magnéticos, en tornillos o en dispositivos especiales. Mientras que en el torneado la punta del husillo de trabajo gira juntamente con la pieza, en el rectificado están quietas generalmente ambas puntas (¡giro redondo más exacto!). Para el arrastre se emplean pernos o uñas de arrastre. Los pernos de arrastre para torno son por el contrario inadecuados. Se emplean los que llevan hendiduras.

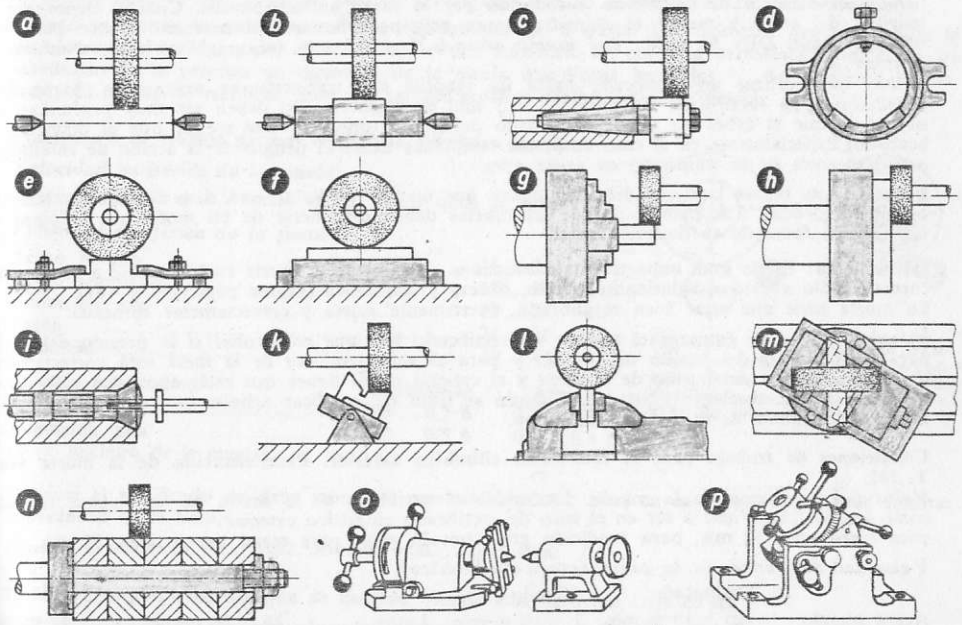


Fig. 179,1 Sujeción de las piezas para el rectificado: a) entre puntas; b) en mandril fijo; c) en mandril volado; d) pieza de arrastre; e) con bridas de sujeción; f) sobre placa magnética; g) en plato de mordazas; h) en plato magnético; i) en pinzas o tenazas de sujeción; k) en placa magnética basculante; l) en tornillo de banco; m) en tornillo de banco basculante; n) sujeción de varias piezas en un mismo mandril; o) aparato divisor (horizontal); p) aparato divisor basculante.

Los mandriles se emplean para piezas previamente taladradas. Al lado de mandriles fijos entran también en juego mandriles para trabajos más precisos y husillos de expansión. Varias piezas análogas pueden sujetarse en el mandril mediante tuerca.

En el plato de mordazas se sujetan por ejemplo piezas cortas cilíndricas que no tienen centraje alguno. Las bridas de sujeción sirven para fijar las piezas directamente sobre la mesa de trabajo.

Tanto los platos magnéticos como las placas magnéticas tienen la ventaja de que los tiempos de sujeción son cortos y de que las piezas, especialmente las de pared delgada, se deforman con menos facilidad. Las superficies de apoyo tienen que ser tan grandes como sea posible. Los anillos de latón embutido facilitan la sujeción concéntrica. Para la desmagnetización de las piezas se necesitan aparatos especiales. El magnetismo puede influir sobre la marcha de los relojes (¡hay que tener precaución cuando se usan relojes de pulsera!).

Los aparatos divisores sirven para rectificar trabajos de muescas o análogos en la periferia de la pieza.

Con ayuda de aparatos de sujeción basculantes (por ejemplo un tornillo de banco o una placa magnética) se pueden, por ejemplo, rectificar superficies inclinadas.

Se emplean aparatos especiales de sujeción para rectificar herramientas.

Las piezas largas y delgadas se hacen descansar sobre lunetas fijas intermedias.

Rectificado cilíndrico exterior

Pieza. Para que un trabajo de rectificado resulte correcto es condición previa que el centraje de las piezas sea también correcto. Las superficies cónicas tienen que ser limpias y suficientemente grandes así como apoyar bien en las puntas de las contrapuntas. En casos especiales se rectifican los puntos de centrado. Las superficies de contacto entre los puntos de centrado y las puntas de las contrapuntas tienen que estar bien aceitadas.
La pieza no debe sujetarse entre las puntas ni demasiado fuerte ni demasiado floja.
Los *excesos para el rectificado* no deben ser tampoco ni demasiado grandes ni demasiado pequeños. Cuando esos excesos son demasiado pequeños existe el peligro de que queden zonas de la superficie sin rectificar, o sucias, en la pieza terminada; los excesos demasiado altos exigen tiempos más largos de rectificado, resultando por lo tanto antieconómicos. Cuanto menor sea la longitud del árbol y menor el diámetro, tanto más pequeño será el necesario exceso para rectificado. Según DIN 60 oscila este exceso entre 0,25 y 0,8 mm (véase «Material — Número — Forma» [1]).
Si hay que realizar un rectificado hasta un reborde con transición en arista viva, harán falta *entalladuras de rectificado* de unos 2 ... 3 mm de anchura. No deben ser muy profundas con objeto de que el árbol no quede demasiado debilitado (unos 0,1 mm menor que el diámetro de acabado). Especialmente en el caso de piezas templadas existe el peligro de la acción de entalladura a consecuencia de la transición en arista viva.

Lunetas: Las piezas largas y delgadas tienen que quedar mediante una o varias lunetas suficientemente apoyadas. Las mandíbulas de las lunetas deben disponerse de tal modo que la pieza no sea forzada fuera de su dirección axial.

Herramienta: Es de gran importancia la adecuada elección de la muela en lo tocante a su tamaño, forma, medio abrasivo, aglutinante, grano, dureza y estructura (véanse págs. 164 y 181).
La muela tiene que estar bien equilibrada, fuertemente sujeta y correctamente torneada.

Máquina. Antes de empezar el trabajo de rectificado hay que comprobar si la presión del aceite para los cojinetes del husillo de trabajo y para el accionamiento de la mesa está correctamente graduada. La caja del husillo de la pieza y el cabezal móvil tienen que estar apretados y los topes de la mesa correctamente ajustados. Cuando se trata de rectificar árboles hay que comprobar si la máquina trabaja de modo bien cilíndrico.

Condiciones de trabajo para el rectificado cilíndrico exterior. Para eleccción de la muela véase **T. 181.**
Velocidad periférica de la muela. La velocidad periférica de la muela ha de elegirse tan alta como sea posible. Viene a ser en el caso de rectificado cilíndrico exterior:
para acero unos 30 m/s, para fundición gris unos 25 m/s; para metal ligero, unos 35 m/s.

Velocidad periférica de la pieza (avance cilíndrico)

	Desbastado	Afinado		Desbastado	Afiinado
Acero blando	10 ... 15 m/min	7 ... 10 m/min	Latón	16 ... 20 m/min	13 ... 17 m/min
Acero templado	13 ... 18 »	8 ... 13 »	Aluminio	36 ... 40 »	22 ... 35 »
Fundición gris	10 ... 15 »	7 ... 12 »			

Avance longitudinal:

	Desbastado	Afinado
Acero	0,6 ... 0,8 *b*	0,5 ... 0,7 *b*
Fundición gris	0,25 ... 0,4 *b*	0,3 ... 0,5 *b*

(*b* = anchura de la muela)

Ajuste de la muela. Cuanto mayores exigencias se tengan respecto a exactitud y calidad superficial, tanto menor tiene que ser la profundidad de viruta. El ajuste viene a ser por cada corte:
para desbastar 0,02 ... 0,05 mm, para afinar 0,002 ... 0,02 mm.
Para la fundición gris se eligen en el desbastado mayores profundidades de corte que para el acero y para materiales duros menores profundidades que para los blandos.

Refrigeración. El refrigerante precipita el polvo abrasivo, impide un calentamiento demasiado fuerte de la pieza y mantiene limpia la muela. Tiene que fluir en chorro abundante.
Para acero, fundición gris, latón, bronce y cobre se utiliza una solución de sosa al 5 % eventualmente con una adición de 2 % de aceite de máquinas o 15 % de taladrina.
Para el aluminio se emplea una mezcla de aceite para husos y petróleo al 1:1.
Como la sosa ataca el color se utilizan modernamente aceites especiales para rectificar.
El «elektron» no debe jamás rectificarse en seco (¡peligro de incendios o de explosión!). Se utiliza una solución de fluoruro sódico al 4 %.

Rectificado sin puntas. Es de la mayor importancia la elección y la forma del apoyo de las piezas, teniendo que acomodarse a la forma de las mismas.

[1] *N. del T.:* Obra de Jütz-Scharkus traducida del alemán («Stoff — Zahl — Form») por Editorial Reverté, S. A.

Rectificado cilíndrico interior

Pieza. Las piezas de pared delgada se deforman ligeramente en el plato de tres mordazas. Por esta razón se utilizan muchas veces dispositivos especiales de sujeción.

Herramientas. Respecto a elección de la muela véase **T. 181.** En el caso de rectificado cilíndrico interior la superficie de contacto entre la pieza y la muela es grande **(fig. 181,1).** Cuanto mayor sea la superficie de contacto tanto más dura es la acción de la muela. Se utilizan por esta razón para el rectificado exterior muelas blandas. Para obtener el efecto debido de una muela blanda, se trabaja también con velocidad periférica más baja que en el rectificado cilíndrico exterior.

Cuanto menor es la muela tanto más rápidamente se desgasta. Un diámetro demasiado grande de las muelas da lugar, por el contrario, a una superficie de contacto demasiado grande. Se ha acreditado en la práctica un diámetro de la muela que llegue hasta los $^2/_3$ del diámetro del taladro. El husillo de rectificar tiene que ser tan corto y grueso como sea posible.

Condiciones de trabajo para el rectificado cilíndrico interior

Velocidad periférica de la muela:
Acero, fundición gris y metal ligero: hasta unos 25 m/s.

Velocidad periférica de la pieza:

Acero blando	16 ... 21 m/min
Acero templado	18 ... 24 »
Fundición gris	19 ... 24 »
Latón	24 ... 30 »
Aluminio	30 ... 40 »

Avance longitudinal:

	Desbastado	Afinado
Acero	0,5 ... 0,7 *b*	0,2 ... 0,3 *b*
Fundición gris	0,2 ... 0,5 *b*	0,2 ... 0,4 *b*

(*b* = anchura de la muela)

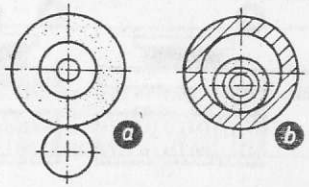


Fig. 181,1 a) Rectificado exterior: pequeña superficie de contacto entre pieza y muela; b) rectificado interior; gran superficie de contacto entre pieza y muela.

Durante el rectificado no debe salirse la muela del taladro pues en caso contrario puede resultar sobreancho en la boca.

Ajuste: Desbastado 0,1 ... 0,02, afinado 0,002 ... 0,01 mm.

T. 181 Ejemplos para elección de muelas. Véanse más datos en DIN 69 102

Material	Diámetro de la muela					
	Rectificado exterior		Rectificado interior		Rectificado plano	
					Muela recta	Muela de vaso
	hasta 350 ⌀	350 ··· 450 ⌀	16 ··· 36 ⌀	36 ··· 80 ⌀	hasta 200 ⌀	200 ··· 350 ⌀
Acero, sin templar hasta 70 kg/mm²	NK 60 M	NK 50 M	NK 60 L	NK 46 K	EK NK 46 K	EK NK 36 K
Acero, mejorado, hasta 120 kg/mm ...	NK 60 L	NK 50 L	EK 60 K	EK 46 Jot	EK 46 I	EK 36 I
Aceros aleados, templados y mejorados, más de 63 H Rc	EK 60 K	EK 50 K	EK 60 Jot	EK 46 I	EK 46 I	EK 30 I
Fundición gris	EK SC 60 I	SC EK 50 J	SC 60 J	SC 46 I	EK SC 46 I	EK SC 36 I

En el afilado de herramientas se usan para acero de heramientas y acero rápido, muelas de corindón puro, grano según diámetro y forma de la muela 46 ... 80; para metal duro muelas de carburo de silicio, grano 70 ... 100.

Rectificado plano

Pieza. Las superficies a rectificar deben ser, en lo posible, estrechas y estar situadas en un plano con objeto de que puedan trabajarse todas simultáneamente.

Máquina. Cuantos más granillos abrasivos trabajen simultáneamente tanto mayor será el rendimiento en el rectificado. Por esta razón mediante el rectificado frontal son posibles más altos rendimientos que mediante el circunferencial o periférico.

Si se trata de conseguir grandes rendimientos en viruta deberá, por lo tanto, estar dispuesto el husillo de trabajo perpendicularmente a la superficie que se rectifica. Las máquinas con husillo de rectificar paralelo a la superficie de trabajo (rectificado periférico o circunferencial) se prestan, por ejemplo para bandas de guía largas y exactas.
Para piezas largas se necesitan máquinas con mesa larga; las piezas pequeñas se sujetan ventajosamente sobre una mesa redonda.

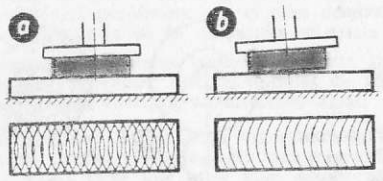


Fig. 182,1 Dibujos de las marcas en el rectificado frontal; a) rectificado cruzado; b) rectificado en forma de ondas.

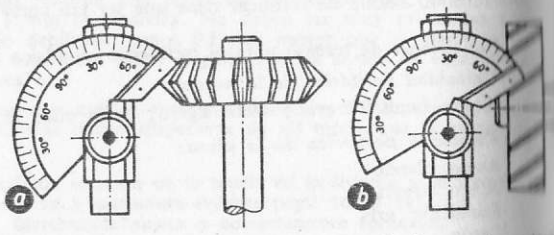


Fig. 182,2 Medición de ángulos en la fresa: a) medición de una fresa prismática; b) medición de una fresa de forma de disco.

Condiciones de trabajo. Para elección de la muela véase T. 181

Velocidad periférica de la muela: Acero y metal ligero: unos 25 m/s; fundición gris: unos 20 m/s.

Velocidad de la pieza: Acero y fundición gris: 6 ... 40 m/min.

Profundidad de viruta: Rectificado frontal: hasta 0,5 mm y más; rectificado periférico: hasta 0,05 mm.

Para desbastar con rectificado frontal se inclina algo el husillo de trabajo contra la superficie a rectificar (rectificado en forma de ondas radiadas); para el afinado se mantiene el husillo perpendicular (rectificado cruzado) **(fig. 182,1).**

La muela no debe salir de la pieza que se trabaja pues la superficie no queda entonces en algunos casos plana por los extremos.

Herramientas. El diámetro de las muelas de vaso o de las de segmentos debe ser para el rectificado frontal mayor que la anchura de la superficie de la pieza, porque de lo contrario no sale plana la superficie.

Afilado de herramientas

1. Como muelas se emplean generalmente las de grano y dureza medios; para metal duro las de carburo de silicio. Es frecuente emplear muelas bastas para un afilado previo y muelas finas para el afilado final. Véase la tabla de la pág. 181.
2. El afilado de útiles demasiado desgastados resulta antieconómico y por esto debe procederse al afilado a su debido tiempo.
3. Se afila contra el filo para no mellarlo.
4. Para evitar el recocido del filo no deben ser demasiado fuertes ni la presión empleada ni el arranque de viruta. Por esta razón también son más ventajosas las muelas estrechas que las anchas (por ejemplo en el caso de largos filos de fresas).
5. Cuando se afila en húmedo se necesita una abundante refrigeración. La refrigeración a gotas o la inmersión en el refrigerante conduce a grietas en la herramienta.
6. Para la consecución de un filo exento de melladuras hay que trabajar el filo, después del afilado, con una piedra de aceite con objeto de obtener lo que se llama el bruñido, o vaciado o lapidado.
7. Se deben comprobar con calibres de rectificado los ángulos de corte **(fig. 182,2).**

Para indicaciones sobre el afilado de brocas espirales y fresas, véanse las págs. 78, 79, 115 y 116.

Protección durante el trabajo. Durante el rectificado es muy fácil que se produzcan accidentes. Cuando se trata de muelas recién sujetas, al poner en marcha la máquina no debe uno colocarse frente a la piedra, sino lateralmente a ella.

No debe sobrepasarse la velocidad circunferencial máxima fijada.

No debe procederse al rectificado sin caperuza, o cubierta de protección. El ángulo de abertura de ésta no debe sobrepasar los 65° **(fig. 183,1).**

Cuando se trabaja en seco debe existir un dispositivo de absorción.

No deben tocarse ni las muelas ni las piezas en movimiento.

El apoyo de la pieza debe correrse hasta que quede muy próximo a la muela (no debe quedar un hueco superior a los 3 mm) **(fig. 183,1).** Hay que apretar bien el apoyo. No deben moverse de sitio ni el apoyo ni la cubierta o caperuza, sino a máquina parada.

Utilícense gafas de protección.

En caso de muelas delgadas debe rectificarse desde una posición lateral.

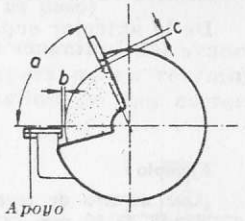


Fig. 183,1 Ajuste del apoyo y de la cubierta o protección. a) ángulo no superior a 65°; b) no superior a 3 mm; c) no mayor de 5 mm.

T. 69: Defectos en el rectificado y sus causas

Defectos en el rectificado			
Superficie rectificada demasiado áspera	Marcas de vibraciones	Calentamiento demasiado fuerte de la pieza, manchas de quemaduras, formación de grietas.	Estrías de rectificado, dibujos.
Causas			
Grano demasiado basto, muela demasiado blanda, velocidad de corte demasiado pequeña o velocidad de la pieza demasiado grande.	Mala sujeción de la pieza: Centrajes sucios, las puntas y los taladros de centraje no se adaptan bien. Superficies de movimiento o ajuste de las lunetas defectuosos. Desequilibrio de la muela, la muela está embotada o engrasada (sucia). El husillo de trabajo tiene juego; arranque excesivo de viruta; velocidad de la pieza incorrecta. La máquina no tiene una marcha tranquila, exenta de vibraciones: por ejemplo correas demasiado flojas, guías del carro demasiado flojas también, mala fijación de la máquina, etc., etc.	Refrigeración demasiado pequeña. Muela demasiado dura, embotada o sucia (engrasada). Arranque de viruta excesivo. Velocidad de corte excesiva.	Muela demasiado basta, refrigerante sucio. Muela no bien rectificada (por ejemplo, cónica). Vibraciones de la muela.

Velocidad de avance cilíndrico

Lo mismo que con todos los movimientos de corte circulares (torneado, fresado, taladrado) se utiliza también aquí la ecuación

$$v_R = \frac{d_W \cdot \pi \cdot n_W}{1000}$$

donde v_R es el avance cilíndrico en metros por minuto, d_W el diámetro de la pieza en mm y n_W el número de revoluciones de la pieza por minuto.

Ejemplo:

Diámetro de la pieza: 30 mm ∅, número de revoluciones n_W = 120 rev/min. Calcúlese el avance cilíndrico en m/min.

Solución:

$$v_R = \frac{d_W \cdot \pi \cdot n_W}{1000} = \frac{30 \text{ mm} \cdot 3{,}14 \cdot 120\ ^1/\text{min}}{1000} = 11{,}3 \text{ m/min}$$

Ejercicio:

Se trata de rectificar un árbol de acero, templado, de 45 mm ∅. Comprobar si la velocidad de rotación de la pieza que se ha ajustado n_W = 110 rev/min es apropiada para el rectificado previo.

Número de revoluciones de la pieza

De la anterior ecuación puede sacarse también

$$n_W = \frac{v_R \cdot 1000}{d_W \cdot \pi}$$

Ejemplo:

¿Qué número de revoluciones hay que ajustar para el rectificado previo de un árbol de acero blando de 80 mm ∅? Número de revoluciones de la pieza de que puede disponerse en la máquina: 30 - 48 - 76 - 120 - 190 - 300 rev/min.

Solución:

Si se pone el valor $v_R = 13$ m/min (véase pág. 180) se obtiene

$$n_W = \frac{v_R \cdot 1000}{d_W \cdot \pi} = \frac{13 \text{ m/min} \cdot 1000}{80 \text{ mm} \cdot 3{,}14} = 51{,}8 \text{ }^1\text{/min}$$

Número de revoluciones elegido: $n_W = 48$ rev/min.

Ejercicio:

Determínense los números de revoluciones de la pieza necesarios para el rectificado exterior e interior de un casquillo de acero templado, con diámetro exterior igual a 60 mm e interior igual a 35 mm. Utilícense los valores dados en las págs. 180 y 181 (valores medios).

Los números de revoluciones disponibles en la máquina son los mismos que en el anterior ejemplo.

Velocidad de corte en el rectificado

En los cálculos se toma como base la velocidad circunferencial (v_S). Puesto que ésta viene dada en m/s habrá que poner también en la ecuación para movimientos de corte circulares el número de revoluciones en vueltas por segundo. Si el diámetro de la muela d_S mm y el número de revoluciones de la muela n_S rev/min nos son conocidos, se podrá utilizar la siguiente ecuación:

$$v_S = \frac{d_S \cdot \pi \cdot n_S}{1000 \cdot 60}$$

Ejercicios:

1. La velocidad periférica máxima de una muela de 300 mm ∅ es de 30 m/s. La muela gira con $n_s = 1850$ rev/min. Comprobar si con ella no se sobrepasa la velocidad máxima citada.

2. ¿Qué número de revoluciones tienen que tener una muela de 280 mm ∅ si su velocidad de corte ha de ser de $v_s = 25$ m/s?

3. Para una máquina de rectificar se dan los siguientes números de revoluciones en el husillo de trabajo: 1700 - 3500 y 5500. ¿Hasta qué diámetros de muela se puede llegar con los números de revoluciones citados si se admite como velocidad periférica máxima la de $v_s = 30$ m/s?

Tiempo principal (t_p) en el rectificado cilíndrico (procedimiento de paso)

Si la muela se mueve durante una vuelta de la pieza en la magnitud del avance longitudinal s (en mm/rev), su recorrido en un minuto (para n_W en rev/min) será igual a $n_W \cdot s$ (en mm). Si designamos ahora la longitud de una carrera de corte con L, el tiempo invertido en un movimiento de corte se calculará por la expresión siguiente (fig. 185,1):

$$t_p = \frac{L}{s \cdot n_W}$$

Para i carreras de corte se obtiene:

$$t_p = \frac{L \cdot i}{s \cdot n_W}$$

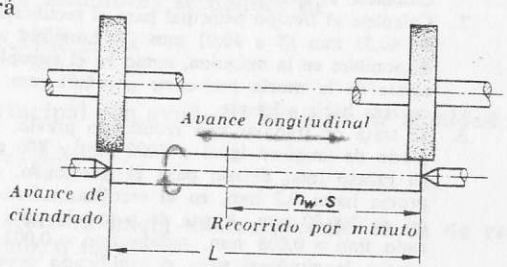


Fig. 185,1 Tiempo principal en el rectificado periférico.

Como por lo general no se hace correr la muela completa sobre la pieza, se elige L igual a la longitud que ha de rectificarse en la pieza. No se tiene en cuenta el tiempo gastado en las inversiones de marcha.

El número de las carreras i necesarias se obtiene, dividiendo el exceso radial dejado para el rectificado, z, por el ajuste a hecho en cada carrera. Como después del último corte se deja pasar la muela 1 ... 3 veces sobre la pieza (salida) se añaden unas 2 carreras. Con esto se tiene:

$$i = \frac{z}{a} + 2$$

Si se ajusta tanto en la carrera de ida como en la devuelta de la mesa, i será igual al número de dobles carreras

$$t_p = \frac{2 \cdot L \cdot i}{s \cdot n_W}$$

Ejemplo:

Se trata de determinar el tiempo principal para el rectificado previo de un árbol de 110 mm ∅ y 1300 mm de longitud. Del total del exceso dejado para el rectificado (0,8 mm) hay que quitar 0,6 cm mediante el rectificado previo. El ajuste por corte es en la carrera de ida y en la de vuelta 0,03 mm para cada una. La anchura de la muela es $b = 50$ mm y el avance longitudinal $s = 0{,}5\ b$. Número de revoluciones de la pieza $n = 48$ rev/min.

Solución:

Número de las carreras de corte:

$$i = \frac{z}{a} + 2 = \frac{0{,}3 \text{ mm}}{0{,}03 \text{ mm}} + 2 = 12$$

Tiempo principal:

$$t_p = \frac{L \cdot i}{s \cdot n_W} = \frac{1300 \text{ mm} \cdot 12}{25 \text{ mm} \cdot 48 \text{ }^1\text{/min}} = 13 \text{ min}$$

Ejercicios:

1. Datos: Longitud a rectificar en la pieza: $L = 450$ mm, exceso para el rectificado 0,35 mm, ajuste de la muela en cada corte $a = 0{,}015$ mm.
   Número de revoluciones de la pieza: $n = 48$ rev/min, anchura de la muela: $b = 40$ mm, avance longitudinal: $s = 0{,}5\ b$, ajuste sólo en la marcha hacia adelante.
   Calcúlese el tiempo principal t_p.
2. Calcúlese el tiempo principal para el rectificado de 30 árboles de acero templado ($v_R = 16$ m/min) de 40,35 mm ∅ a 40,01 mm ∅. Longitud a rectificar $L = 420$ mm. Números de revoluciones disponibles en la máquina, como en el ejemplo de la pág. 184. Anchura de la muela $b = 35$ mm, ajuste de la muela por corte $a = 0{,}01$ mm. Avance longitudinal $s = 0{,}6\ b$. Ajuste sólo en la carrera hacia adelante.
3. Se trata de trabajar con rectificado previo, rectificado fino y pulido un rodillo de acero templado de longitud igual a 1000 mm y 200 mm ∅.
   El exceso total dejado para el rectificado, que es de 0,8 mm, debe rebajarse con el trabajo previo hasta 0,2 mm, en el rectificado fino hasta 0,06 mm. La medida final del rodillo debe ser de 200,02 mm. Ajuste de la muela para cada corte: rectificado previo = 0,015 mm, rectificado fino = 0,008 mm, pulido fino = 0,003 mm. La anchura de la muela es de 50 mm, el avance longitudinal para el rectificado previo, el de afino y el de pulido fino es de 0,7 d. Avance cilíndrico para el rectificado previo $v_R = 15$ m/min, pero el de afinado y el de pulido fino $v_R = 12$ m/min. Los números de revoluciones ajustables son: 15 - 23 - 36 - 57 - 90 - 144 - 225 - 360 rev/min. El ajuste de la muela se hace en las carreras de ida y de vuelta. Calcúlese el tiempo principal.

Tiempo principal en el rectificado plano

Rectificado periférico. Para la determinación del tiempo principal se multiplica el tiempo necesario para una carrera de corte t_1 por el número de carreras. Si la anchura de la pieza es igual a b y el avance lateral es s harán falta para *una pasada* b/s carreras de corte. El número de pasadas i se determina dividiendo la profundidad total de corte z por el ajuste a de cada pasada **(fig. 186,1)**.

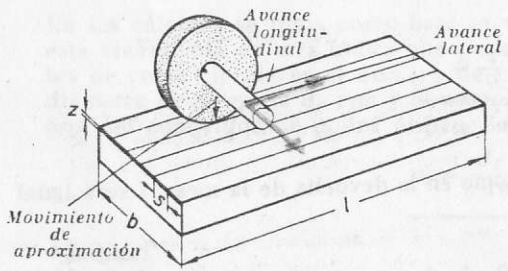


Fig. 186,1 Tiempo principal en el rectificado plano. b, anchura de la pieza; l, longitud de la pieza; s, avance lateral; z, profundidad de corte total.

$$i = \frac{z}{a}$$

La longitud de carrera L se compone de la longitud l de la pieza más las cantidades l_u y l_a en que se sobrepase con la muela esa longitud a la ida y a la vuelta. $l_u + l_a$ valen en total unos 10 ... 30 mm.

$$L = l + l_a + l_u$$

Si se ajusta la profundidad sólo en la carrera hacia adelante habrá que poner para la carrera $2\ L$.
De la ecuación que nos da la velocidad lineal o sea la velocidad lineal de corte

$$v = \frac{s}{t} \qquad t = \frac{s}{v}$$

y se obtiene como tiempo para una carrera

$$t_1 = \frac{2 \cdot L}{v} \text{ (L puesto en m) o bien } t_1 = \frac{2 \cdot L}{1000 \cdot v} \text{ (poniendo L en mm)}$$

donde v es la velocidad media de mesa en m/min (compárese con el valor v_m en el cepillado y en el mortajado).

El tiempo principal total se obtiene multiplicando el valor arriba encontrado por b/s y por i:

$$t_p = \frac{2 \cdot L \cdot i \cdot b}{1000 \cdot v \cdot s}$$

Como el número de dobles carreras por minuto n_D se deduce de

$$n_D = \frac{1000 \cdot v}{2 \cdot L}$$

se podrá obtener también el tiempo principal con ayuda de la siguiente igualdad:

$$t_p = \frac{i \cdot b}{n_D \cdot s}$$

Si se ajusta lateralmente tanto en la carrera hacia adelante como en la de retroceso el tiempo principal será la mitad, o sea:

$$t_p = \frac{L \cdot i \cdot b}{1000 \cdot v \cdot s}$$

Ejemplo:

Se quiere rectificar un mármol para trazar de longitud $l = 350$ mm y anchura $b = 250$ mm. Exceso para el rectificado $z = 0{,}4$ mm, ajuste por corte 0,04 mm. Avance lateral $s = 10$ mm para cada doble carrera; velocidad media de la mesa $v = 8$ m/min. Ajuste en la carrera hacia adelante. Se estima para $l_a + l_u$ un valor igual a 20 mm.
Solución:

$$t_p = \frac{2 \cdot L \cdot i \cdot b}{1000 \cdot v \cdot s} = \frac{2 \cdot 370 \text{ mm} \cdot 10 \quad 250 \text{ mm}}{1000 \cdot 8 \text{ m/min} \cdot 10 \text{ mm/1}} \text{ min} = 23{,}12 \text{ min}$$

$$i = \frac{z}{a} = \frac{0{,}4 \text{ mm}}{0{,}04 \text{ mm}} = 10 \qquad L = l + l_a + l_u = 350 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 370 \text{ mm}$$

Ejercicios:

1. Datos: Anchura de la pieza $b = 140$ mm (100 mm), longitud de la pieza $l = 400$ mm (440 mm), $l_a + l_u = 20$ mm (25 mm), profundidad total de corte $z = 0{,}3$ mm (0,4 mm), velocidad media de la mesa $v = 7$ m/min (8 m/min), avance lateral $s = 8$ mm/d.c. (10 mm d.c.), ajuste en cada corte $a = 0{,}03$ mm (0,05 mm).
   Calcúlese el tiempo principal t_p.
2. Datos: Anchura de la pieza $b = 230$ mm (100 mm), profundidad total de corte $z = 0{,}4$ mm (0,3 mm), ajuste por corte $a = 0{,}05$ mm (0,02 mm), número de dobles carreras $n_D = 20$ d.c/min (18 d.c/min), avance lateral $s = 12$ mm/d.c. (9 mm/d.c.)
   Calcúlese el tiempo principal.

Rectificado frontal

En el rectificado frontal no existe generalmente el avance lateral. Por esta razón obtenemos, cuando únicamente se realiza el ajuste entre pieza y muela en la carrera hacia adelante, la siguiente ecuación [1]:

$$t_p = \frac{2 \cdot L \cdot i}{v \cdot 1000}$$

Para $l_a + l_u$ se pone aquí el diámetro de la muela **(fig. 188,1)**.
Si nos es conocido el número n_D de dobles carreras por minuto, es aplicable también la siguiente fórmula:

$$t_p = \frac{i}{n_D}$$

[1] Para el ajuste en las carreras de ida y retroceso es aplicable la ecuación análoga empleada en el caso del rectificado circunferencial.

Ejemplo:

Se trata de rectificar mediante rectificado frontal un carril de guía, de 1020 mm de longitud. El exceso dejado para el rectificado es $z = 0{,}5$ mm. Hay que arrancar en cada doble carrera por término medio 0,125 mm. Velocidad media de la mesa $v = 4$ m/min. Diámetro de la muela igual a 180 mm. Calcúlese el tiempo principal t_p.

Solución: $$t_p = \frac{2 \cdot L \cdot i}{v \cdot 1000} = \frac{2 \cdot 1200 \text{ min} \cdot 4}{4 \text{ m/min} \cdot 1000} = 2{,}4 \text{ min}$$

Ejercicios:

1. Datos: Longitud a rectificar $l = 900$ mm (1300 mm), número de corte $i = 4$ (3), velocidad media de la mesa $v = 6$ m/min (8 m/min), diámetro de la muela $d = 150$ mm (200 mm).

   Calcúlese el tiempo principal t_p.

2. Datos: Exceso total dejado para el rectificado $z = 0{,}6$ mm (0,5 mm) ajuste a cada doble carrera $a = 0{,}15$ mm (0,2 mm), número de dobles carreras $n_D = 3$ d c/min (4 d c/min). Calcúlese el tiempo principal.

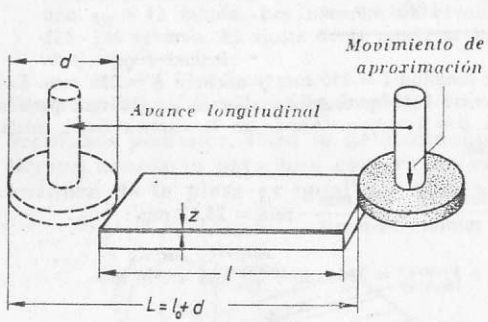


Fig. 188,1 Tiempo principal en el rectificado frontal.

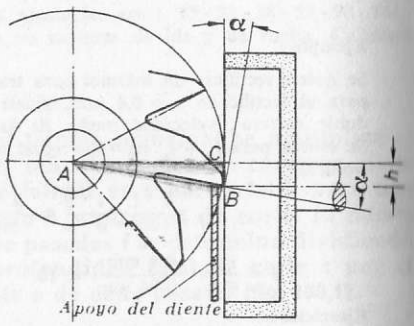


Fig. 188,2 Cota de ajuste h en el rectificado con muela de copa.

Cota de ajuste h para fresas con dentado recto

Para rectificar el ángulo de incidencia si se trabaja con muela de vaso se *baja* el husillo de rectificar en la magnitud h respecto al eje de la fresa y si se trata de muelas rectas se *sube* en ese valor h. En el primer caso la lengüeta de tope está a la altura del *eje del husillo de rectificar* y en el segundo a la altura del *eje de la fresa*. Las muelas rectas no deben en lo posible ser utilizadas, porque al proceder al rectificado la superficie de incidencia resulta cóncava en virtud de la superficie periférica de la muela.

Muelas de vaso. En el triángulo rectángulo ABC **(fig. 188,2)** el ángulo α es igual al ángulo de incidencia pedido α. El cateto BC es igual a h, la hipotenusa AB igual al semidiámetro, $D_F/2$, de la fresa. Se tiene:

$$\text{sen } \alpha = \frac{h}{\frac{D_F}{2}} \qquad h = \frac{D_F}{2} \cdot \text{sen } \alpha$$

Muelas rectas. Aquí puede decirse lo mismo **(fig. 189,1)** pero en vez del «semidiámetro» de la fresa hay que poner el semidiámetro de la muela ($D_T/2$):

$$h = \frac{D_T}{2} \cdot \text{sen } \alpha$$

Cota de ajuste h para fresas con dentado espiral

Se entiende por ángulo de incidencia eficaz α_1 el ángulo de incidencia que se mide perpendicularmente al filo **(fig. 189,2)**. Comparado con el ángulo de incidencia α medido en la superficie frontal resulta tanto mayor cuanto mayor sea el ángulo de inclinación ε de la hélice. La relación entre unos y otros nos la da la siguiente igualdad:

$$\text{tg } \alpha = \cos \varepsilon \cdot \text{tg } \alpha_1$$

Para calcular la cota de ajuste h hay que poner siempre en la ecuación $h = D_F/2 \cdot \text{sen } \alpha$ o en la $h = D_T/2 \cdot \text{sen } \alpha$ el valor del ángulo de incidencia α medido en la cara frontal.

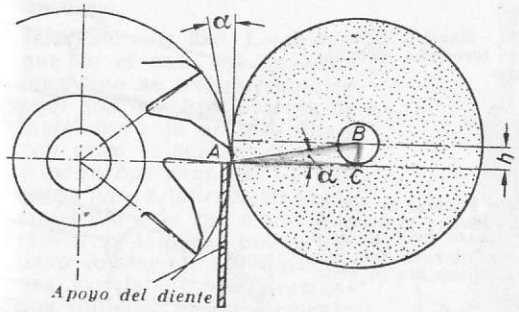


Fig. 189,1 Cota de ajuste h al rectificar con muela recta.

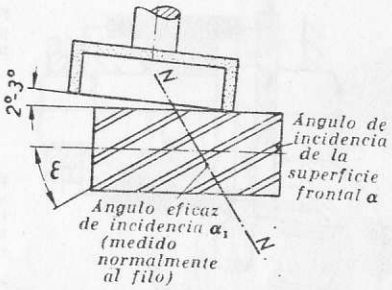


Fig. 189,2 Cota de ajuste h para fresas con dentado espiral. Ángulo frontal de incidencia α; ángulo eficaz de incidencia α_1 medido en la superficie normal; ángulo ε de inclinación y ángulo de colocación de la muela de copa (2-3°).

Ejemplos:

1. Se trata de afilar con muela de vaso una fresa de dientes rectos y de 100 mm ∅. El ángulo de incidencia exigido es $\alpha = 6°$. Calcúlese la cota de ajuste.

   Solución: $$h = \frac{D_F}{2} \cdot \text{sen } \alpha = 50 \text{ mm} \cdot \text{sen } 6° = 50 \text{ mm} \cdot 0{,}1045 = 5{,}23 \text{ mm}$$

2. Una fresa con dentado espiral en que $\varepsilon = 30°$ y el diámetro es igual a 80 mm ∅ tiene un ángulo de incidencia eficaz de $\alpha_1 = 5°$. ¿Qué magnitud tiene el ángulo de incidencia α en la cara frontal y cuánto ha de valer la cota de ajuste h para el rectificado posterior?

   Solución: El ángulo de incidencia α en la cara frontal se deduce de la siguiente ecuación:

   $$\text{tg } \alpha = \cos \varepsilon \cdot \text{tg } \alpha_1 = \cos 30° \cdot \text{tg } 5° = 0{,}8660 \cdot 0{,}0875 = 0{,}0758 \qquad \alpha = 4° 20' \text{ (según tablas).}$$

   Para la cota de ajuste h se obtiene:

   $$h = \frac{D_F}{2} \cdot \text{sen } \alpha = 40 \text{ mm} \cdot \text{sen } 4° 20' = 40 \text{ mm} \cdot 0{,}0756 = 3{,}02 \text{ mm}$$

Ejercicios:

1. Datos: Diámetro de la muela recta $D_T = 120$ mm, ángulo de incidencia exigido $\alpha = 4°$.

   Calcúlese la cota de ajuste para una fresa de dentado recto.

2. Calcúlense las cotas de ajuste para los ángulos de incidencia eficaces $\alpha_1 = 3°, 4°, 5°, 6°, 7°$ y $8°$, en el caso de un diámetro de fresa $D_F = 75$ mm y ángulos de inclinación $\varepsilon = 20°, 45°, 60°$.

3. Datos: Diámetro de la fresa $D_F = 70$ mm (90 mm), ángulo de inclinación $\varepsilon = 25°$ (30°), ángulo de incidencia eficaz $\alpha_1 = 6°$ (5°).

   Calcúlese la cota de ajuste h (muela de vaso).

Acabado de alta precisión

Las grandes exigencias tanto en lo que respecta a exactitud de medidas como a calidad superficial que se tienen, por ejemplo, y en grado creciente, para las superficies de medición de los instrumentos de medida o de las piezas que deslizan a gran velocidad en las máquinas de precisión, solamente pueden quedar satisfechas mediante procedimientos especiales.
Entran aquí en juego el rectificado fino y el muy fino, el torneado muy fino, el taladrado muy fino, el rectificado planetario, el lapidado (también llamado vaciado o bruñido), el procedimiento super-finish y el pulimentado a presión.

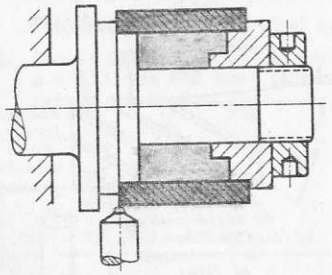


Fig. 190,1 Mandril especial para el torneado exterior muy fino.

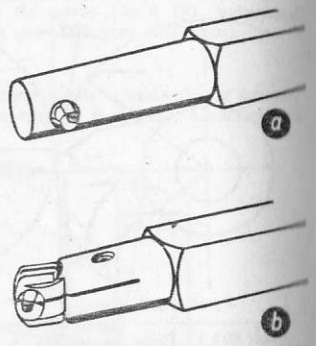


Fig. 190,2 Formas de los filos de diamante: a) diamante de un solo filo; b) diamante con filos en facetas; c) diamante con filo en arco.

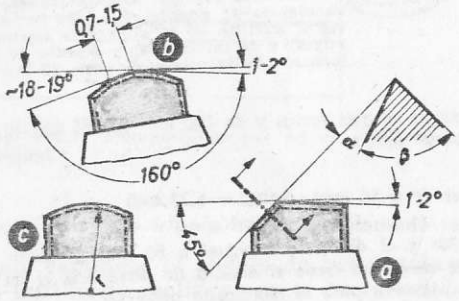


Fig. 190,3 Portadiamante: a) soporte sencillo para diamantes recambiables; b) soporte con cabeza orientable en todos sentidos; c) soporte con cabeza orientable lateralmente y escala en grados.

Rectificados fino y muy fino. La limpieza de la superficie depende, en el rectificado, del grano de la muela empleada. Para el rectificado fino se emplea un grano de 180 ... 220 y para el muy fino uno de 280 ... 400.
En el rectificado muy fino la muela trabaja al principio «agarrando», pero muy pronto se presenta una acción de pulimento. La muela debe mantener su acción de «agarre» hasta que hayan desaparecido las desigualdades que queden todavía después del rectificado fino que ha precedido. Con objeto de que la acción de pulimento empiece en el momento preciso ha de estar correctamente elegida la dureza de la muela es decir los granillos no deberán ni arrancarse demasiado fácilmente ni con excesiva dificultad. Tiene importancia también el acertado avance de la muela.
Torneado muy fino. Se denomina así a la operación de trabajar piezas torneadas empleando elevadas velocidades de corte (150 m/min ... 2000 m/min) y muy pequeños avances (0,005 ...0,05 mm). Son necesarios para esto útiles adecuados (metales duros o diamantes) y máquinas especiales (máquinas para torneado superfino) **(figs. 190,2 y 3)**.

La elevada velocidad de corte impide en primer lugar la acción del recrecimiento del filo (véase la pág. 20). Además cuando la velocidad de corte es grande las partículas de la estructura especialmente duras son cortadas en forma lisa de tal modo que la estructura superficial sufre menos por procesos de aplastamiento y recalcado. Las máquinas con elevado número de revoluciones (hasta unas 5000 rev/min) se caracterizan también por una absoluta tranquilidad de marcha. Todas las piezas sometidas a giro rápido están por ello dinámicamente equilibradas (véase pág. 171). El husillo de trabajar está cuidadosamente soportado con juego mínimo (cojinetes de rodadura o cojinetes especiales de deslizamiento). También los aparatos de sujeción para las piezas tienen que rodar de modo totalmente exento de vibraciones **(fig. 190,1)**. El avance es regulado generalmente de modo hidráulico.

Taladrado muy fino. Lo mismo que en el caso del torneado muy fino se trabaja también aquí con una herramienta de metal duro de un solo filo y con gran velocidad de corte y pequeños avances. La máquina para taladrado fino está construida de tal modo que el útil de taladrar puede trabajar totalmente sin vibraciones. Los taladros así trabajados obtienen frecuentemente por rectificado o repasado planetario una calidad superficial todavía mejor.

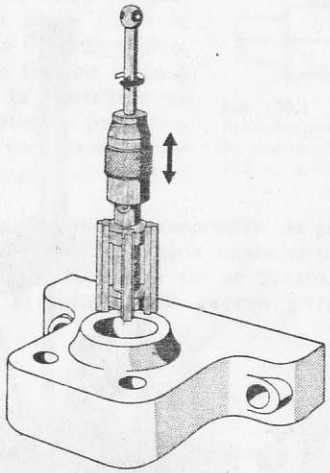


Fig. 191,1 Rectificado planetario.

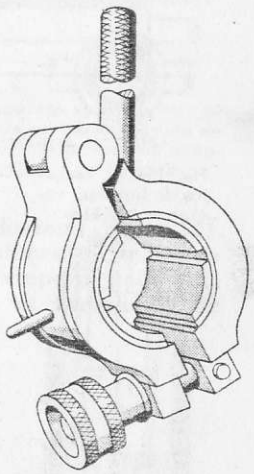


Fig. 191,2 Herramienta para rectificado planetario exterior.

Rectificado planetario. Se llama así a un trabajo de repaso o de rectificado muy fino preferentemente de taladros que obtienen como consecuencia de él una forma exactamente cilíndrica y la mejor calidad superficial como se hace por ejemplo en cilindros de automóvil, carcasas de válvula y cojinetes. Mediante este trabajo de rectificado planetario obtiene el taladro la exacta medida con que ha de funcionar. La marcha de adaptación de la máquina se hace innecesaria y el juego no deseable con ello producido resulta evitado. Como herramienta se utiliza el escariador para rectificado planetario **(fig. 191,1)**. Este útil se asemeja a un escariador regulable que en vez de filos tienen listones abrasivos de material cerámico de grano finísimo. Estos listones abrasivos tienen un ángulo de incidencia de 10° y son empujados hacia afuera mediante resorte o aire comprimido. Los listones embotados hay que volverlos a afilar. El escariador planetario hace un movimiento de rotación y simultáneamente uno de vaivén en sentido axial del taladro (rectificado cruzado). Hay que enjuagar abundantemente con petróleo. Este trabajo puede realizarse tanto en taladradoras como en tornos pero, no obstante, se utilizan para ello casi exclusivamente máquinas especiales (rectificadoras planetarias). El exceso dejado para este trabajo es de 0,03 ... 0,1 mm y la velocidad circunferencial de la herramienta es de 60 ... 70 m/min. Para el rectificado planetario exterior de gorrones, ejes y análogos se utilizan aparatos especiales **(fig. 191,2)**.

Lapidado, vaciado o bruñido. Esta operación consiste en dar una pulimentación de gran brillo y precisión a piezas previamente rectificadas, empleando para ello partes abrasivas. Con esto desaparecen incluso las finas estrías que quedan después del rectificado. Se pueden trabajar de este modo tanto las superficies planas como las curvas de piezas de fundición gris o de bronce y muy especialmente las de acero templado, y esto manualmente o con máquinas.

Por lo general entran en juego solamente máquinas especiales pero en casos aislados es posible realizar también el trabajo en el torno.
Se utiliza para esto una mordaza o terraja en que se fija un anillo bruñidor ranurado **(fig. 192,1)**. Este anillo se ajusta mediante tornillos. Como medio bruñidor se utiliza el rojo inglés o pasta especial para pulir, óxido de cromo y polvo de corindón, de vidrio, de rubí o de diamante. Este medio bruñidor se mezcla con petróleo, trementina o aceite de colza o de oliva hasta hacer una papilla fina que se aplica sobre la superficie a trabajar o en el anillo bruñidor. La mordaza o terraja con el anillo bruñidor ligeramente apretado se mueve manualmente de un lado a otro sobre la pieza animada de movimiento de rotación.

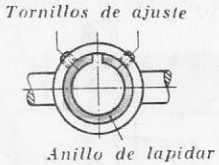


Fig. 192,1 Terrajes de lapidar, vaciar o bruñir.

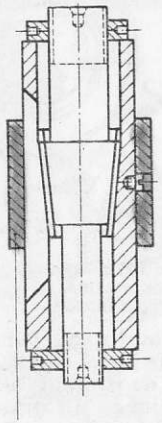


Fig. 192,2 Mandril de lapidar, vaciar o bruñir.

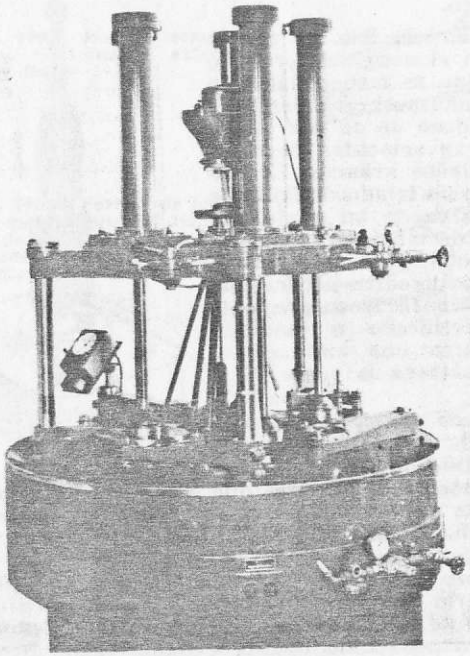


Fig. 192,3 Máquina de lapidar, vaciar o bruñir.

La velocidad circunferencial de la pieza es en esta operación hasta de 30 m/min. Para el lapidado previo se elige para el anillo bruñidor un material blando tal como el cobre o el metal blanco ya que en estos materiales agarran mejor los granos bastos del rectificado. Para el lapidado final son adecuados los anillos de fundición gris. El medio bruñidor se aplica ventajosamente con bencina. En vez del anillo bruñidor se usa a veces una barra de cobre que se maneja como si fuera una lima (lima de lapidar).
Para el lapidado de taladros se mete el anillo bruñidor en un mandril de expansión y se ajusta de acuerdo con el diámetro **(fig. 192,2)**. Para los taladros pequeños se emplean mandriles de lapidar fijos. La máquina de lapidar, vaciar o bruñir consta esencialmente de dos discos de lapidar, hechos de una fundición especialmente compacta y rectificados de modo que queden exactamente paralelos y con pulimento altamente brillante. Entre estos discos se disponen las piezas en soportes especiales (la jaula). Los ejes de los discos están desplazados entre sí.

Según sea la calidad del trabajo que se exige así los discos se moverán en sentidos opuestos o en el mismo sentido. Además a la jaula se la pueda dar un movimiento más o menos excéntrico. Con intervención del medio bruñidor se obtiene mediante los movimientos de deslizamiento y de rodadura un efecto abrillantador sobre la superficie de la pieza **(fig. 192,3)**.
El exceso dejado para este trabajo es de 0,01 ... 0,05 mm y la precisión alcanzable es al menos de 0,001 mm.

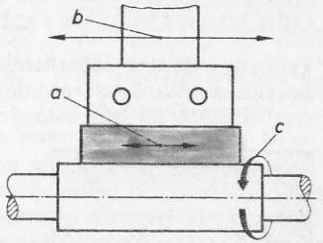


Fig. 193,1 Aparato super-finish: a) movimiento de oscilación rápida de la muela; b) movimiento de avance; c) movimiento de la pieza.

Procedimiento super-finish (rectificado de superacabado). Mediante este procedimiento de trabajo se obtienen superficies especialmente limpias. Durante el movimiento de rotación de la pieza la muela fijada en un soporte oscila a un lado y otro. Con esto se eliminan en cortísimo tiempo incluso las más finas irregularidades de la superficie de la pieza. Existen aparatos super-finish para trabajo exterior y para trabajo interior. Pueden disponerse cómodamente, por ejemplo en tornos **(fig. 193,1)**.

Pulimentado a presión (rodamiento pulimentador, compresión de pulimento) (fig. 193,2). En este procedimiento la superficie es comprimida hasta el pulimento con ayuda de rodillos o de bolas. Este modo de trabajar no se presta, empero, nada más que para materiales blandos a semiduros. El exceso para el trabajo es de 0,02 ... 0,05 mm.

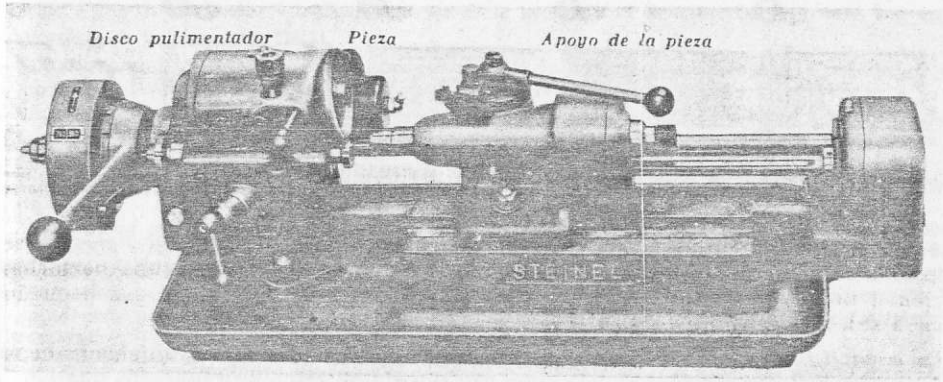


Fig. 193,2 Máquina para rodamiento pulimentador.

Juicio sobre las superficies de las piezas

Como de la calidad superficial especialmente de las piezas deslizantes depende en grado sumo la resistencia al desgaste y la duración, es decir la eficacia o el rendimiento de la máquina, se presentan cada vez más exigencias a las superficies. El estudio sobre las superficies ha llegado, por esta razón, a constituir en estos últimos años un capítulo importante de la técnica.

Estructura de una superficie. Es importante el hecho de que la piel superficial trabajada mediante arranque o sin arranque de viruta tiene un carácter diferente que el material que está debajo.

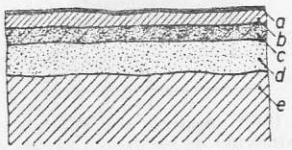


Fig. 194,1 Piel superficial de las piezas: *a*, capa de grasa y de suciedad; *b*, capa límite exterior; *c*, capa de transición; *d*, capa límite interior; *e*, material.

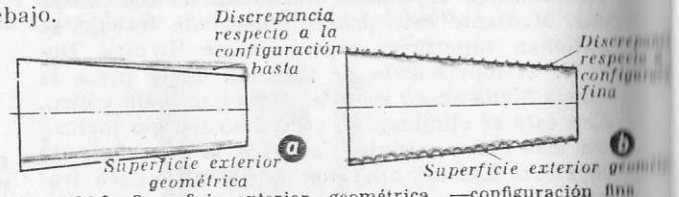


Fig. 194,2 Superficie exterior geométrica —configuración fina configuración basta.

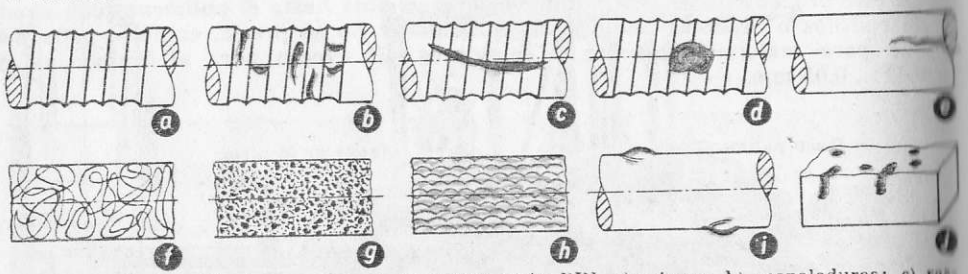


Fig. 194,3 Designación de asperezas de superficie según DIN. a) estrías; b) acanaladuras; c) rasguños; d) cavidad; e) grieta; f) carácter superficial de estrías desordenadas; g) granulaciones (en piezas en bruto); h) escamas; i) protuberancias; j) poros.

Se distinguen distintas capas. Inmediatamente sobre el material del núcleo se halla la *capa límite interior*. Aquí se ha producido en el material una perturbación debida al mecanizado. La capa es tanto más delgada cuanto más pequeño haya sido el arranque de viruta.

La *capa límite exterior* consiste en los metales no nobles en una delgada capa de óxido. Entre ambas hay una *capa de transición*. Por fuera tenemos una *capa de grasa* o de *suciedad* que incluso después de un lavado a fondo con bencina puede tener todavía un espesor de 0,5 μ **(fig. 194,1)**.

Conceptos para la caracterización de la forma de la superficie. En el taller se enjuicia, en primer término, sobre la configuración de la superficie. Los conceptos quedan fijados en DIN 4760 ... 4762.

Se entiende por *superficie geométrica* la forma teórica (cilíndrica, cónica, etc.).

Superficie nominal es la superficie prescrita **(fig. 194,2 a)**.

Superficie real es la superficie obtenida mediante la fabricación.

Las discrepancias de la *configuración basta* se producen por ejemplo a causa de una incorrecta sujeción (faltas de redondez), torneado cónico en el torno, flexión de la pieza **(fig. 194,2)**.

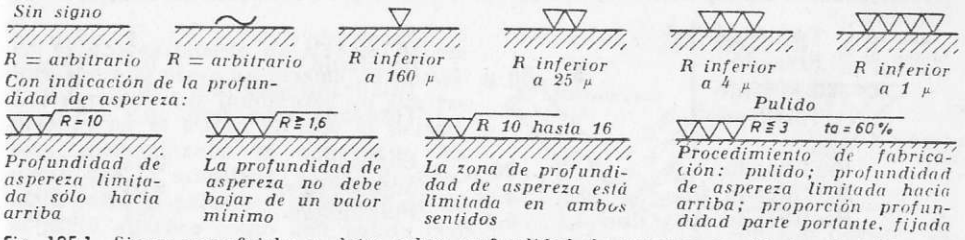


Fig. 195,1 Signos superficiales y datos sobre profundidad de aspereza en dibujos de taller.

Las discrepancias de la configuración fina pueden consistir, por ejemplo, en ondulaciones, acanaladuras, estrías, rasguños y escamas entre otras cosas. Llamamos *acanaladura* a una huella producida de modo forzado durante el mecanizado y *estría* a una huella surgida casualmente. Se llaman *rasguños* los deterioros casuales de forma parecida a una estría y *cavidades* a las que adopten la forma de una hondonada o concavidad **(figs. 194,3 195,2)**.

Las *grietas* establecen una rotura en la estructura del material y generalmente tienen mayor profundidad.

Se entiende por *línea media* (L_m) una línea trazada de tal modo por la parte de superficie que se estudia (trecho de referencia) que el área de las protuberancias sea igual al de las hondonadas **(fig. 195,3)**. *Línea envolvente* (L_h) es la línea que pasa por el punto más alto de las protuberancias y paralelamente a la línea media. *Línea de fondo* (L_g) es la línea que pasa por el punto más bajo de las hondonadas y paralelamente a la línea media.

Se designa con el nombre de *profundidad de aspereza* (*R*), la distancia entre la línea envolvente (L_h) y la de fondo (L_g). Cuanto menor es la profundidad de aspereza tanto más fina es la superficie de la pieza **(fig. 195,1)**.

Superficie media (F_m) es la superficie que corta a la parte de superficie que se estudia de tal modo que el volumen de las protuberancias sea igual al de las hondonadas.

La *superficie de fondo* (F_g) pasa por el punto más profundo de las hondonadas y la superficie envolvente (F_h) por el punto más alto de las protuberancias y en ambos casos paralelamente a la superficie media.

Profundidad de aspereza de las superficies (R_f) es la distancia entre las superficies envolvente y de fondo.

Profundidad media de la aspereza (R_m) es la distancia entre la línea media y la línea de fondo **(fig. 195,3)** y *profundidad media de aspereza* de las superficies es la distancia entre la superficie media y la de fondo.

Profundidad de onda (*W*) es la distancia entre dos líneas de las cuales una pasa tocando los puntos más altos y la otra los más bajos de al menos dos ondas, deduciendo la profundidad de aspereza.

Se llama *parte portante de las superficies* a la suma de las superficies de contacto de la pieza con la contrasuperficie teórica en %.

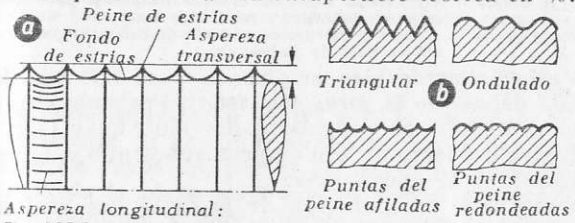


Fig. 195,2 a) designaciones en las estrías; b) perfiles de estrías.

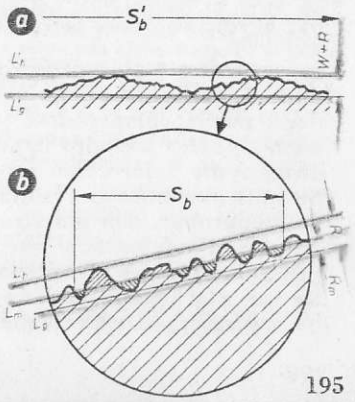


Fig. 195,3 (derecha) a) profundidad de ondas; b) profundidad de aspereza; L_h, línea envolvente; L_m, línea de fondo; S_b, trecho de referencia; L'_h, línea envolvente de las ondas; L_g, línea de fondo de las ondas; *R*, profundidad de aspereza; R_m, profundidad media de aspereza; *W*, profundidad de onda; S'_b, trecho de referencia de las ondas (dibujado sólo parcialmente).

Profundidades de aspereza alcanzables con distintos procedimientos de trabajo:

Torneado, Fresado, Cepillado, Taladrado	5 ... 30 μ	Escariado	1 ... 7 μ
		Brochado	0,4 ... 15 μ
		Taladrado muy fino	0,2 ... 3 μ
		Torneado muy fino	0,2 ... 3 μ
Rectificado	2 ... 20 μ	Lapidado	0,05 ... 0,5 μ
Rectificado fino	0,5 ... 2 μ	Super-Finish	0,03 ... 0,5 μ
Rectificado muy fino	0,1 ... 0,5 μ	Pulimentado	0,1 ... 0,5 μ
Rectificado planetario	0,1 ... 1 μ		

Superficie portante alcanzable

Cuanto más fina sea la configuración de la superficie, tanto más partes de la misma apoyan, en general. Así la parte portante de las piezas sencillamente rectificadas vale sólo aproximadamente un 30 %, las piezas con rectificado muy fino o las lapidadas un 75 % y las trabajadas por rectificado oscilante (superfinish) hasta un 95 %.

Medición y comprobación de la aspereza superficial

Para comprobar la configuración de la superficie o para medir la aspereza de superficie se han desarrollado una gran variedad de procedimientos y aparatos. El procedimiento más sencillo de comprobación consiste en apreciar la superficie a simple vista o en palparla con los dedos. Cuanto más poder reflectante tiene una superficie tanto más lisa es.

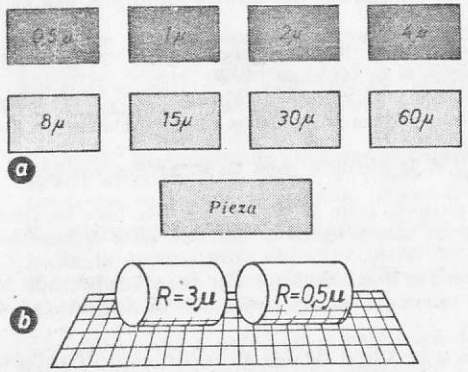


Fig. 196,1 Comprobación de la superficie a simple vista. a) comparación con piezas de muestra; b) reflexión de una base de apoyo provista de dibujo.

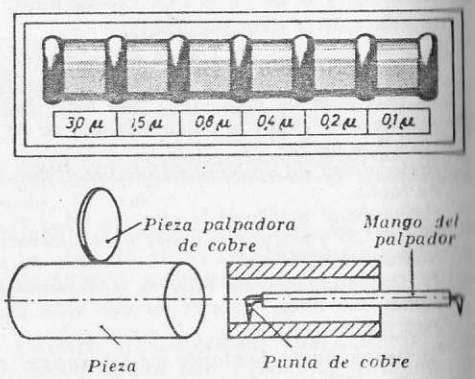


Fig. 196,2 Normas de comparación para comprobar superficies mediante palpación con una pieza de cobre o en el caso de taladros mediante un estilete de palpación.

La reflexión puede observarse especialmente bien empleando para ello una lámina provista de dibujo colocada debajo de la pieza (**fig. 196,1**). Frotando con el dedo puede comprobarse ya la presencia de irregularidades muy finas (1 μ y menos). Estos métodos dependientes del tacto no son empero suficientes o tienen únicamente valor como procedimientos de emergencia.

Se obtienen buenos resultados mediante comparación de la pieza que se trata de comprobar, con *muestras (muestras normalizadas de comparación)*. Mediante palpación comparada pueden apreciarse ya profundidades de aspereza hasta por debajo de 0,1 μ con exactitudes de aproximadamente ± 20 % (**figs. 196,1 y 2**). Se ven claramente las irregularidades cuando se observan con una lupa o con un microscopio especialmente dispuesto.

En el *procedimiento de Mechau* se coloca sobre la pieza un prisma de cristal. Los rayos de luz incidentes no son reflejados en el punto en que el prisma toca directamente la superficie. Es decir que la ampliada banda de contacto entre el prisma y la superficie de la pieza aparece como una banda con zonas claras y oscuras en que las partes oscuras denotan las protuberancias y las claras, por el contrario, las hondonadas de la superficie (**fig. 197,1**).

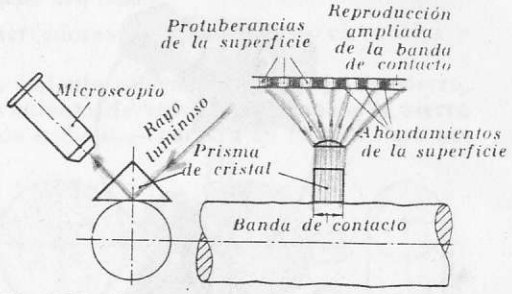


Fig. 197,1 Comprobación de la superficie según Mechau mediante reflexión de rayos de luz

En el *aparato de ensayo de interferencias* (**fig. 197,2**) los rayos de luz arrojados por un manantial luminoso sobre un espejo semitransparente son dirigidos en parte sobre la superficie de la pieza y en parte atraviesan el espejo y van a dar sobre una superficie de comparación (espejo plano). Las lentes O_1, O_2 y O_3 sirven para guiar los rayos. Los rayos reflejados por el espejo plano y la superficie de

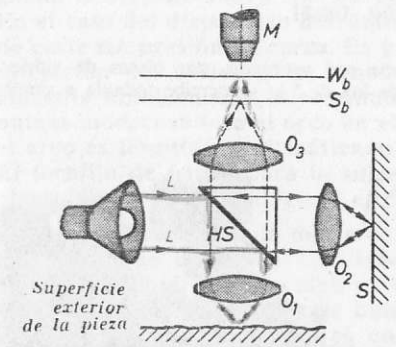


Fig. 197,2 Aparato comprobador de superficies por interferencias (Dr. Kohaut). *L*, rayos luminosos; *S*, espejo plano; 0_1, 0_2, 0_3, lentes ópticas; *HS*, espejo semitransparente; S_b, reproducción del espejo plano; W_b, reproducción de la superficie de la pieza; *M*, microscopio. Azul: trayecto de los rayos para la reproducción de la superficie de la pieza. Negro: trayecto de los rayos para la reproducción de la superficie del espejo.

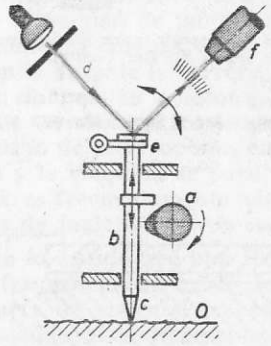


Fig. 197,3 Aparato medidor de superficies exteriores (Principio de Forster, representación esquemática). Mediante el rápido giro del disco leva *a* obtiene el punzón palpador *b* provisto de la aguja palpadora *c* 50 ó 100 oscilaciones por segundo. Con esto se palpa la superficie *O* de la pieza y el rayo luminoso incidente *d* es desviado por el espejo *e* de acuerdo con las irregularidades que presente la superficie de la pieza. Esta desviación es fuertemente aumentada por medio del dispositivo óptico *f*. Puede leerse o también ser registrada sobre una cinta. Radio de la punta de la aguja palpadora (punta de diamante): 0,01 mm. Fuerza de medición: por debajo de 1 g.

la pieza reproducen en W_b y S_b la superficie de la pieza o la del espejo respectivamente. Si ambos trayectos de rayos tienen las mismas longitudes, se refuerzan los rayos. Si, por el contrario, a causa de las irregularidades de la superficie de la pieza los trayectos tienen distinta longitud se amortiguan los rayos parcialmente y parcialmente también se refuerzan. Se produce una imagen de bandas luminosas claras y oscuras (imagen de interferencias) que con un poco de práctica permite reconocer muy bien la configuración de la finura de la superficie (**fig. 198,5**).

Con el *microscopio electrónico* se obtienen aumentos hasta de 1 : 150 000. El costo de adquisición es, empero, muy elevado.

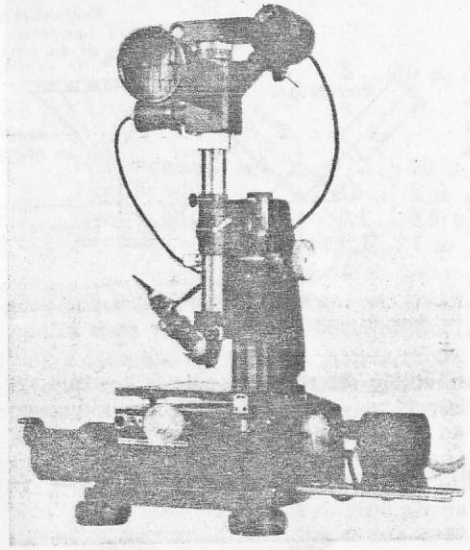


Fig. 198,1 Aparato para medir superficies exteriores según Forster (Leitz).

Otros procedimientos utilizan un punzón palpador fino, con el cual se explora la superficie. Los movimientos muy pequeños del punzón palpador son aumentados mecánica, óptica o eléctricamente haciéndose así perceptibles (*Aparato para medición en superficies según Forster, Perth-O-Meter* [tipo Universal]) **figs. 197,3 198,1; 198,3 y 4).**

Por un *procedimiento netamente eléctrico* puede por ejemplo medirse la profundidad media de una determinada porción de superficie utilizando el Perth-O-Meter (tipo U). La superficie de la pieza por un lado y el electrodo de medición por otro completan la función de un verdadero condensador. La magnitud de la tensión del condensador se rige por las irregularidades de la superficie y se lee en una escala como medida de la profundidad media de aspereza (magnitud de la lisura) **(fig. 198,2).**

Las irregularidades de superficies pueden comprobarse por entintado, por placas de vidrio plano **(fig. 198,6)** o con ayuda de una regla. Una rendija de luz de 5 μ se percibe todavía a simple vista

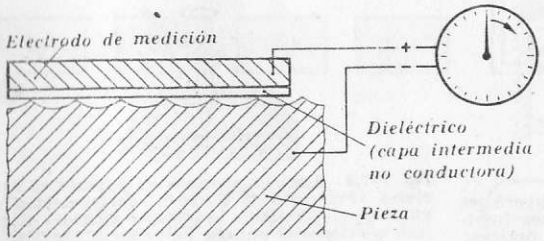


Fig. 198,2 Medición de un trozo de superficie por medio de condensador.

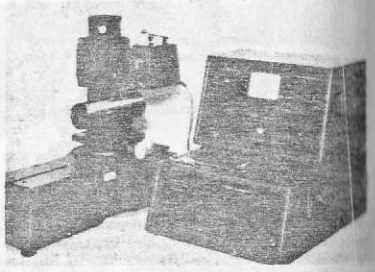


Fig. 198,3 Perth-O-Meter (tipo Universal.

Fig. 198,4 Diagrama de superficie (R = 0,4 μ).

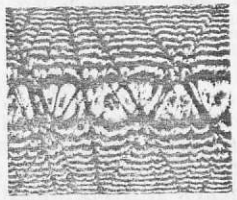


Fig. 198,5 Figura por interferencia de una superficie de un cojinete de deslizamiento.

Fig. 198,6 Comprobación de la planitud de superficies con placas de vidrio planas. Las irregularidades se ponen de manifiesto por interferencia (fenómenos de refracción). Exactitud aproximada 1 μ.

Arranque de viruta mediante aserrado y tronzado con muela

Aserrado. Se distingue entre máquinas aserradoras de arco, sierras circulares y sierras de cinta **(fig. 199,1).**

En las máquinas de arco (sierras de movimiento alternativo) la hoja de sierra, sujeta en un arco, es conducida con movimiento de vaivén. No trabaja la sierra nada más que en una dirección (carrera de trabajo — carrera en vacío). Para ac-

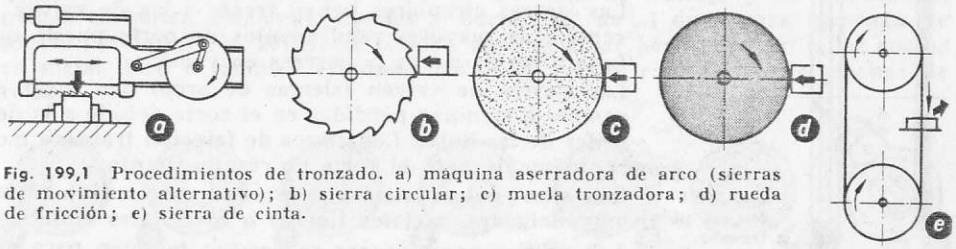


Fig. 199,1 Procedimientos de tronzado. a) máquina aserradora de arco (sierras de movimiento alternativo); b) sierra circular; c) muela tronzadora; d) rueda de fricción; e) sierra de cinta.

cionamiento se emplea uno de manivela. Durante la carrera en vacío se levanta el arco para un mejor cuidado de la hoja de sierra. La longitud de la carrera puede ajustarse mediante desplazamiento del botón de manivela. La velocidad de corte es frecuentemente regulable sin escalonamiento. El avance se regula cargando el arco de sierra con un peso desplazable o también de modo hidráulico. En el caso del dispositivo hidráulico de avance comienza muchas veces la carrera de corte sin presión de carga. La presión va subiendo durante la carrera. La suave iniciación del corte va en beneficio de la hoja; la presión creciente de corte aumenta notablemente el rendimiento. Después de terminar el corte en las máquinas modernas toca el arco en el tope de un husillo de interrupción con lo cual el arco es levantado automáticamente de la pieza y la máquina se para.

El tornillo de banco para la sujeción de la pieza es frecuentemente virable con objeto de permitir también la ejecución de cortes de inglete.

Sierras circulares. La hoja de sierra circular trabaja lo mismo que una fresa.

Las máquinas de sierra circular trabajan con frecuencia de modo totalmente automático (hidráulicamente), es decir que la barra de material colocada en la máquina (a mano o mediante una grúa) es empujada automáticamente hasta un tope, es sujetada, la sierra es conducida hasta la pieza, la pieza es tronzada, etc., etc., Es incluso posible el ajuste de un determinado número de trozos. A veces se tronza con varias sierras circulares simultáneamente. Hay además máquinas que además de cortar las piezas las taladran y las doblan.

En los talleres de laminación se emplean sierras en caliente para tronzar piezas todavía calientes.

Sierras de cinta para metales. Se emplean especialmente para cortes curvos o para recortar intersecciones. La hoja de sierra en forma de cinta va unida con soldadura fuerte y pasa sobre dos poleas **(fig. 199,1 e).**

Rueda o disco de fricción (sierra para tronzado rápido). En este sistema se acerca a la pieza un disco de acero blando y tenaz dotado de gran velocidad de giro y con la periferia bien áspera y granulada. En virtud del fuerte rozamiento el material de la pieza se funde en la parte que se quiere tronzar. La velocidad periférica del disco es de unos 140 m/s **(fig. 199,1 d).**

Tronzado mediante muela. Se utilizan para esta operación muelas especiales para tronzar, según DIN 69 159. Estas muelas constan bien sea completamente de masa abrasiva (forma A), bien sea de un núcleo de acero en forma de disco que lleva solamente por la periferia un recubrimiento abrasivo con ligamento elástico

(forma B). Las primeras tienen con diámetros crecientes de 100 ... 500 mm, espesor de 0,5 ... 5 mm y una velocidad máxima admisible hasta de 80 m/s y en máquinas estacionarias hasta de 100 m/s y las segundas para diámetros de 300 ... 800 mm un espesor de 6 ... 9 mm y una velocidad máxima admisible de hasta 60 m/s **(fig.200,1)**.

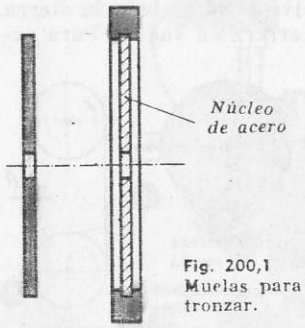


Fig. 200,1 Muelas para tronzar.

Observaciones:

Las sierras circulares tienen frente a las de vaivén la ventaja de mayores rendimientos de corte puesto que falta a las primeras la carrera en vacío.

Las sierras de vaivén (sierras de arco) dan lugar en cambio a menores pérdidas en el corte debido a la delgadez de las hojas. Los discos de fricción trabajan muy rápidamente pero el corte no resulta limpio.

Con sierras de cinta no se pueden cortar sino piezas muy delgadas, metales ligeros o materiales sintéticos.

Las muelas para tronzar se prestan también para materiales muy duros.

Herramientas para aserrar (fig. 200,2 y 3). Elíjanse las hojas de sierra tan delgadas como sea posible con objeto de disminuir la pérdida en el corte.
El paso de dientes pequeño se utiliza para cortes finos y piezas pequeñas y de pared delgada así como para materiales duros; el paso de dientes grande se utiliza en cortes de piezas grandes y en casos de materiales blandos.

Velocidad de corte y avance. Para materiales duros, se emplean avance y velocidad de corte pequeños; para materiales blandos hay que emplear avance y velocidad de corte, grandes.
Las sierras de arco se conducen a mano para iniciar el corte, con objeto de que la hoja no resbale de un lado a otro.
Las sierras circulares exigen una refrigeración abundante dado su elevado rendimiento de corte.

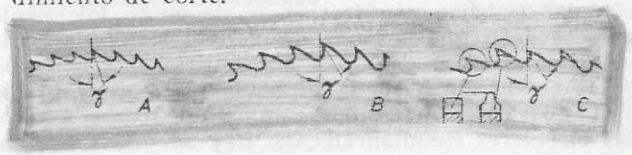


Fig. 200,2 Formas de dientes en hojas de sierra circular para metales segun DIN 1840. Forma A: diente de ángulo; forma B: diente en arco; forma C: diente en arco [los que están afilados en 1/3 por arriba sobresalen de los otros (alternados) en 0,15 a 0,3 mm, cortan antes, por lo tanto].

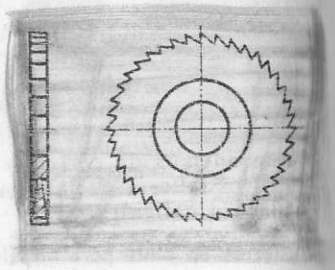


Fig. 200,3 (derecha) Hoja de sierra circular.

Erosión por chispas

Cuando saltan chispas eléctricas, se transportan finísimas partículas de material; se habla entonces de que se produce una «erosión por chispas». Ahora bien, se ha conseguido emplear de modo económico la erosión por chispas para el trabajo de acero templado o de metal duro. Se presta especialmente el procedimiento para la ejecución de penetraciones o perforaciones de sección cualquiera o para completar el trabajo en matrices de estiraje y de punzonado, placas cortantes, estampas, moldes y buriles de metal duro para torneado de piezas perfiladas **(fig. 201,1)**. Se pueden además afilar herramientas, tallar roscas en metal duro o también eliminar trozos de brocas espirales o de machos de roscar.

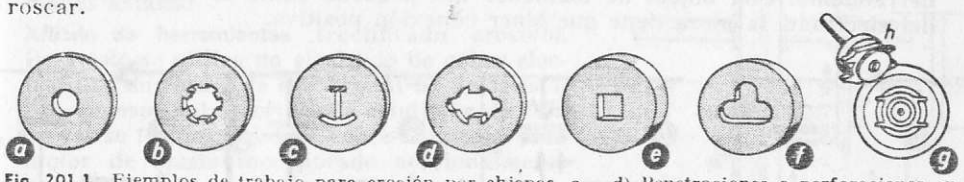


Fig. 201,1 Ejemplos de trabajo para erosión por chispas. a ... d) Penetraciones o perforaciones en placas cortantes; e) ... g) trabajos en estampas; h, electrodo de herramienta para trabajar la pieza g).

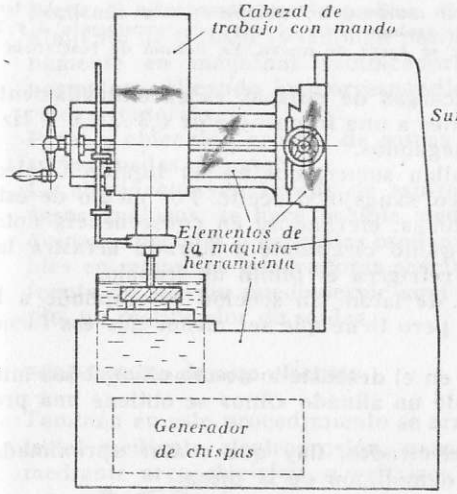
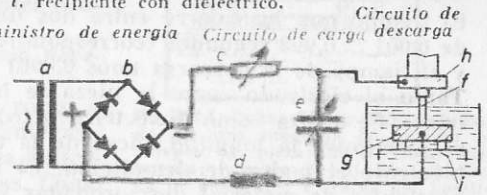


Fig. 201,3 (abajo) Generador de chispas (representación esquemática). *a*, transformador; *b*, rectificador conectado en puente; *c*, resistencia de carga (regulable); *d*, bobina de reacción; *e*, condensador regulable; *f*, electrodo de la herramienta; *g*, pieza a trabajar; *h*, entrada de corriente; *i*, recipiente con dieléctrico.



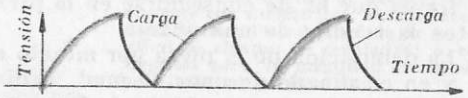


Fig. 201,4 Oscilaciones flojas.

Fig. 201,2 Máquina para el trabajo de erosión por chispas.

Modo de trabajar

Una máquina para trabajar mediante erosión por chispas consta de generador de chispas, mando y máquina-herramienta **(fig. 201,2)**.

El **generador de chispas** (un generador de circuito oscilante) produce la corriente de alta frecuencia necesaria para la formación de chispas **(figs. 201,3 y 4; 202,1)**. En la *parte correspondiente al abastecimiento de energía* la corriente alterna de la red se transforma en corriente continua mediante un rectificador. Éste, en el *circuito de carga* y a través de una resistencia, carga un condensador.

El tiempo necesario para esto se calcula por la fórmula $T = R \cdot C$ (T = tiempo en segundos, R = resistencia en ohmios, C = capacidad del condensador en faradios).

Mediante variación de la resistencia o de la capacidad se puede por lo tanto regular el tiempo de la carga y de la descarga y con ello la frecuencia. La bobina de reacción (bobina de reactancia) amortigua la oscilación, aumenta el rendimiento e impide el perjudicial efecto de retroceso sobre el rectificador.
En paralelo con el condensador se halla el tramo de chispas (tramo o puesto de trabajo), es decir, el *circuito de descarga.*

Si estando el condensador cargado se han aproximado entre sí el electrodo-herramienta y la pieza, la chispa que se produce en la descarga (canal de chispas) origina un arrastre o demolición de material en la pieza y en el electrodo-herramienta. Con objeto de mantener tan pequeño como se pueda el desgaste del electrodo, la pieza tiene que tener conexión positiva.

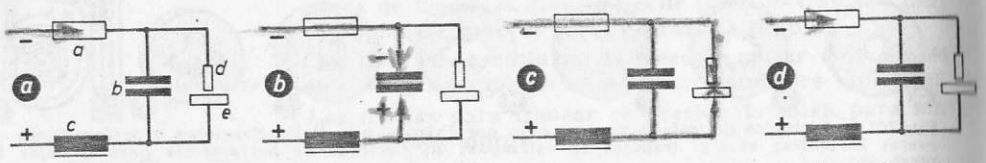


Fig. 202,1 Modo de trabajar el generador de chispas; a) La corriente pasa a través de la resistencia *u* al condensador *b*, necesitando para ello el tiempo $T = R \cdot C$. (b) El condensador está cargado, entre las placas del mismo se ha formado un campo de tensión ((capacidad *C*). (c) La tensión del condensador se descarga en el punto de trabajo entre el electrodo-herramienta *d* y la pieza *e*, en forma de chispa. (d) El condensador se carga de nuevo. La bobina de reactancia *c* impide el retroceso de la corriente.

El tiempo que transcurre entre dos descargas de chispas es aproximadamente de 0,001 ... 0,003 segundos (correspondientes a una frecuencia de 0,3 ... 1,0 K Hz), y el tiempo de la descarga unos 0,0001 segundos.
Tanto el electrodo como la pieza se hallan sumergidos en un líquido (dieléctrico). Se utiliza como dieléctrico petróleo, sangajol o aceite. Por medio de éste se disminuye la longitud eficaz de la chispa, elevándose en consecuencia notablemente el poder de demolición. El líquido circulante y filtrado arrastra las partículas de material desmoronadas y refrigera el punto de trabajo.
El electrodo-herramienta es de cobre o de latón. Su sección corresponde a la forma que ha de conseguirse en la pieza pero tiene que ser menor que esa forma en la rendija de una chispa.
La demolición de la pieza por minuto es en el desbastado de unos 300 ... 500 mm³ y en el afinado de unos 40 mm³. Mediante un afinado «fino» se obtiene una profundidad de aspereza hasta de 1 µ.
En cuanto al consumo o desgaste de electrodos, hay que contar aproximadamente con un 20 % del volumen de la demolición de la pieza.

Mando. A causa de la merma del electrodo por un lado y de la demolición de la pieza por otro, debería irse agrandando continuamente la distancia entre ambos y finalmente interrumpirse la formación de chispas. El mando, por lo general automático, se ocupa de que permanezca en todo momento constante y en su valor conveniente la distancia entre el electrodo y la pieza. El mando influye sobre la calidad de la superficie, la exactitud de la forma vaciada y sobre el rendimiento de la operación. La tensión de chispa en el punto de trabajo determina la necesaria magnitud de ajuste para el motor encargado de esto.

Máquina-herramienta. Las máquinas de erosión por chispas se emplean predominantemente en la construcción de herramientas y de montajes; tienen, por lo tanto, que trabajar con mucha precisión como máquinas taladradoras por coordenadas. El cabezal de trabajo (**fig. 203,1**), desplazable en tres direcciones, lleva *husillo de trabajo, husillo de avance, vibrador, motor rotativo para el husillo* y *motor de ajuste.*

El recipiente con el dieléctrico puede bajarse y subirse mediante pulsador. El electrodo está fijado en el husillo de trabajo con un dispositivo de sujeción de pinzas. Para la obtención de taladros exactamente redondos recibe el husillo de trabajo con el electrodo-herramienta un movimiento de rotación (unas 500 rev/min). Para hacer posible un mejor enjuague en el punto de trabajo, pueden darse además al husillo de trabajo, mediante un vibrador, oscilaciones axiales.

Afilado de herramientas (rectificado erosivo). Para esto se utiliza un electrodo de cobre electrolítico en forma de disco, o, si ha de satisfacer con especial severidad la condición de conservar su forma, mejor de cobre-tungsteno y un motor de ajuste incorporado adicionalmente para el avance en dirección horizontal (**figura 203,2**). El desgaste del disco se reparte sobre la periferia.

Recticado electroerosivo de perfiles. Este procedimiento de trabajo es también posible modernamente en máquinas rectificadoras planas normales, aplicando los correspondientes aparatos accesorios.
Para la obtención erosiva de roscas son necesarias ruedas de cambio.
La eliminación de brocas de espiral rotas, o casos análogos, se hace posible mediante máquinas especiales o cabezales oscilantes aplicables en máquinas taladradoras sencillas. Como fuente de energía puede servir aquí por ejemplo, un rectificador de soldar.

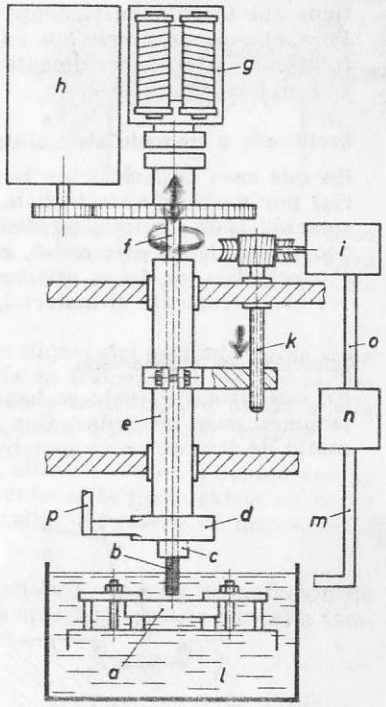


Fig. 203,1 Cabezal de trabajo, con mando, de una máquina de erosión por chispas: *a*, pieza; *b*, electrodo-herramienta; *c*, pinza de sujeción; *d*, llegada de corriente; *e*, vaina del husillo; *f*, husillo de trabajo; *g*, vibrador; *h*, motor rotativo para el husillo; *i*, motor de ajuste; *k*, husillo de avance; *l*, recipiente con dieléctrico; *m*, conducción para la magnitud de medida de la longitud de chispa; *n*, regulador; *o*, conducción para la magnitud de ajuste; *p*, ajuste en profundidad.

Procedimiento de arco eléctrico

También en este procedimiento se arranca material mediante electroerosión, pero no como en la erosión por chispas, sino mediante arco eléctrico, o voltaico. Con objeto de «cebar» el arco eléctrico se

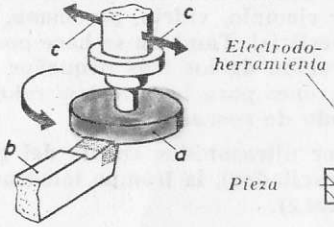


Fig. 203,2 Afilado erosivo de herramientas de metal duro: *a*, electrodo-herramienta en forma de disco; *b*, pieza (herramienta de metal duro); *c*, avance por medio de motor especial de ajuste.

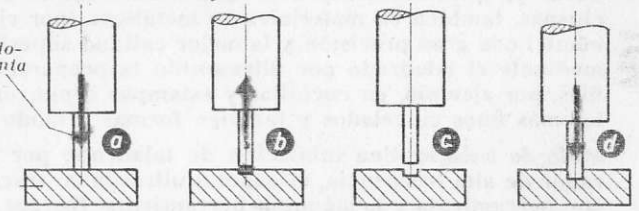


Fig. 203,3 Proceso en el procedimiento del arco voltaico. a) El electrodo-herramienta toca la pieza; b) el electrodo-herramienta se aleja de la pieza y da lugar con ello a un arco eléctrico (arranque de material); c) la distancia entre el electrodo-herramienta y la pieza se ha agrandado tanto que el arco eléctrico desaparece; d) el electrodo-herramienta toca nuevamente la pieza.

tiene que tocar primeramente la pieza y separarse de ella nuevamente **(fig. 203,3)**. Para ello es necesario un cabezal oscilante. El material se funde. Los bordes fundidos exigen generalmente un trabajo posterior de retoque. El procedimiento es por ello menos usado.

Rectificado o tronzado electrolíticos

En este caso la demolición tiene lugar en forma de disolución química del material por medio de electrólisis. La herramienta dotada de rápido movimiento de rotación (por ejemplo, un disco cilíndrico de fundición gris) como cátodo constituye uno de los electrodos, el otro es la pieza (ánodo). Entre ambos se dispone el electrolito, es decir, el líquido, generalmente silicato sódico, que ha de disolver eléctricamente el material.

Taladrado por ultrasonidos

En este procedimiento se hace que la herramienta esté sometida a muchas oscilaciones muy pequeñas. Con un medio abrasivo de grano fino colocado en el punto de trabajo se va penetrando en la pieza **(fig. 204,1)**.

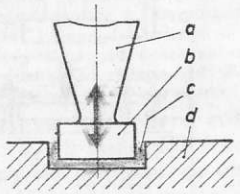


Fig. 204,1 Proceso en el taladrado por ultrasonidos: *a*, trompa taladradora; *b*, herramienta; *c*, elemento abrasivo; *d*, pieza.

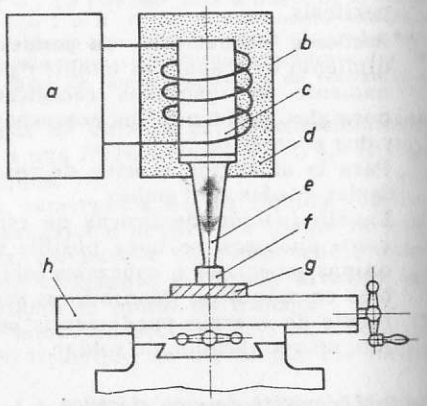


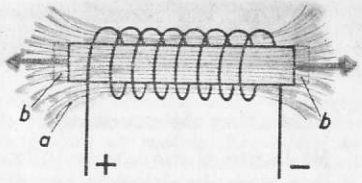
Fig. 204,2 Instalación (esquemática) de ultrasonidos: *a*, generador de alta frecuencia; *b*, cabezal de ultrasonidos; *c*, oscilador; *d*, refrigeración; *e*, trompa de taladrar; *f*, herramienta; *g*, pieza; *h*, carrillo de movimientos en cruz.

De acuerdo con la sección transversal de la herramienta se pueden conseguir también por este procedimiento penetraciones y escotaduras arbitrarias en piezas de los metales duros y más duros existentes (por ejemplo acero templado, metal duro) y, contrariamente a lo que ocurre en el procedimiento de erosión por chispas, también en materiales no metálicos (por ejemplo, vidrio, porcelana, diamante) con gran precisión y la mejor calidad superficial. También se hace posible mediante el taladrado por ultrasonido la preparación de los más pequeños perfiles, por ejemplo, en cuchillas y estampas o punzones para la industria relojera, los más finos cincelados y también formas a modo de roscas.

Modo de trabajar. Una intalación de taladrado por ultrasonidos consta del generador de alta frecuencia, el cabezal ultrasónico (oscilador), la trompa taladradora con herramienta y la máquina-herramienta **(fig. 204,2)**.

El *generador de alta frecuencia* transforma la frecuencia disponible en la red de corriente eléctrica (50 Hz) en la alta frecuencia necesaria de 20 ... 25 kHz.
En el *cabezal ultrasónico* existe una barra de una aleación de níquel que se halla envuelta en una bobina (oscilador). Cuando pasa por la bobina una corriente, se alarga la barra (efecto Joule, magnetoestricción, efecto magnetoestrictivo **(fig. 205,1)**.

Fig. 205,1 Magnetoestricción: Una barra ferromagnética (acero o níquel) se alarga al meterla en un campo magnético. Un campo magnético se produce por ejemplo en una bobina recorrida por una corriente. *a*, líneas de fuerza del campo magnético; *b*, variación de longitud de la barra (solamente pocas milésimas de milímetro)



Si se trata de una corriente alterna, la barra se alargará y se acortará en unas milésimas de milímetro al ritmo de la frecuencia de la corriente alterna. Para prever la necesaria refrigeración el oscilador se halla sumergido en una baño de aceite.

La *trompa* está cuidadosamente fijada a la barra de níquel del oscilador. Una capa de aire entre las superficies en contacto impediría la transmisión de las oscilaciones ultra-sónicas. La *herramienta* va atornillada a la trompa o unida a ella por soldadura fuerte. La herramienta es de cobre, latón o acero sin templar.

En la *máquina herramienta* puede desplazarse en altura el cabezal sónico con la herramienta mediante una guía de columna. Para colocar la pieza existe un carro de movimientos cruzados. Por medio de un indicador de esfera se mantiene la presión de trabajo con magnitud constante.

El medio abrasivo (carburo bórico o carburo de silicio) con una granulación de 250 ... 800 se halla mezclado con un líquido. Puede aplicarse con un pincel o también mantenerse en circulación mediante una bomba.

Aclaración de conceptos

Mediante el *mando* se influye sobre los procesos en máquinas o instalaciones. Por ejemplo en las máquinas herramientas se mandan los movimientos principal o de corte, los movimientos de maniobra y de avance y los de ajuste y aproximación **(figs. 206,1 y 2)**.

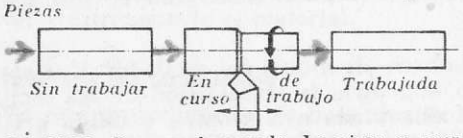


Fig. 206,1 Proceso de mando. La pieza es acercada, sujetada, trabajada, soltada de la sujeción y retirada.

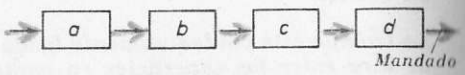


Fig. 206,2 Cadena de mando. Un proceso de mando sigue a otro. *a*. aportación de la pieza; *b*. sujeción de la pieza; *c*. torneado de la pieza; *d*. taladrado de la pieza, etc., etc.

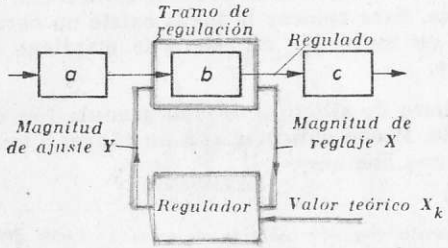


Fig. 206,3 Circuito de reglaje. Magnitud de reglaje es la magnitud que ha de ser reglada. La magnitud de ajuste es la magnitud de partida del regulador que actúa sobre el órgano de ajuste. Tramo de regulación es el alcance ó la zona en que una magnitud es influida por la regulación.

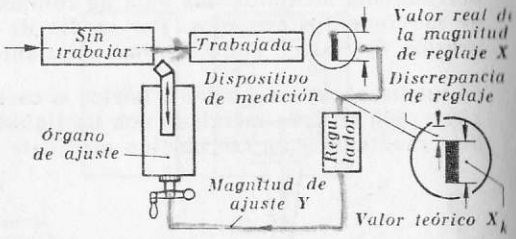


Fig. 206,4 Proceso de regulación (circuito de reglaje). El regulador mide las discrepancias X_w e influye mediante la magnitud de ajuste *Y* sobre el órgano de ajuste. La misión del regulador queda por lo general cumplida automáticamente, pero puede también ser realizada por las personas.

Los movimientos pueden ser rectilíneos, circulares o curvilíneos, en una dirección o en direcciones variantes, a velocidad mayor o menor y ser uniformes o irregulares.

El mando tiene aquí una doble misión:

1. La herramienta y la pieza han de ser llevadas en cada momento a una determinada posición mutua: *Mando de posición o trayectoria.*
2. Los movimientos tienen que realizarse en cada momento con una determinada velocidad: *Mando de velocidad.*

Además de las previstas se presentan frecuentemente formas de movimiento no deseadas, es decir, no mandadas. Así por ejemplo pueden presentarse oscilaciones, flexiones o el fenómeno «stick-slip» (es decir en pequeñas variaciones de avance, tras fijación inicial, avance del carro a tirones. También es posible una involuntaria detención del movimiento (¡marcha muerta o loca!).

Mediante *regulación* se manda el proceso, a base de mediciones continuas, de tal modo que en caso de discrepancia de medidas se obtiene la medida nominal o teórica [1]).

En el mando se trata por lo tanto de un proceso abierto de acciones mientras que en la regulación ese decurso de acciones es cerrado **(figs. 206,2, 3 y 4)**.

Los procesos de mando y de regulación pueden ser provocados automáticamente o a mano.

[1]) Según DIN la regulación es un proceso en el que el valor de una magnitud previamente dado se obtiene y se mantiene continuamente interviniendo a base de mediciones de esa magnitud.

Procesos de mando: Avance en máquinas-herramientas. Ajuste de un número de revoluciones determinado. Aproximación del útil de tornear para obtener un determinado diámetro de torneado. Decurso automático de los procesos de trabajo en una máquina automática. Rectificado sin puntas en el procedimiento de paso. Ajuste de una calefacción de acuerdo con la temperatura exterior.

Procesos de regulación: Control continuo del número de revoluciones obtenido mediante mando y corrección subsiguiente. Medición continua del diámetro de torneado obtenido mediante aproximación de la cuchilla y corrección correspondiente a la discrepancia de medida. Regulación de la combustión de la caldera según sea la temperatura de la habitación. Mantenimiento del número de revoluciones de una máquina de vapor mediante mayor o menor estrangulación de la entrada de vapor a los cilindros de trabajo.

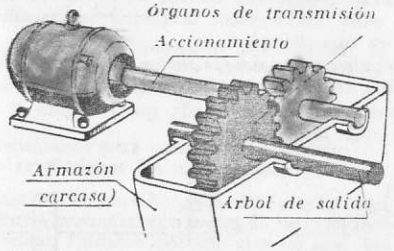


Fig. 207,1 Partes principles de un mecanismo de engranajes.

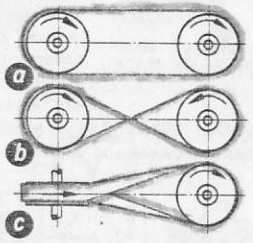


Fig. 207,2 Mecanismo de transmisión por correa. a) abierta; b) cruzada; c) semicruzada.

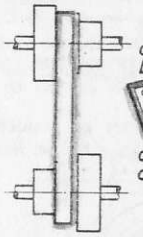


Fig. 207,3 Mecanismo de transmisión escalonada por correa (cono pol.)

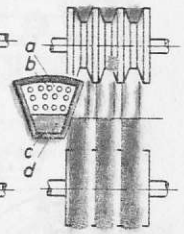


Fig. 207,4 Mecanismo trans. por corr. trap. *a*. goma; *b*. hilos de cuer.; *c*. envolv. tej.; *d*. cojín goma.

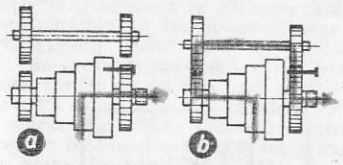


Fig. 207,5 Mecanismo de poleas escalonadas con contramarcha sencilla. a) Contramarcha desacoplada por basculación ; b) contramarcha acoplada.

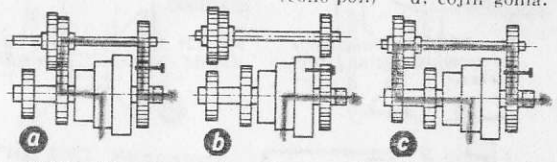


Fig. 207,6 Mecanismo de poleas escalonadas con doble contramarcha. a) Contramarcha acoplada (número de revoluciones medio); b) contramarcha desacoplada (número de revoluciones elevado); c) contramarcha acoplada (número de revoluciones pequeño).

Medios mecánicos de mando

Del movimiento rotativo de accionamiento tienen que derivarse todos los movimientos de la máquina-herramienta. Los dispositivos para transmitir o para transformar movimientos se llaman mecanismos de reducción o de multiplicación y muchas veces sencillamente, mecanismos o transmisiones. Las *partes principales* son el *accionamiento* o *propulsión*, la *salida de fuerza* o *eje inducido* o *arrastrado*, el armazón o bastidor y los *elementos de transmisión* **(fig. 207,1)**. Según sea el medio de accionamiento o propulsión así se hablará de mecanismos o transmisiones mecánicos, hidráulicos, pneumáticos y eléctricos.

Mecanismos que transmiten movimientos de rotación o que varían el número de revoluciones por escalones

Mecanismos por correa. Se distingue entre correas abiertas, cruzadas y semicruzadas. Mediante el mecanismo de correa cruzada se invierte el sentido de rotación, con el de correa semicruzada se transmite el movimiento en dirección perpendicular **(figs. 207,2 y 3)**. El elemento de tracción, la correa, es de cuero, de goma, de cáñamo, de seda o de material sintético. La sección de la correa puede ser de forma rectangular trapecial o redonda.

Mecanismo de correas trapeciales o trapezoidales. A causa de su elevada fuerza de arrastre y del escaso sitio que ocupan estas transmisiones se emplean mucho en máquinas herramientas. La resistencia de la correa trapezoidal le viene de los robustos hilos o cordones de cuerda que van embutidos en una masa de caucho **((fig 207,4)**.

Mecanismo de correa con contramarcha. Con una contramarcha sencilla se puede elevar el número de revoluciones al doble y con contramarcha doble se puede elevar al triple. El perno de arrastre cuando está metida la contramarcha ha sido previamente sacado del cono de poleas que gira loco en el árbol motor o de accionamiento **(figs. 207,5 y 6)**.

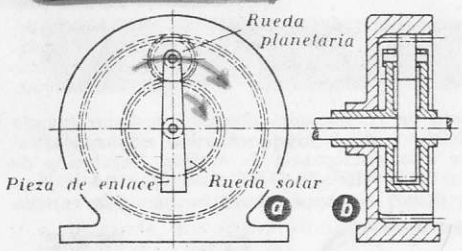


Fig. 208,1 Mecanismo planetario. Estos mecanismos tienen una relación de transmisión más elevada.

Mecanismo de engranajes. Estos mecanismos tienen frente a los de correa las ventajas de que permiten ajustar una relación exacta de números de revoluciones y de que estos números pueden ajustarse con palancas o acoplamientos. En carga, la máquina «tira mejor». Se distinguen entre otros los mecanismos de *ruedas dentadas rectas* (ejes paralelos); mecanismos de *ruedas cónicas* (los ejes se cortan) y mecanismos de *ruedas helicoidales* (los ejes se cruzan).

Los *mecanismos de tornillo sin fin* sirven para dar una relación de transmisión elevada con reducida ocupación de sitio, ahora bien, la fuerza se transmite solamente en una dirección.

En los *mecanismos de ruedas rectas interiores* tienen ambas ruedas el mismo sentido de rotación y la distancia entre ejes es pequeña **(fig. 208,2)**. Los mecanismos en que una rueda queda sujeta y la pieza de unión gira, se llaman *mecanismos planetarios* **(fig. 208,1)**.

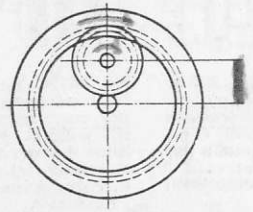


Fig. 208,2 Mecanismo de ruedas rectas interiores.

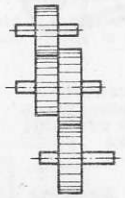


Fig. 208,3 Ruedas de cambio.

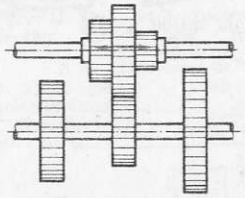


Fig. 208,4 Ruedas desplazables.

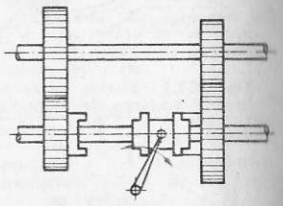


Fig. 208,5 Ruedas de acoplamiento.

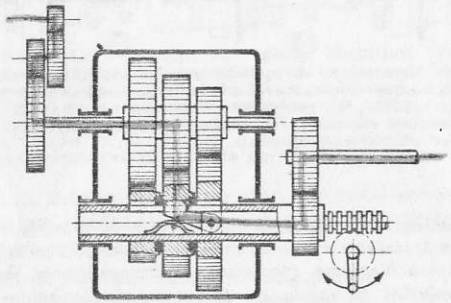


Fig. 208,6 Mecanismo de chaveta móvil.

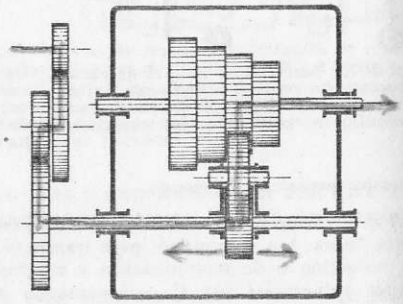


Fig. 208,7 Mecanismo Norton.

Ruedas de cambio. Las ruedas se calculan y se colocan de acuerdo con el número de revoluciones deseado **(fig. 208,3)**.

Ruedas desplazables. Un bloque de ruedas dentadas con dos o tres ruedas puede hacerse engranar, mediante desplazamiento, con ruedas dentadas de un segundo eje **(fig. 208,4)**.

Ruedas de acoplamiento. Todas las ruedas engranan simultáneamente. Mediante accionamiento del acoplamiento se une una de las ruedas en movimiento con el árbol de salida **(fig. 208,5)**.

Mecanismo de chaveta móvil. Una chaveta desplazable une la rueda dentada loca que se quiera del árbol arrastrado con el bloque de ruedas del árbol motor **(fig. 208,6)**.

Mecanismo de ruedas basculante (mecanismo Norton). Con una palanca basculante se hace engranar una rueda desplazable con la rueda que se desee del bloque de ruedas dentadas **(fig. 208,7)**.

Mecanismo de cadena. El accionamiento por cadena permite una transmisión exenta de deslizamiento a distancia considerable. Una cadena puede unir entre sí dos o más ruedas **(fig. 209,1)**.

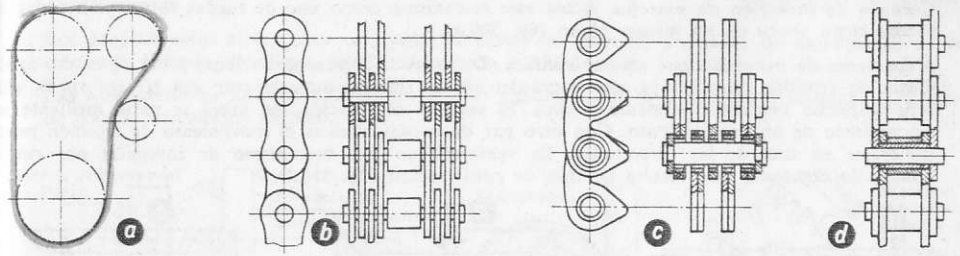


Fig. 209,1 Accionamiento por cadena. a) partiendo de un árbol motor pueden ser accionados varios árboles con una cadena; b) cadena Gall; c) cadena dentada; d) cadena de rodillos.

Mecanismos para variación del número de revoluciones sin escalonamiento

Estos mecanismos hacen posible ajustar, con relativa precisión, el número de revoluciones deseado. Permiten también maniobrarse durante la marcha de la máquina y bajo carga. Transmisión a base de *mecanismo de tracción;* se utilizan por ejemplo correas o cadenas para la transmisión de esfuerzo entre poleas cónicas. Las diferentes relaciones de transmisión se obtienen mediante desplazamiento de las poleas cónicas **(fig. 209,2)**.

Los *mecanismos de ruedas de fricción* tienen ruedas de fricción que pueden ser, según los casos, de forma cilíndrica, cónica o esférica **(fig. 209,5)**. (Sobre los mecanismos por medios a presión o los electrónicos, véanse las págs. 214 y 221).

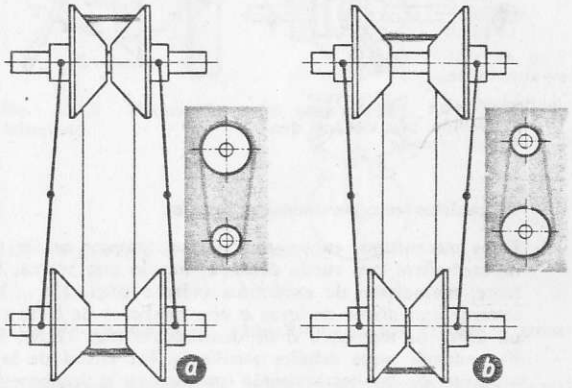


Fig. 209,2 Mecanismo PIV.

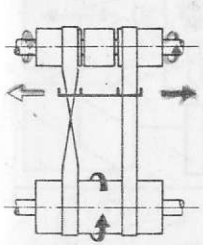


Fig. 209,3 Mecanismo de inversión de marcha por correas.

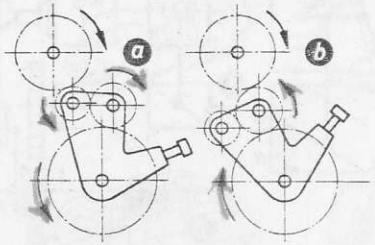


Fig 209,4 Corazón de inversión de marcha.

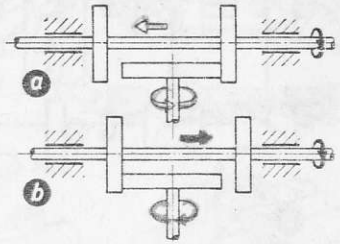


Fig. 209,5 Mecanismo de inversión mediante ruedas de fricción.

Mecanismos para variar el sentido de rotación (mecanismos de inversión de marcha)

Mecanismo de inversión de marcha por correas. De las tres poleas superiores la del centro se fija al eje mientras que las otras dos giran locas. Si la correa abierta se mueve aplicada a la polea que va fija al eje, el árbol inferior girará en un sentido y si es la correa cruzada la que se aplica a la polea fija, el árbol girará en sentido opuesto **(fig. 209,3)**.

Mecanismo de inversión de marcha por ruedas de fricción. Se obtiene aquí la inversión del sentido de rotación desplazando el par de ruedas hacia la derecha o hacia la izquierda. Este mecanismo tiene entre otras la ventaja de que quedan con él amortiguados, mediante deslizamiento o resbalamiento, los golpes o choques que pudieran producirse en la inversión **(fig. 209,5)**.

Mecanismo de inversión por ruedas rectas. Se trata de un mecanismo de ruedas de acoplamiento en el que uno de los pares de ruedas está unido al otro mediante una rueda intermedia **(fig. 210,1)**.

Corazón de inversión de marcha. Actúa este mecanismo como uno de ruedas rectas pero todas las ruedas están ahora en un mismo plano **(fig. 209,4).**

Mecanismo de inversión por ruedas cónicas. Dos ruedas cónicas giran locas sobre el mismo árbol. Giran en sentidos opuestos ya que engranan ambas simultáneamente con una tercera rueda dentada dispuesta perpendicularmente a ellas. El sentido de rotación del árbol se varía mediante accionamiento de un acoplamiento. Con otro par de ruedas cónicas el movimiento de rotación puede acelerarse en una de las direcciones. Es ventajoso en este mecanismo de inversión por ruedas cónicas lo compacto que resulta su tipo de construcción **(fig. 210,2).**

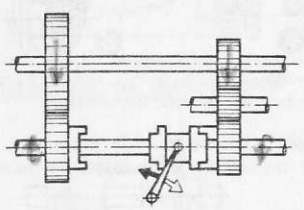


Fig. 210,1 Mecanismo de inversión por ruedas dentadas rectas.

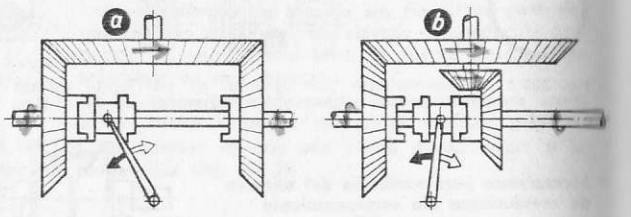


Fig. 210,2 Mecanismo de inversión por ruedas cónicas. a) Sencillo; b) con retroceso acelerado.

Mecanismo con movimientos lineales

Estos mecanismos entran muy frecuentemente en las máquinas herramientas por ejemplo en forma de cremallera con rueda dentada, husillo con tuerca, biela-manivela, corredera de movimiento oscilante, mecanismo de excéntrica (véanse págs. 136 ... 138 y 141). Los autómatas trabajan frecuentemente con discos de levas o con tambores de levas (tambores de maniobra) que se disponen sobre un árbol de maniobra o de distribución **(fig. 211,1).** A veces junto al árbol principal de maniobra hay además otros árboles auxiliares. En virtud de la forma de las levas puede adaptarse el movimiento de las herramientas exactamente a las necesidades **(fig. 210,3).**

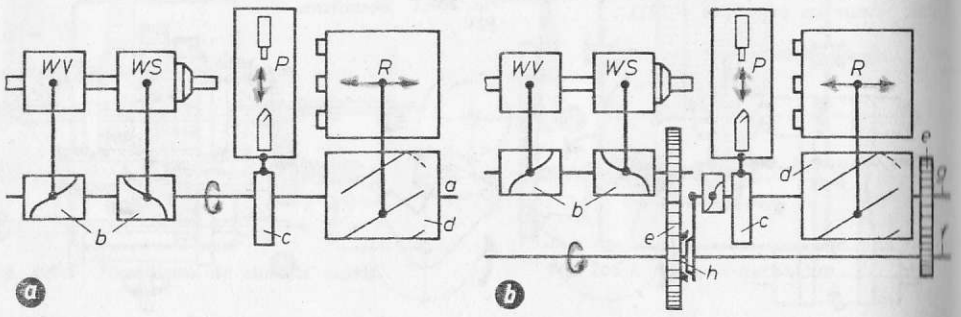


Fig. 210,3 Mando de los autómatas (esquema simplificado): a) modo de funcionar con un solo árbol de distribución (sistema de varias levas); b) con árbol de distribución auxiliar; *WV*, avance del material; *WS*, sujeción de la pieza; *P*, carro transversal; *R*, carro revólver; *a*, árbol de maniobra o de distribución; *b*, tambor de levas; *c*, disco de levas; *d*, tambor de levas múltiples; *e*, ruedas dentadas; *f*, árbol auxiliar de maniobra; *g*, árbol principal de maniobra; *h*, acoplamiento.

Mecanismo para producir movimientos paso a paso (mecanismo de embrague)

Estos movimientos entran por ejemplo en forma de movimientos de avance en el cepillado o en el mortajado (véanse págs. 137 y 139) y en forma de movimientos de embrague para el cabezal revólver en automátas. También en los mandos programados de las más modernas máquinas trabajan frecuentemente a base de movimientos de embrague paso a paso **(fig. 211,2 y 3).**

Acoplamientos

Los acoplamientos sirven para unir entre sí partes de máquina animadas de movimiento de rotación, por ejemplo, árbol con árbol o árbol con rueda dentada.

Los acoplamientos no embragables pueden ser rígidos, elásticos o también articulados (articulación de rótula, articulación cardán).

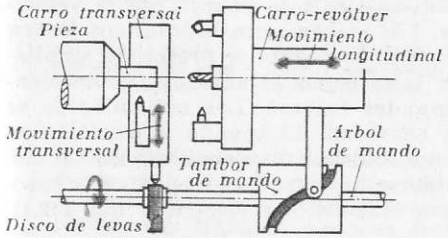


Fig. 211,1 Movimiento automático de la herramienta por medio de disco de levas y tambor de mando.

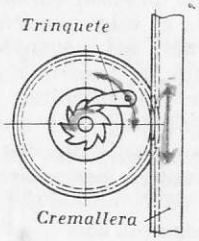


Fig. 211,2 Mecanismo de trinquete.

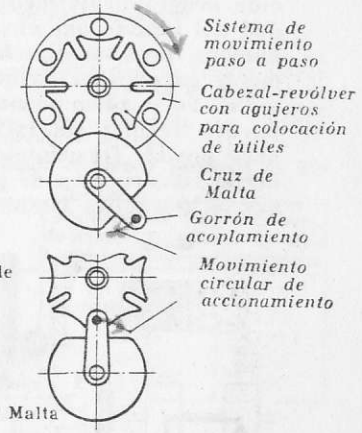


Fig. 211,3 Mecanismo de cruz de Malta

Los *acoplamientos elásticos* compensan las desigualdades de paralelismo de los árboles y amortiguan los choques.

Los *acoplamientos embragables* pueden actuar por arrastre de forma (acoplamiento de mordazas) o por arrastre de fuerza (acoplamiento de fricción). Respecto a acoplamientos de inducción véase la pág. 222.

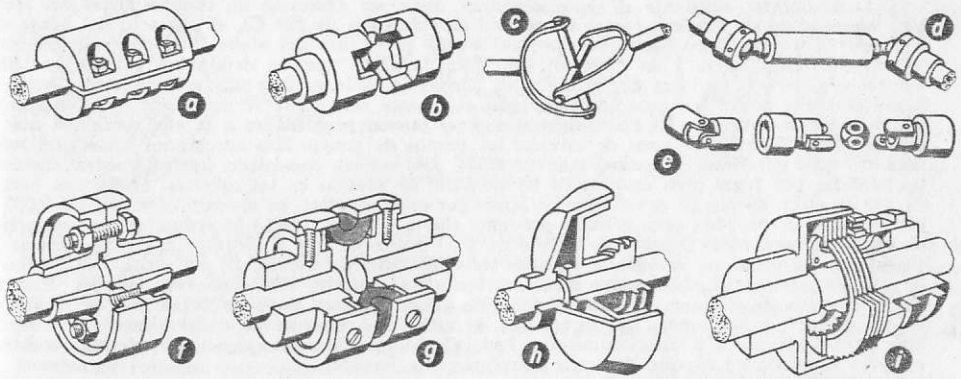


Fig. 211,1 Acoplamientos. a) acoplamiento de casquillos; b) acoplamiento de garras o mordazas; c) articulación en cruz (articulación cardán); d) árbol articulado; e) articulación de rótula; f) acoplamiento de discos o platos g) acoplamiento elástico; h) acoplamiento cónico; i) acoplamiento de láminas o de discos múltiples.

Los *acoplamientos de fricción* tienen la ventaja de que pueden ser embragados en marcha. Son especialmente ventajoso los acoplamientos de discos múltiples o de láminas a causa de sus grandes superficies.

Los *acoplamientos de resbalamiento* aseguran contra rotura de piezas caras de la máquina en caso de sobrecargas. Se pueden maniobrar los acoplamientos mecánicos por palanca, hidráulica, neumática o eléctricamente **(fig. 211,4** y págs. 212, 222, 223).

Medios hidráulicos de mando

Como órgano de accionamiento sirve una bomba que impulsa un medio a presión (aceite) a través de conductos tubulares a los sitios en que se utiliza.
Para movimientos de trabajo longitudinales son necesarios émbolos y cilindros y para movimientos de rotación un motor de aceite. El torrente de aceite es guiado por medio de válvulas y distribuidores de corredera. La fuerza es producida generalmente mediante presión (presión estática); la energía de la velocidad del líquido que circula es muy pequeña. Los mecanismos hidráulicos tienen muchas veces ventajas frente a los mecánicos. Por lo pronto se prescinde ampliamente en ellos de elementos de transmisión tales como palancas y ruedas dentadas. Se pueden producir sin dificultad grandes fuerzas. Los movimientos se pueden regular sin escalonamientos y con suavidad. El mando automático se hace posible frecuentemente mediante órganos hidráulicos sencillos. En la moderna construcción de máquinas herramientas se ha introducido por estas razones la hidráulica también en combinación con dispositivos eléctricos **(fig. 212,1)**.

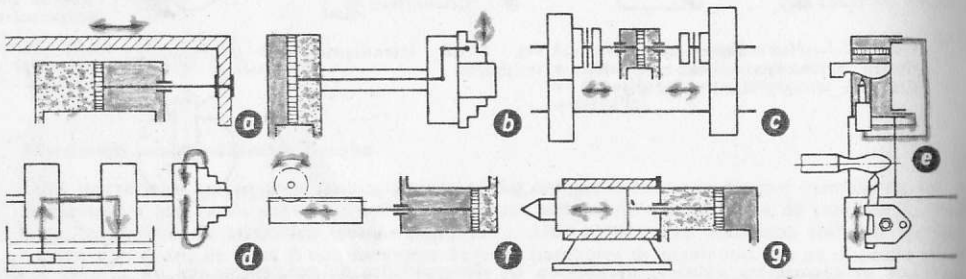


Fig. 212,1 Dispositivos hidráulicos en máquinas-herramientas. a) movimiento de la mesa; b) sujeción en el plato; c) acoplamientos; d) mecanismos hidráulicos; e) torneado copiador; f) movimientos de maniobra; g) cabezal móvil accionado hidráulicamente.

Medio de presión. Al medio o elemento fluido que ejerce la presión se le exigen ciertas condiciones: Tiene que ser *resistente al envejecimiento*. Suele ser necesario un cambio anual del aceite. Una temperatura de funcionamiento demasiado elevada (más de 50° C), el contacto del aceite con el aire y la suciedad, son causa de una inutilización prematura del aceite. Son convenientes instalaciones de refrigeración y de limpieza. Una gota de aceite gastado deja sobre el papel de filtro una mancha oscura, mientras que el aceite en buenas condiciones deja una mancha clara. Antes de llenar el aceite nuevo hay que enjuagar todo el sistema con aceite de poca viscosidad o con un líquido especial para ello. El aceite tiene que tener buenas propiedades a la alta presión a que ha de trabajar y además ser capaz de lubricar los puntos de apoyo. Son apropiados los aceites minerales de base parafínica (densidad 0,86 ... 0,91). Los aceites demasiado ligeros pueden aumentar las pérdidas por fugas pero disminuyen las pérdidas de presión en las tuberías. Hasta una presión de 300 at. efect. disminuye el volumen de aceite por cada at. efect. en aproximadamente un 0,007 % del volumen de partida; para grandes presiones (hasta 3000 at. efect.) la reducción de volumen es ya menor (unos 0,0035 % por cada at. efect.). Con objeto de que la instalación pueda trabajar sin dificultades no deben ser demasiado elevadas las velocidades de circulación del aceite. Los conductos de entrada y de salida tienen que tener secciones transversales suficientemente grandes. Especialmente en caso de secciones de tubería pequeñas juega un gran papel la formación de torbellinos en las paredes de los tubos. Las inclusiones de aire en el torrente de aceite tienen consecuencias muy perturbadoras en el funcionamiento. Todo el sistema hidráulico tiene por esto que constituir en todo momento un circuito de aceite completamente cerrado.

Bombas

Las bombas tienen por misión la consecución de la necesaria presión y la circulación de la cantidad suficiente de aceite. Según el tipo constructivo se distingue especialmente entre bombas de engranajes, bombas de rotor helicoidal, o de tornillo, bombas de aletas y bombas de émbolo. Mientras que estas dos últimas son regulables, las de engranajes y las de rotor helicoidal, o de tornillo, no pueden, por lo general, ser reguladas y suministran siempre la misma cantidad de aceite y la misma presión.

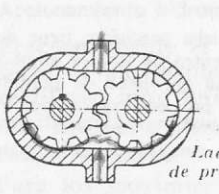


Fig. 213,1 Modo de funcionar una bomba de engranajes.

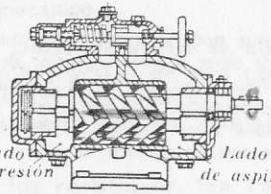


Fig. 213,2 Modo de funcionar una bomba de rodete helicoidal.

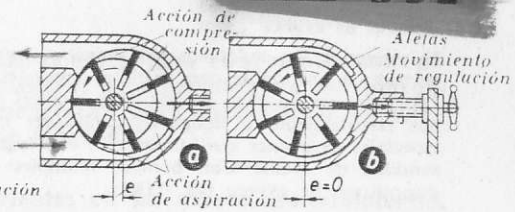


Fig. 213,3 Modo de funcionar una bomba de aletas (o bomba aletoria). a) cuanto mayor sea la cota *e* tanto mayor es la cantidad de aceite movida; b) cuando $e = 0$ las acciones de aspiración y de compresión son también $= 0$, y no circula el aceite.

Bombas de engranajes. El aceite es conducido por los huecos entre dientes del recinto de aspiración al recinto de comprensión **(fig. 213,1)**. La bomba es de constitución sencilla, pequeña, barata y por lo tanto de uso muy extendido. El rendimiento total puede ser hasta de 80 % y el volumétrico hasta de 95 %. Cuanto mayores sean las presiones tanto mayores tendrán que ser los números de revoluciones (hasta unas 3000 rev/min) **(T. 213)**.

T. 213 Cantidad de fluido movido y presiones de distintos tipos de bombas

Tipo de bomba	Cantidades de fluido transportadas en l/min hasta aprox.	Presiones en at. efec. hasta aprox.
Bombas de engranajes	275	175
Bombas de tornillo	5000	250
Bombas de aletas	2000	100
Bombas radiales de émbolo	500	350
Bombas axiales de émbolo	250	400

Bombas de tornillo, o sea de rodete helicoidal. Dos husillos helicoidales están dispuestos en una carcasa de tal modo uno junto a otro que exteriormente apoyan en el taladro y además engranan con sus filetes exactamente entre sí. En los pasos de rosca de los husillos rotativos se mueve el aceite sin girar él propiamente pero trasladándose del lado de aspiración al de impulsión. En vez de dos husillos pueden disponerse también tres o más husillos. La bomba hace posibles muy elevados números de revoluciones **(fig. 213,2)**.

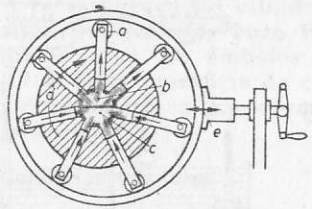


Fig. 213,4 Modo de funcionar una bomba radial de émbolos. *a*, Embolo; *b*, conducto de aspiración; *c*, conducto de presión; *d*, movimiento de giro de la estrella del cilindro con los émbolos; *e*, movimiento de regulación para la carcasa de guía.

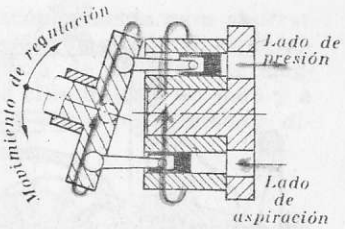


Fig. 213,5 Modo de funcionar una bomba axial de émbolos.

Bomba de aletas. La parte giratoria (rotor) con las aletas puede ser desplazada en el taladro de la carcasa. Con ello se agrandan por ejemplo las cámaras del lado de la aspiración y se empequeñecen las del lado de l comprensión. Tanto la presión del aceite como la cantidad de éste puesto en circulación dependen de la excentricidad **e (fig. 213,3)**. Para $e = 0$ el rendimiento es también 0. Si el rotor se desplaza en sentido opuesto se invierte el sentido de la corriente de aceite es decir el sentido de movimiento **(T. 213 y fig. 214,2)**.

Bombas de émbolos. Las bombas trabajan con émbolos que deslizan en sus correspondientes cilindros. Según sea el sentido del movimiento de los émbolos se distingue entre bombas de émbolos radiales y bombas de émbolos axiales.

Bombas de émbolos radiales. Los émbolos que se mueven en un cuerpo rotativo de cilindros en estrella son guiados en una carcasa excéntrica ajustable para ello. El gorrón central fijo sirve para la admisión y la impulsión del aceite y tiene por lo tanto un lado de aspiración y otro de compresión **(fig. 213,4)**.

Bombas axiales de émbolos. Los émbolos unidos por medio de articulación a su disco de accionamiento, giran juntamente con los cuerpos de cilindro **(fig. 213,5)**. El disco de accionamiento y el cuerpo de cilindros giran en sentidos contrarios. Cuando el ángulo de giro crece, aumenta también la cantidad de aceite transportado **(T. 213)**.

Bombas de avance

El avance de las máquinas herramientas tiene que poderse ajustar con mucha precision, tiene que permanecer invariable para distintas presiones de corte y poderse variar dentro de límites amplios. Especialmente en caso de pequeños avances sufre menoscabo la regularidad en virtud de pérdidas por resbalamiento o desiguales cantidades transportadas. Son ventajosas por esta razón bombas especiales de avance que suministren con seguridad a los dispositivos de avance la necesaria exacta cantidad de aceite. Con bombas múltiples de avance pueden acoplarse simultáneamente varios dispositivos de avance **(fig. 214,1)**.

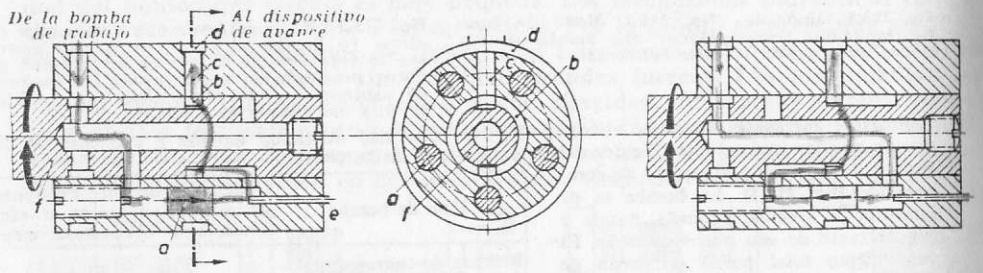
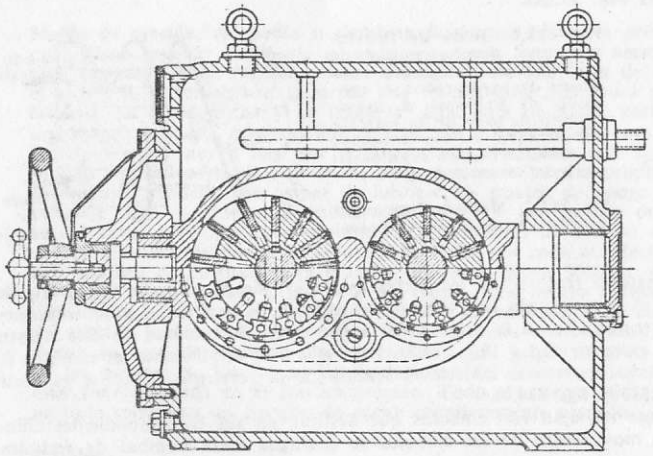


Fig. 214,1 Modo de funcionar una bomba de avance. Los émbolos *a* dispuestos en numero de cinco o nueve circularmente en el cuerpo de bomba son movidos, por la presión del aceite de la bomba de trabajo, alternativamente a derecha o izquierda. Con ello los émbolos comprimen las cantidades de aceite que se encuentran ante ellos, por la ranura anular *b* del árbol de distribución rotativo *f*, el taladro *c* y la ranura anular *d*, al dispositivo de avance. La carrera del émbolo puede ser ajustada mediante el tope *e*.

Mecanismo planetario hidráulico

Si se hace que la corriente de aceite producida por una bomba actúe sobre una segunda bomba puede esta última trabajar como motor de aceite y por ejemplo accionar el husillo de trabajo de una máquina herramienta.



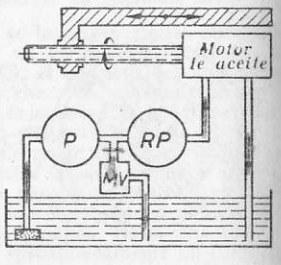


Fig. 214,3 Accionamiento hidráulico del avance a través de la bomba reguladora *RP*, motor de aceite y husillo roscado; *MV* válvula de máxima (limitadora de presión).

Fig. 214,2 Mecanismo fluido Enor, para la regulación, sin escalonamiento, del n.º rev.

Variando la corriente liquida (¡bomba regulable!) se hace posible una regulación, sin escalonamiento, del número de revoluciones, por ejemplo de 0 ... 1500 rev/min. Son adecuadas, entre otras, las bombas con émbolos constituyendo aletas **(fig. 214,2)**. Es posible incluso la inversión del sentido de rotación.

El rodeo, empero, que supone el paso desde el motor de accionamiento a través de la bomba al motor de aceite, lleva consigo lógicamente una pérdida. El rendimiento apenas si puede sobrepasar el 85 %.

Accionamiento hidromecánico

Frecuentemente el motor de aceite se utiliza también para el accionamiento directo de un husillo roscado o de una cremallera, para producir un movimiento rectilíneo muy uniforme de avance. Se encuentran estos mecanismos especialmente en máquinas mandadas por palpador **(fig. 214,3)**.

Embolo y cilindro

Para los movimientos rectilineos, tan corrientes en las máquinas-herramientas, se necesita generalmente el mecanismo cuya base la constituyen el cilindro y el émbolo. Las formas constructivas son muy variadas **(fig. 215,1)**. El émbolo puede ser móvil y el cilindro fijo o inversamente el cilindro móvil y el émbolo fijo. El vástago del émbolo es pasante o unilateral.

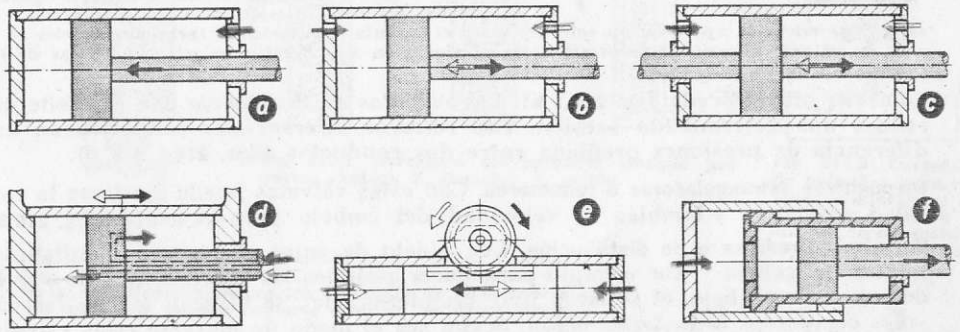


Fig. 215,1 Ejemplos de la acción combinada de émbolo y cilindro. a) cilindro de tracción; b) cilindro de tracción y compresión; c) cilindro de tracción y de compresión con vástago del émbolo pasante; d) cilindro de tracción y de compresión con émbolo fijo; e) émbolo buzo de doble efecto con cremallera y rueda dentada; f) cilindro telescópico.

A veces pueden los cilindros meterse uno en otro telescópicamente para ahorrar sitio. Los *émbolos buzo* tienen un cuerpo de dimensión longitudinal especialmente larga. En émbolos unilaterales como consecuencia de la diferente magnitud de la superficie de compresión y del volumen de cilindrada a un lado y a otro del pistón, la carrera de retroceso puede resultar acelerada *(émbolos diferenciales)*.

Conductos tubulares

Los conductos tubulares son preferentemente de acero. El cobre descompone fácilmente el aceite. Para casos especiales se utilizan tubos desplazables uno dentro de otro (tubos telescópicos). Otras uniones movibles pueden obtenerse mediante tubos articulados o mediante mangueras.

Piezas constructivas para guiar el torrente líquido

La corriente de aceite en la red de conductos de una máquina tiene que acomodarse a sus distintas misiones. Tiene especial importancia el mando de la *presión de aceite*, de la *cantidad que fluye* y de la *dirección de circulación*. Los elementos constructivos correspondientes son: válvulas, reductores de presión y distribuidores o válvulas correderas.

Válvulas. Las *válvulas de máxima* (válvulas de descarga) tienen por misión mantener constante la presión de trabajo. Como para esto llega más aceite que el que fluye, la cantidad sobrante debe evacuarse a través de la válvula **(fig. 216,1 a)**. De igual forma las *válvulas de seguridad* tienen la misión de que no sea sobrepasada la presión máxima. Las *válvulas de retención* aseguran que la corriente

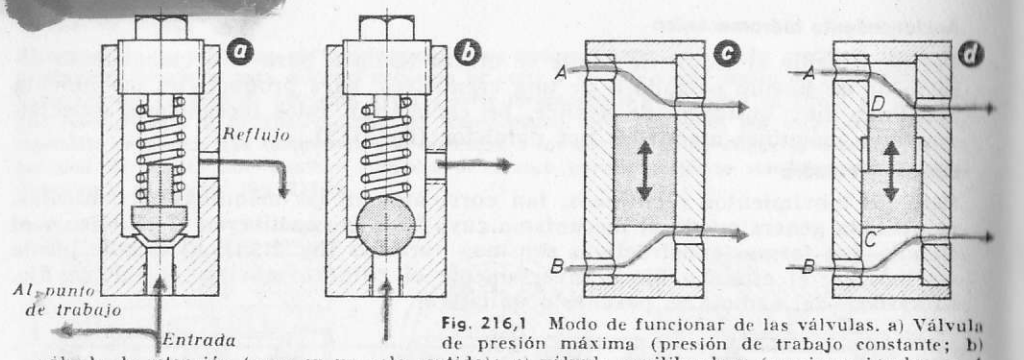


Fig. 216,1 Modo de funcionar de las válvulas. a) Válvula de presión máxima (presión de trabajo constante; b) válvula de retención (paso en un solo sentido); c) válvula equilibradora (presiones iguales en *A* y *B*; d) válvula diferencial de presión (las presiones en *A* y *B* están en relación inversa de las superficies *C* y *D*).

de aceite no retroceda **(fig. 216,1 b)**. Las *válvulas de resistencia* dan al aceite que refluye una determinada presión. Las *válvulas diferenciales* proporcionan una diferencia de presiones prefijada entre dos conductos **(figs. 216,1 c y d)**.

Dispositivos estranguladores o reductores. Con estas válvulas puede ajustarse la cantidad que fluye y también la velocidad del émbolo para el avance **(fig. 216,2)**.

Válvulas correderas o de distribución. Con objeto de guiar el aceite a los distintos puntos de trabajo y por ejemplo para hacer posibles los movimientos de vaivén del carro de trabajo, el soltar y fijar las piezas, etc., se utilizan mucho las válvulas correderas o de distribución. Según sea el modo de moverse estas válvulas se distingue entre *válvulas correderas, longitudinales y giratorias* **(figs. 216,3 y 4)**. Mediante válvulas correderas giratorias pueden maniobrarse varios puntos de trabajo y esto manualmente o de modo automático **(fig. 217,4)**. Frecuentemente trabaja una *corredera principal* sobre otra *secundaria o auxiliar*. Para invertir el sentido de giro o sea de circulación del fluido entran también en juego las correspondientes bombas de regulación.

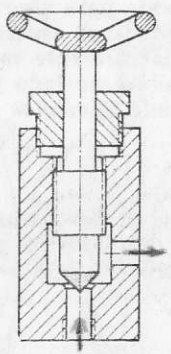


Fig. 216,2 Dispositivo estrangulador o reductor.

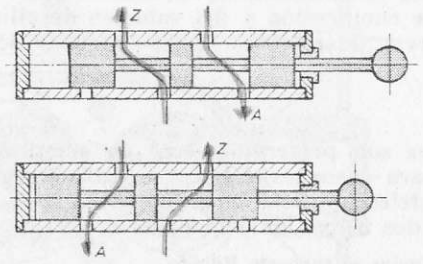


Fig. 216,3 Modo de funcionar una válvula corredera o de distribución. *Z*, llegada del fluido; *A*, salida.

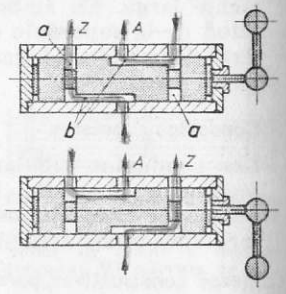


Fig. 216,4 Modo de funcionar una válvula corredera rotativa *Z*, entrada del líquido; *A*, salida; *a*, ranuras anulares; *b*, ranuras longitudinales.

Corredera de palpador. Un palpador se mueve a lo largo de una forma o plantilla. Sus movimientos se transmiten a una corredera, que manda el torrente de aceite según la dirección del movimiento **(fig. 217,1 y 2)**. Una posición inclinada de la corredera del palpador tiene la ventaja de que se pueden copiar también salientes verticales. Para el copiado de contornos tiene que actuar también el punzón palpador cuando toca la plantilla lateralmente por la derecha o por la izquierda.

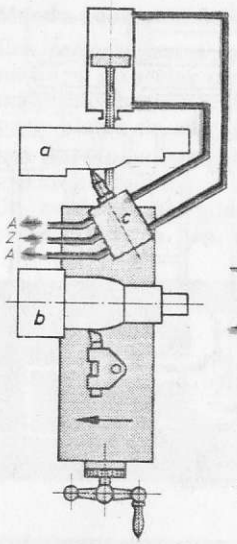


Fig. 217,1 Dispositivo hidráulico para copiar. *Z*, llegada; *A*, salida; *a*, plantilla; *b*, pieza; *c*, corredera del palpador. Mediante colocación inclinada de la corredera del palpador pueden copiarse también salientes vertic.

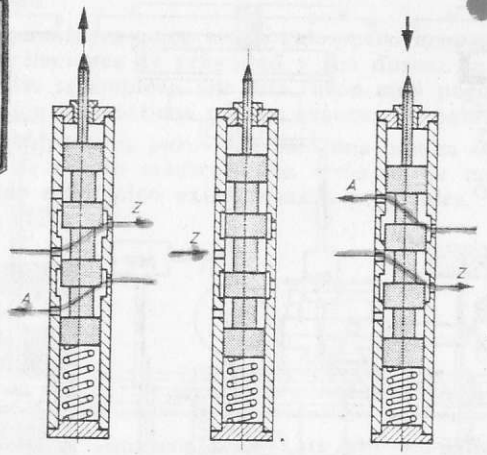


Fig. 217,2 Corredera del palpador (mando por varios cantos). *Z*, llegada; *A*, salida.

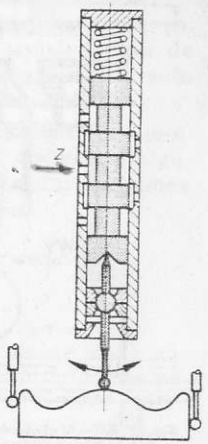


Fig. 217,3 Corredera de palpador para copiar contornos. El palpador manda a la cte. de aceite incluso en caso de desv. lat.

Está por eso soportado, por ejemplo, en una articulación especial **(fig. 217,3)**. En vez de una corredera, el punzón palpador puede maniobrar también sobre otro dispositivo regulador, por ejemplo sobre una bomba especial.

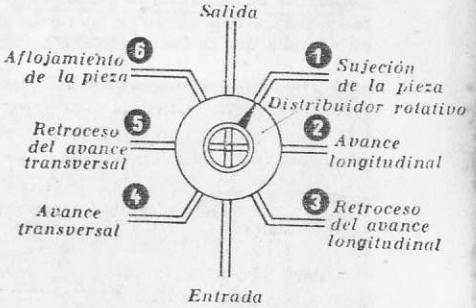


Fig. 217,4 Corredera giratoria para seis puntos de trabajo.

Ejemplos para el funcionamiento conjunto de dispositivos hidráulicos

1. **Circulación del aceite con regulación por estrangulamiento.** La bomba con capacidad de transporte constante (bomba de engranajes) mueve el aceite a través de la válvula de estrangulamiento y la corredera hacia el cilindro de trabajo. La cantidad de aceite que sobra en virtud del estrangulamiento se evacúa mediante una válvula de máxima. Para evitar en el émbolo un movimiento a sacudidas tiene que ejercer el aceite que retrocede una cierta contrapresión sobre aquél. El aceite se va por esta razón, a través de una válvula de resistencia (válvula de retención) **(fig. 218,1)**.

2. **Circulación del aceite con bomba de regulación.** La regulación por estrangulamiento tiene entre otras la desventaja de que especialmente en casos de pequeños avances una parte del aceite movido retorna sin haber sido utilizado. Este inconveniente se elimina cuando se emplea una bomba de regulación que no envía más aceite que el que se necesita **(fig. 218,2)**.

3. **Modo de trabajar con dos bombas.** Frecuentemente se usan además de una bomba de elevación o de trabajo otra bomba reguladora **(fig. 218,3)**. Esta última no eleva o mueve ningún aceite sino que regula únicamente la cantidad que ha de fluir como necesaria para el avance. El retroceso acelerado se realiza a través de la bomba de elevación.

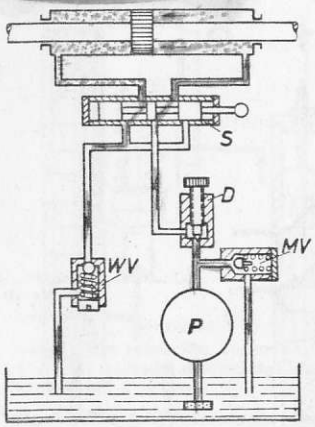


Fig. 218,1 Mando hidráulico con regulación por estrangulamiento. *S*, corredera; *D*, estrangulam.; *P*, bomba; *MV*, válvula de máxima; *WV*, válvula de resistenc.

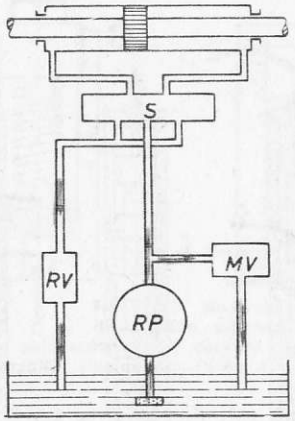


Fig. 218,2 Mando hidráulico con una bomba de regulac. *RP*, bomba de regulación; *MV*, válvula de pres. máx.; *RV*, válv. ret.; *S*, corredera.

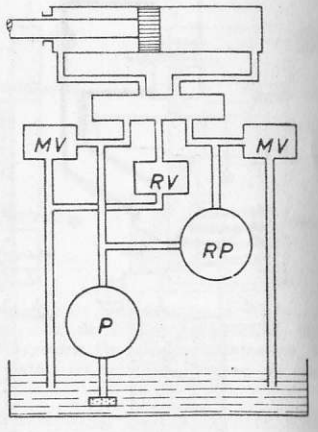


Fig. 218,3 Mando hidráulico con dos bombas.

Generalmente hay que conducir el aceite a diversos puntos de trabajo, por ejemplo para diversos puntos de avance (avance plano, longitudinal, carrera rápida de retroceso) para sujetar o soltar la pieza, para acoplamiento de las ruedas dentadas, para variación de número de revoluciones. Con todo esto resulta que se hace necesario un complicado sistema de tuberías **(fig. 218,4)**.

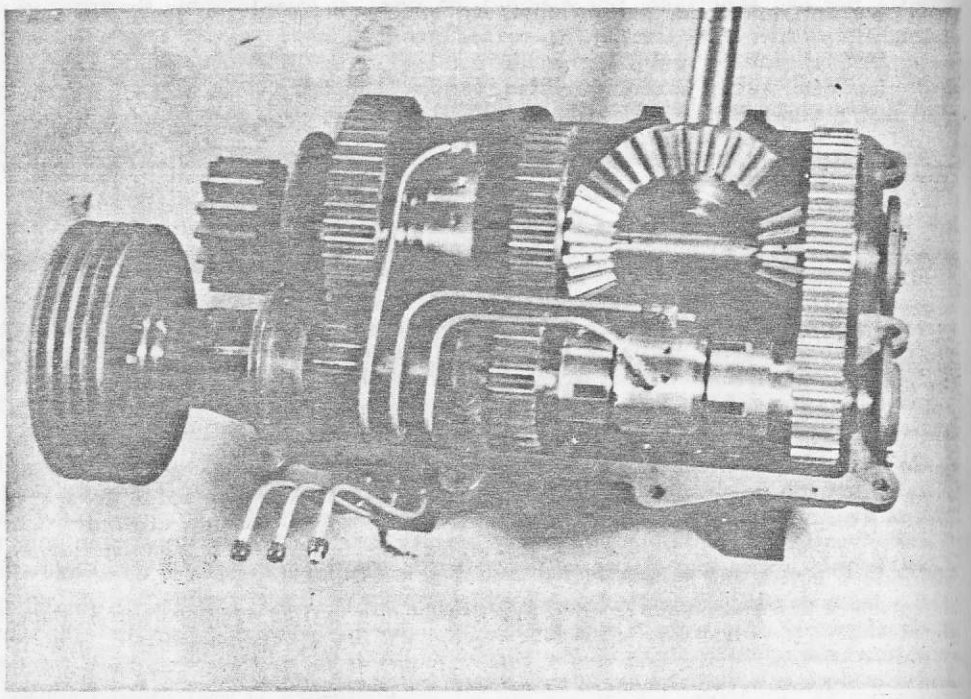


Fig. 218,4 Acoplamiento hidráulico.

Mando neumohidráulico

Los **accionamientos neumáticos puros** son baratos pero los movimientos están sometidos a fuertes oscilaciones de velocidad y son duros. En la construcción de máquinas herramientas se emplean por esta razón muy poco, generalmente sólo para platos de sujeción automáticos o para avances de barras **(fig. 219,1)**.

Los *accionamientos hidráulicos puros* con sólo una bomba sencilla son de construcción sencilla y de precio módico, pero trabajan de modo antieconómico. Un modo de trabajar económico exige bombas regulables, o sea instalaciones caras (véase la pág. 217).

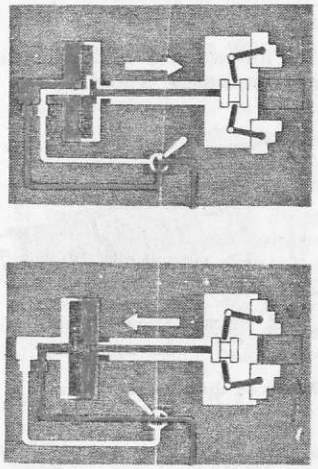


Fig. 219,1 Plato de sujeción de aire a presión.

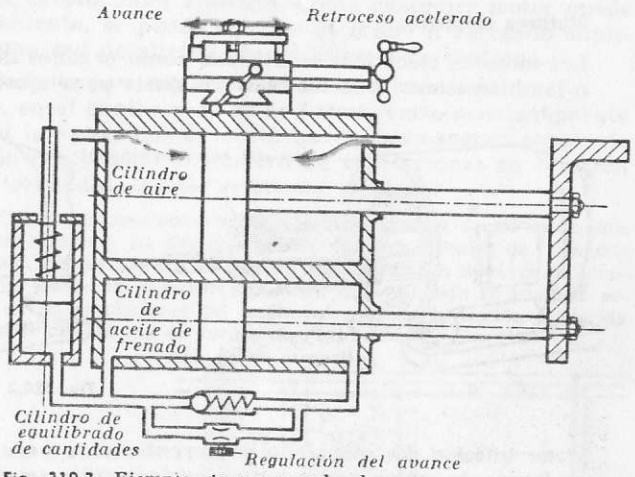


Fig. 219,2 Ejemplo de un mando de avance por el sistema neumohidráulico. La acción frenadora del aceite en el cilindro de aceite es en la dirección del avance de trabajo notablemente mayor que en la dirección de la carrera rápida.

En las **instalaciones neumohidráulicas** el aire comprimido transmite el esfuerzo de accionamiento, mientras que el aceite actúa por medio de la acción de frenado dirigiendo o maniobrando **(fig. 219,2)**. Las bombas de aceite faltan aquí. La instalación resulta con esto de precio módico, exige poco sitio, hace posibles un avance de trabajo exento de sacudidas y una gran velocidad en la marcha rápida o en vacío. Por otro lado las instalaciones neumohidráulicas son apropiadas solamente para máquinas pequeñas. Trabajan de modo ruidoso y exigen una instalación de aire comprimido.

Generalmente se escogen presiones entre los 4 y los 8 Kp/cm² y velocidades del aire entre 10 y 15 m/s. En caso de presiones mayores aumenta, a causa de la gran velocidad de expansión del aire, el peligro de la formación de agua condensada; para presiones pequeñas los elementos constructivos resultarian demasiado grandes. Con esto resulta que basten compresiones de un solo escalón **(fig. 219,3)**. De ninguna manera debe penetrar aire en la cámara de aceite. Por esta razón se hace necesario un cuidado extremo en la cuestión de hermeticidad.

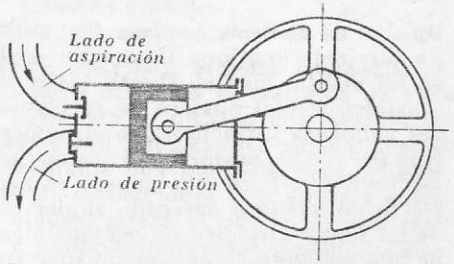


Fig. 219,3 Compresor de un solo escalón.

Mandos eléctricos

En combinación con dispositivos mecánicos o hidráulicos, los numerosos sistemas de mando eléctrico son apropiados de modo especial para simplificar el manejo de la máquina y para hacer posible el decurso totalmente automático de los procesos de trabajo. Sin dispositivos eléctricos no es posible, por eso, imaginarse una moderna máquina-herramienta. Frecuentemente se emplean tales dispositivos de un modo tan intenso que se hace necesaria la instalación de grandes armarios de maniobra que a modo de centros nerviosos reciben órdenes de conexión y provocan los procesos de trabajo.

Motores eléctricos

Los motores eléctricos se utilizan como órganos de accionamiento de la máquina o también a modo de motores de ajuste para ajustar el carro de trabajo.

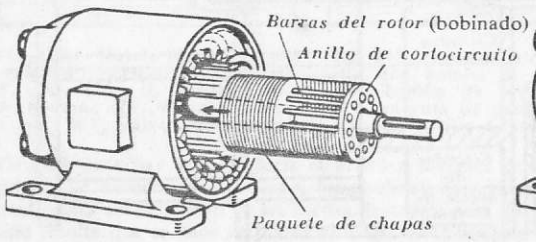


Fig. 220,1 Motor trifásico.

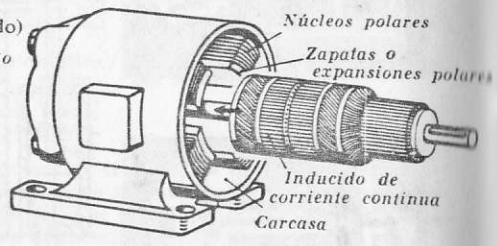


Fig. 220,2 Motor de corriente continua.

Motor trifásico. Es empleado preferentemente para accionamiento y precisamente en forma de motor con rotor en cortocircuito (motor trifásico asíncrono). Es sencillo, de funcionamiento seguro y especialmente apropiado para las máquinas que no exijan un gran momento de arranque. Su número de revoluciones disminuye al aumentar la carga hasta la nominal únicamente en un pequeño porcentaje es decir que para una carga oscilante tiene un número de revoluciones muy uniforme **(fig. 220,1)**.

Los *motores trifásicos de polos conmutables* hacen posible el establecimiento de dos o tres números fijos de revoluciones (por ejemplo 3000/1500; 1500/750; 3000/1000/500).
El número de revoluciones de los motores trifásicos depende para un efecto dado de la frecuencia de la corriente aportada. Mediante la intercalación de convertidores de frecuencias puede variarse dentro de pequeños límites (aprox. 1:6) la frecuencia y con ello el número de vueltas del motor. Esto tiene importancia para los motores trifásicos con número muy elevado de revoluciones, por ejemplo para husillos de rectificado de interiores.

Motores de corriente continua (fig. 220,2) El número de revoluciones de un motor de corriente continua (motor en derivación) puede variarse sin escalonamiento en un amplio margen (hasta 1:100 aproximadamente) permaneciendo constante sensiblemente el número de revoluciones que se haya ajustado. Se pueden obtener pequeñas variaciones en el número de vueltas (como un 1:3) mediante variación del *campo magnético*. Para márgenes amplios de variación se varía la *tensión del inducido*. Para ello empero es necesario un gasto importante. Se necesita en efecto un grupo o agregado suplementario *(accionamiento Leonard)* que consta de un motor eléctrico de accionamiento, de un generador de corriente continua, de una máquina de excitación (que suministra la tensión continua para el campo del motor y del generador) y de un motor regulador (motor de corriente continua) **(fig. 221,1)**. Mediante dispositivos especiales de regulación se consigue mantener

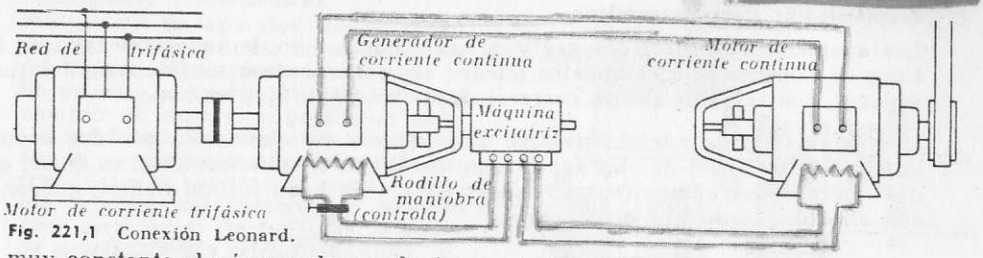


Fig. 221,1 Conexión Leonard.

muy constante el número de revoluciones ajustado. Como cualquier motor puede servir de motor de accionamiento, se puede acoplar el grupo o agregado suplementario que nos ocupa a una red de alterna, de trifásica o de continua.

Variación del número de revoluciones para una velocidad de corte constante

En el torneado de refrentar, en el cónico y en el de forma, varía constantemente el diámetro de torneado. Si la velocidad de corte ha de permanecer constante habrá de variar de un modo continuado el número de revoluciones en relación inversa con el diámetro de torneado.

Se combina con el carro de refrentar una resistencia variable (potenciómetro) de tal modo que varíe la tensión con el diámetro de torneado. La diferente tensión ocasiona a través de otros dispositivos eléctricos la necesaria variación del número de vueltas. Para medir los números de revoluciones (medida real o efectiva) se utiliza un generador-tacómetro que va unido al árbol de accionamiento. A número creciente de las revoluciones del tacómetro aumenta la tensión producida por él, que constituye así una medida del número de vueltas **(fig. 221,2)**.

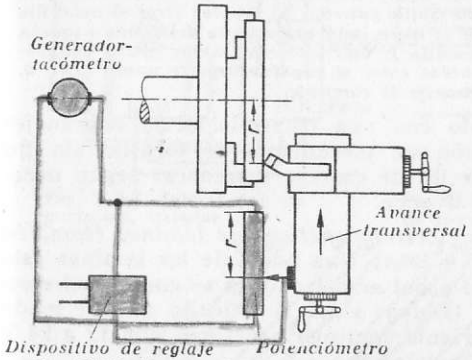


Fig. 221,2 Regulación a una velocidad de corte constante. Si disminuye el radio de giro *r*, disminuye también la resistencia del potenciómetro. Con esto a través de un dispositivo de regulación se consigue la elevación del número de vueltas.

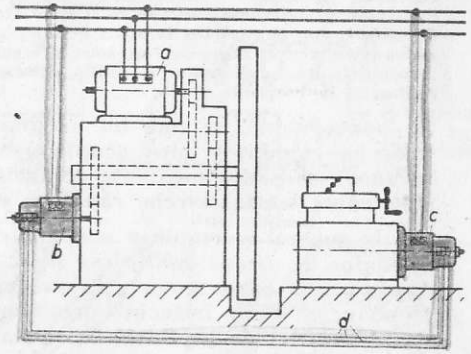


Fig. 221,3 Arbol eléctrico. *a*, motor de accionamiento de la máquina (torno al aire); *b*, motor transmisor del árbol eléctrico; *c*, motor receptor (motor de avance); *d*, conductos de enlace de los anillos colectores.

Arbol eléctrico (Selsyn = Selbstsynchron [auto sincrono], avisador rotativo) [1]. Este dispositivo hace posible la transmisión a larga distancia de números de vueltas sin que exista unión mecánica directa. Para esto se utilizan dos motores trifásicos cuyos estators están alimentados por la red mientras los anillos colectores de ambos rotores están unidos entre sí mediante una línea eléctrica. Si uno de los rotores recibe un determinado número de revoluciones (por ejemplo desde el husillo de trabajo a través de ruedas dentadas) girará el otro rotor con exactamente el mismo número de revoluciones y puede entonces por ejemplo, utilizarse para el accionamiento del avance de una gran máquina-herramienta **(fig. 221,3)**.

[1] El avisador rotativo (en alemán Drehmelder) sirve para la transmisión a distancia de magnitudes de medida.

Acoplamientos electromagnéticos

Los acoplamientos electromagnéticos tienen, ante todo, la ventaja de que en los tipos de construcción compactos pueden ser actuados con medios sencillos (pulsadores, contactos de fin de carrera) desde un punto determinado.

La máquina puede además pararse muy rápidamente haciendo que dos acoplamientos de un árbol de engranajes sean excitados simultáneamente, es decir, que dos distintas relaciones de transmisión se actúen a un mismo tiempo quedando con ello bloqueado el mecanismo.

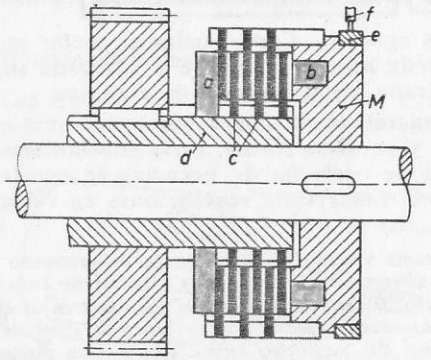


Fig. 222,1 Embrague electromagnético de discos múltiples. Al embragar, el imán rotativo *M* atrae al disco *a* con lo cual las láminas *c* son prensadas entre sí y el cuerpo de arrastre *d* resulta firmemente unido al imán. *e*, anillo colector; *f*, llegada de corriente.

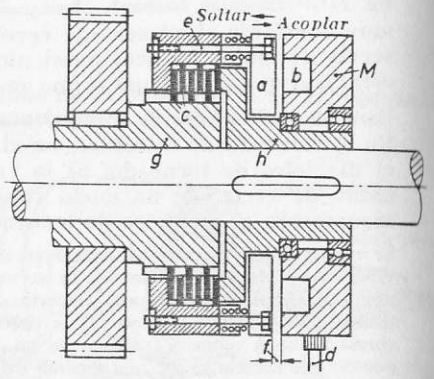


Fig. 222,2 Acoplamientos de discos múltiples sin anillo colector. Al acoplar atrae el imán fijo *M* al disco inducido *a* hasta dejar una pequeña rendija *f*. Con esto quedan los discos comprimidos entre sí y *g* fuertemente unido a *h*; *d*, llegada de corriente.

Si, por ejemplo, se une un acoplamiento con una transmisión de engranajes (marcha rápida) y otro acoplamiento con un mecanismo de tornillo sin fin (avance), se podrá mediante contactos de fin de carrera maniobrar según necesidades ya sea la marcha rápida o ya el avance.

Por lo general se emplean *acoplamientos electromagnéticos de láminas (también llamados de discos múltiples)* **(figs. 222,1 y 223,1)** Una parte de las láminas está unida con el árbol motor y la otra con el árbol arrastrado. Si se conecta el electroimán, un disco inducido presiona las láminas entre sí uniendo de este modo mediante fricción los dos árboles. La corriente continua necesaria, con 12 a 24 V de tensión, se aporta a través de un anillo colector.

Los *acoplamientos de discos múltiples sin anillo colector* **(fig. 222,2)** tienen la ventaja de que quedan suprimidas piezas adicionales para la llegada de corriente. Se eliminan también las interrupciones de contacto a causa de ensuciamiento de los anillos colectores, las marcas de quemaduras y el desgaste de las escobillas. Como las láminas no son recorridas por el flujo magnético pueden ser hechas de bronce sinterizado (bronce que contiene grafito) y acero, con lo que se consiguen condiciones muy buenas de fricción.

En los *acoplamientos de polvo magnético* se utiliza polvo de hierro que se refuerza y rigidiza por excitación magnética creándose así un enlace firme entre los árboles motor y arrastrado.

Son raros en la construcción de máquinas-herramientas los *acoplamientos de inducción*. Entre las piezas accionadoras y las accionadas no existe aquí ningún enlace rígido. El inducido es arrastrado mediante un campo magnético.

Interruptores y reforzadores

Por medio de aparatos llamados, en general, interruptores, se conecta o se desconecta la corriente eléctrica.

Según sea la misión que tengan que cumplir en cada caso particular existen multitud de tipos constructivos. En la construcción de máquinas-herramientas se encuentran con frecuencia además del interruptor sencillo (por ejemplo el de pulsador o botón de presión) relés, relés de mínima, interruptores llamados de paso a paso e interruptores electrónicos.

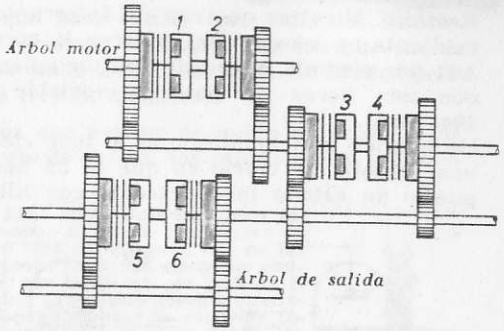


Fig. 223,1 Mecanismo de cambio de marchas con 6 acoplamientos electromagnéticos para 8 números de revoluciones.

Interruptor de cuchillas — Interruptor de manipulador. Mientras que el interruptor de cuchillas permanece en la posición en que ha sido puesto al maniobrarlo (posiciones de conexión o desconexión) el manipulador no cierra el circuito eléctrico nada más que durante el tiempo en que es actuado u oprimido **(figs. 223,2 y 3)**.

Relé (o relevador). Una corriente generalmente débil de maniobra excita un electroimán. La armadura atraida por éste cierra uno o varios contactos del circuito de trabajo. Es decir que el relé actúa como un reforzador o amplificador **(fig. 223,4)**.

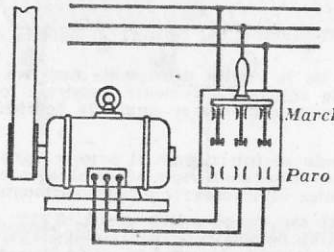


Fig. 223,2 Interruptor de cuchillas, tripolar.

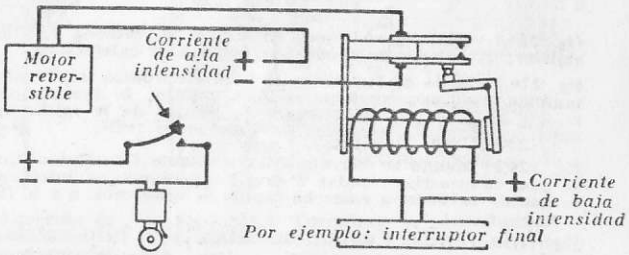


Fig. 223,3 Interruptor de manipulador.

Fig. 223,4 Relé (relé de mínima).

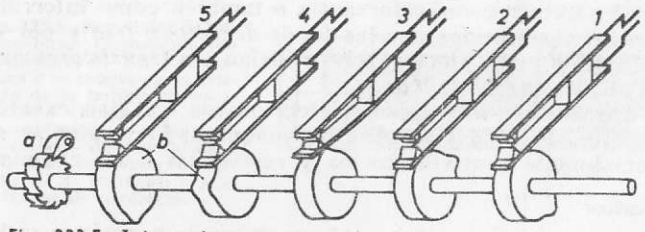


Fig. 223,5 Interruptor paso a paso para 5 puntos de trabajo. *a*, trinquete para el accionamiento paso a paso; *b*, levas; 1 ... 5, líneas para llevar la corriente a los sitios de trabajo.

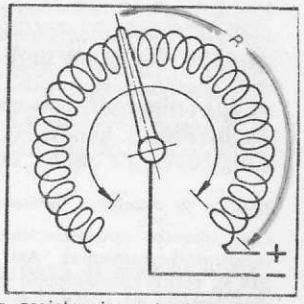


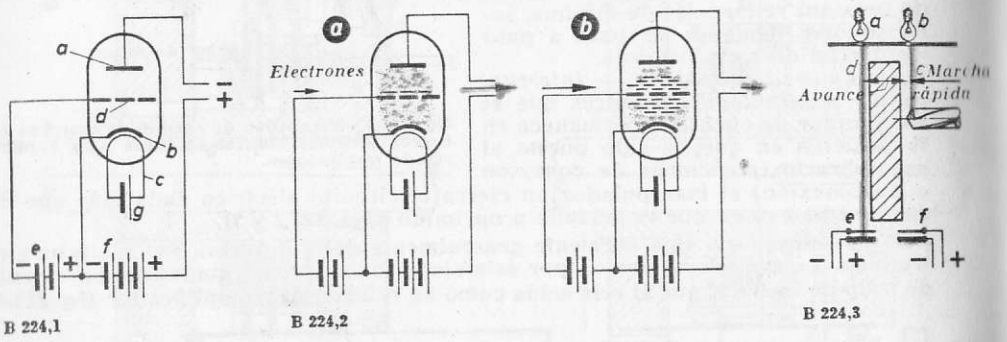
Fig. 223,6 Potenciómetro. Cuanto mayor sea *R*, tanto mayor es la resistencia y tanto más pequeña, por lo tanto, la tensión de la corriente.

Relé de mínima. Como en los relés corrientes también aquí hay una corriente auxiliar que provoca la acción de una corriente intensa. El relé es accionado por medio de un manipulador pero se desconecta automáticamente cuando la corriente auxiliar desciende por debajo de un valor determinado **(fig. 223,4)**.

Interruptor a pasos. Las levas de un árbol que gira paso a paso van conectando sucesivamente diversos contactos. De este modo pueden por ejemplo ser mandados varios puntos de trabajo según un programa fijado **(fig. 223,5)**.

Reostato. Mientras que con un interruptor se conecta o desconecta la corriente, mediante un reostato se gobierna la corriente, es decir se rebaja más o menos. Así, por ejemplo, se puede con un *potenciómetro* variar la tensión intercalando con una borna de posición variable una resistencia de diversa magnitud **(fig. 223,6)**.

Un aparato muy empleado es el tubo *electrónico* o *válvula osciladora*. Consta de una ampolla de vidrio en que se ha hecho un alto vacío y en que se han dispuesto un cátodo incandescente con hilo calefactor, un ánodo y entre ellos la



B 224,1 B 224,2 B 224,3

Fig. 224,1 Tubos electrónicos. *a*, ánodo; *b*, cátodo; *c*, hilo calefactor; *d*, rejilla; *e*, batería de rejillas; *f*, batería de ánodos; *g*, batería de calefactora.

Fig. 224,2 Modo de funcionar el tubo electrónico. a) Tensión de la rejilla débilmente negativa o también positiva: corriente anódica grande; b) tensión de la rejilla fuertemente negativa: corriente anódica pequeña. Cuando la tensión de la rejilla es muy negativa se anula la corriente anódica, el tubo actúa como un interruptor (relé).

Fig. 224,3 Mando de herramientas mediante fotocélulas. Cuando se interrumpe el primer rayo *c* se pasa de «marcha rápida» a «avance»; cuando se interrumpe el segundo rayo se cambia la conexión de «avance» a «marcha rápida de retroceso». *a* y *b*, fuentes luminosas; *e* y *f*, fotoelementos.

llamada rejilla. Cuando se calienta el hilo calefactor, el cátodo envía electrones en dirección al ánodo. La rejilla dificulta el flujo electrónico tanto más fuertemente cuanto más fuerte sea su carga negativa **(figs. 224,1 y 2)**.

Los tubos electrónicos pueden actuar como reforzantes o también como interruptores. Casos especiales son los constituidos por los *tubos de cátodo frío* y por el *tiratrón*. De modo parecido a los tubos electrónicos trabajan los *transistores* que *no necesitan*, en cambio, cuba alguna de vidrio.

Los «reforzadores» y los aparatos de interrupción electrónicos trabajan exentos de inercia y son muy seguros. Para la maniobra de máquinas-herramientas se construyen de modo especialmente «antivibratorio» y resistentes a los choques.

Medios de maniobra óptico-eléctricos

Con aparatos optico-eléctricos pueden resolverse muchos problemas de mando o maniobra en las máquinas-herramientas. Así por ejemplo pueden mandarse con ellos máquinas-herramientas **(fig. 224,3)**, realizar mediciones, dar impulsos de corriente e incluso emplear los contornos de un dibujo directamente para el mando de la máquina.

Célula fotoeléctrica. La célula fotoeléctrica hay que considerarla como una resistencia que es función de la luz que incide sobre ella. En una cuba de vidrio en la que se ha hecho un alto vacío o se ha llenado de gas se ha dispuesto una capa sensible a la luz que funciona con cátodo (fotocátodo). Enfrente se halla el ánodo que se carga positivamente mediante una batería. Cuando incide la luz sobre el cátodo, se produce un transporte de electrones hacia el ánodo, se produce una corriente que aumenta en la misma relación que la intensidad de la luz incidente **(fig. 225,1)**.

Fotoelemento. En contraposición con lo que pasa con la fotocélula, un fotoelemento puede producir por sí mismo una corriente mediante una luz que incide sobre él **(fig. 225,2)**. Una capa de selenio se halla entre una capa de fondo metálica y una capa transparente de cobertura (rejilla metálica).

Otros elementos constructivos fotoeléctricos que actúan de modo parecido a las fotocélulas y los fotoelementos son las fotorresistencias, los fotodiodos y los fototransistores.

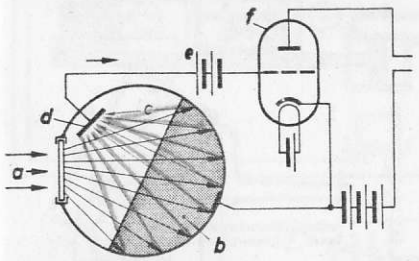


Fig. 225,1 Fotocélula con tubos reforzantes. *a*, rayos luminosos; *b*, metal raro (p. ej. cesio, uno de los elementos raros); *c*, electrones emitidos por incidencia de la luz; *d*, ánodo; *e*, batería; *f*, tubo electrónico para reforzar la corriente fotoeléctrica que es muy débil.

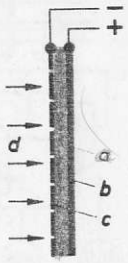


Fig. 225,2 Fotoelemento. *a*, capa de selenio; *b*, electrodo metálico; *c*, electrodo de cobertura transparente (rejilla de alambre); *d*, rayos lum.

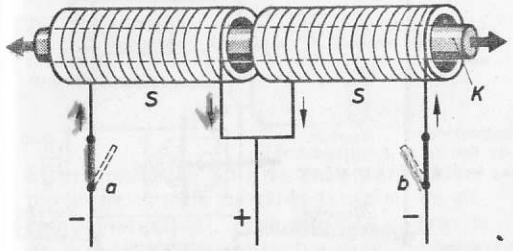


Fig. 225,3 Electroimán. Segun sea la dirección de la corriente se moverá el núcleo de hierro K en la bobina S hacia la izquierda (interruptor *a* cerrado) o hacia la derecha (interruptor *b* cerrado).

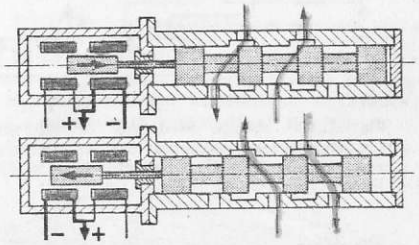


Fig. 225,4 Corredera o distribuidor magnéticos.

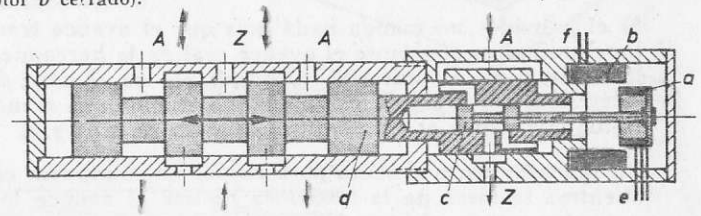


Fig. 225,5 Regulador de bobina-buzo (representación esquemática). La bobina-buzo *a* se mueve en la rendija de la bobina de excitación *b* (imán de corriente continua) y actúa con el émbolo de maniobra *c* sobre el émbolo consecutivo *d*. *A*, salidas; *e* y *f*, entradas de corriente.

Dispositivos electrohidráulicos de mando

Los dispositivos eléctricos se han acreditado especialmente para el mando a distancia de las corrientes de líquido. El aparato principal para esto es la *corredera magnética (distribuidor magnético)*. Si se introduce un núcleo de hierro en una bobina recorrida por la corriente, se moverá hacia un lado o hacia otro según sea el sentido de la corriente **(fig. 225,3)**. Un émbolo distribuidor unido al núcleo gobierna a la corriente de aceite **(fig. 225,4)**. Una variante de la corredera magnética es el regulador de bobina-buzo. En éste se puede dar al émbolo de mando una posición arbitraria cualquiera, es decir se puede hacer que el torrente de aceite no sólo invierta su dirección, sino que se puede mandar también la cantidad que fluye. Además el regulador de bobina-buzo permite tiempos de maniobra notablemente cortos **(fig. 225,5)**.

Mandos eléctricos por palpador

El palpador sigue la forma de la plantilla y cierra, según sea la dirección de su movimiento, contactos eléctricos. A través de relés o de tubos electrónicos mandan los contactos acoplamientos eléctricos o motores reguladores o de ajuste [1] **(figuras 223,1 y 226,1)**. En vez de funcionar mediante contactos eléctricos los mandos eléctricos de palpador pueden hacerlo también análogamente a los cabezales palpadores (véase pág. 228) basándose en la capacidad de un condensador.

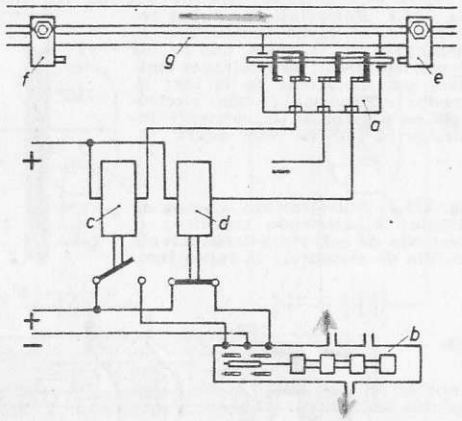


Fig. 226,1 Mando mediante distribuidor magnético (representación esquemática), *a*, interruptor de fin de carrera; *b*, corredera magnética; *c* y *d*, relés; *e* y *f*, levas; *g*, mesa de trabajo.

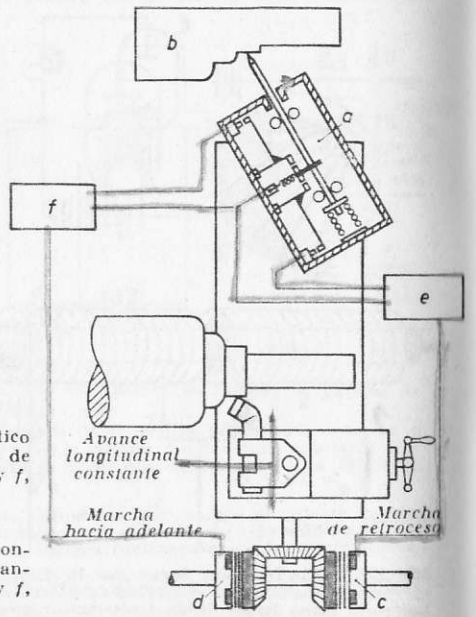


Fig. 226,2 Mando eléctrico de palpador (avance longitudinal constante); *a*, palpador eléctrico; *b*, plantilla; *c* y *d*, acoplamientos electromagnéticos; *e* y *f*, mando por relés o electrónico.

Si el palpador no manda nada más que el avance transversal, cuando el avance longitudinal es constante el avance real de la herramienta durante el movimiento transversal no es uniforme (por ejemplo en el caso de resaltos verticales). Por esta razón hay mandos de palpador que funciona mandando tanto el movimiento transversal como el longitudinal **(figs. 226,2; 227,1 y 2)**

Un procedimiento sencillo para copiar en el espacio es el fresado por renglones. Mientras la mesa de la fresadora realiza el avance longitudinal, la palanca del palpador manda el movimiento vertical de la mesa. Se fresa así una hilera después de otra **(fig. 227,3)**.

El *copiado de contornos* (fresado de contornos) puede realizarse por ejemplo con dos mesas redondas que se muevan paralelamente. Sobre una de las mesas se halla la pieza y sobre la otra la plantilla que va siendo palpada por una palanca palpadora desviable lateralmente **(fig. 227,4)**.

En otro procedimiento se utiliza una palanca palpadora desviable lateralmente, con cuatro pares de contactos **(fig. 228,1)**. Cada par de contactos manda una dirección de la mesa fresadora en plano horizontal.

[1]) Estos motores (en alemán Stellmotoren) son por ejemplo además de los eléctricos (motores de corriente continua) también dispositivos hidráulicos, como cilindro y émbolo, así como también motores de aceite en combinación con reguladores de bobina-buzo.

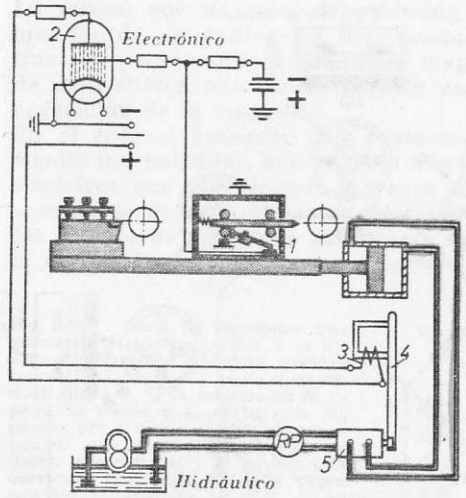


Fig. 227,1 Mando electro-hidráulico por palpador; 1, contacto; 2, tubos; 3, bobina del electroimán; 4, armadura; 5, válvula principal de mando (según Comunicaciones VDF n.º 128).

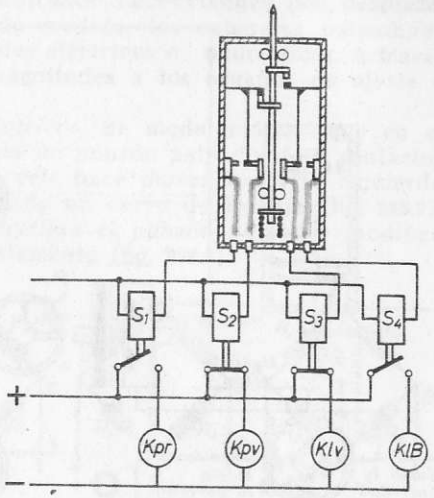


Fig. 227,2 Mando por palpador de un torno para los avances longitudinal y transversal. $S_1 \ldots S_4$ relés; K_{pr}, acoplamiento transversal de retroceso; K_{pv}, acoplamiento tranversal de avance; K_{lv}, acoplamiento longitudinal de avance; K_{lB}, acoplamiento longitudinal de frenado.

Si se configura uno de esos palpadores para que resulte movible también en dirección vertical, será posible a través de dos pares de contactos más, mandar adicionalmente la dirección vertical de la mesa, es decir que será posible copiar en el espacio (copia tridimensional).

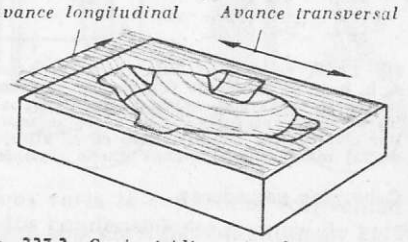


Fig. 227,3 Copia tridimensional mediante fresado por hileras o renglones. El palpador manda la mesa de la herramienta solamente en dirección vertical.

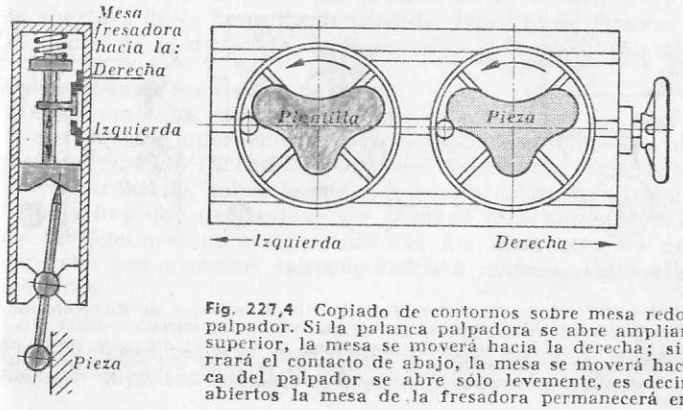


Fig. 227,4 Copiado de contornos sobre mesa redonda con mando eléctrico de palpador. Si la palanca palpadora se abre ampliamente, se cerrará el contacto superior, la mesa se moverá hacia la derecha; si se mantiene vertical, se cerrará el contacto de abajo, la mesa se moverá hacia la izquierda. Si la palanca del palpador se abre sólo levemente, es decir, si están ambos contactos abiertos la mesa de la fresadora permanecerá en reposo.

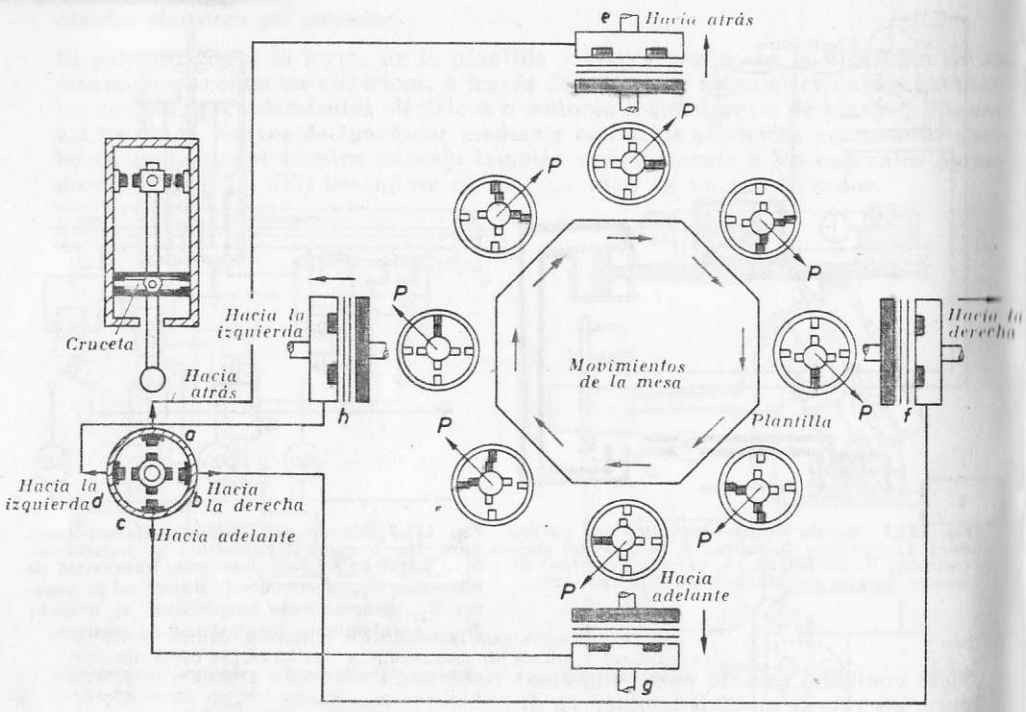


Fig. 228,1 Copiado de contornos (representación esquemática). A, palpador con cuatro contactos: *a, b, c, d*. B, modo de funcionar: si se cierra el contacto *a*, se maniobra el acoplamiento *e* y entonces se moverá el carro hacia atrás; si se cierran los contactos *a* y *b*, se maniobran entonces los acoplamientos *e* y *f* y el carro se mueve hacia la derecha y hacia atrás, etc. Un pulsador auxiliar con resorte (no señalado en el dibujo) aprieta constantemente el palpador contra la plantilla de tal modo que al menos queda cerrado un contacto (dirección de la flecha *P*).

Cabezales palpadores

Una maquina-herramienta que trabaje de modo completamente automático tiene que poder mandar también las piezas y corregirse a sí misma en caso de discrepancia de medidas. Parte constructiva importante para esto es el cabezal palpador.

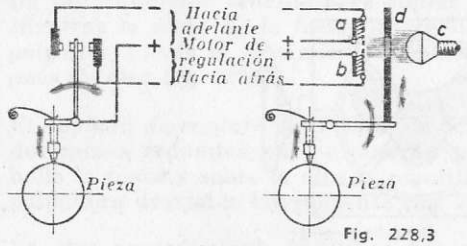


Fig. 228,2 Cabezal palpador con contactos.

Fig. 228,3

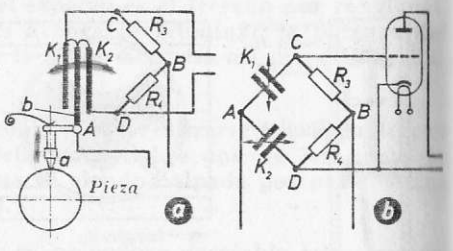


Fig. 228,4

Fig. 228,3 Cabezal palpador fotoeléctrico. Al correr el ventanillo *d* se hacen de diferente magnitud las acciones luminosas sobre los fotoelementos *a* y *b*. *c*, fuente luminosa.

Fig. 228,4 a) Modo de funcionar el cabezal palpador capacitivo. Si varía el diámetro de la pieza, variará por el movimiento del cabezal palpador *a* la posición de la placa del condensador intermedio y con ello la capacidad del condensador K_1 frente a la capacidad del K_2. b) Conexión en puente con tubo reforzante.

Lo mismo que un reloj de medición o indicador hace visibles por desplazamientos de un indice las discrepancias de medida, los cabezales palpadores transforman esas discrepancias en magnitudes eléctricas o neumáticas. A través de dispositivos adecuados mandan esas magnitudes a los órganos de ajuste o regulación de la máquina.

En el *cabezal palpador con contactos eléctricos*, de modo análogo que en el mando por palpador, una palanca movida por un punzón palpador toca contactos eléctricos que por ejemplo a través de un relé hace mover hacia la izquierda o hacia la derecha al motor de regulación de un carro de trabajo **(fig. 228,2)**.

En el caso de *cabezales palpadores fotoeléctricos* el punzón palpador modifica la acción de un rayo de luz sobre un fotoelemento **(fig. 228,3)**.

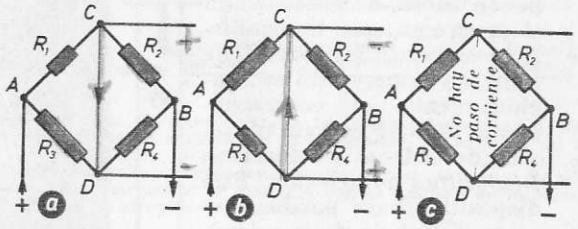


Fig. 229,1 Modo de funcionar una conexión en puente. a) En *A* se divide la corriente fluyendo parte a través de *C* hacia *B* y parte a través de *D* hacia *B*. Si la resistencia R_1 es pequeña frente a la resistencia R_2, pasará por *C* una corriente grande y por *D* una corriente pequeña, es decir, que entre *C* y *D* pasará una corriente de *C* hacia *D*. Si Se suponen las resistencias R_2 y R_4 de la misma magnitud. b) R_1 es grande en comparación con R_2, la corriente pasará desde *D* hacia *C*. c) R_1 y R_2 son de la misma magnitud, entre *C* y *D* no existirá tensión alguna.

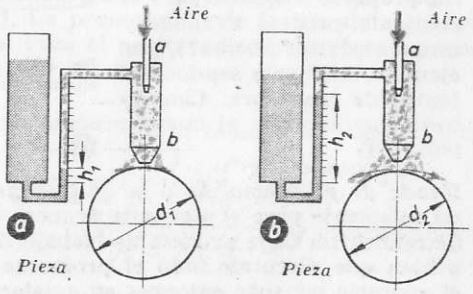


Fig. 229,2 Modo de funcionar un cabezal palpador pneumático exento de contacto. a) El diámetro de la pieza d_1 es grande, la sección de salida entre la boquilla de salida *b* y la pieza resulta pequeña, la presión de aire en la boca de salida *b* es grande, la columna de medida del líquido h_1 pequeña. b) d_2 más pequeña que antes, sección de salida grande, presión de aire en la boca de salida, pequeña, columna de medida del líquido grande. *a* = llegada de aire.

En el caso de *cabezales palpadores capacitivos* varía la capacidad (capacidad de almacenamiento, campo de tensiones) entre dos condensadores a causa de los movimientos del punzón palpador. Ambos condensadores están conectados en puente **(figs. 228,4 y 229,1)**.

Con *cabezales de medición neumáticos* es posible también por ejemplo la medición sin llegar a tocar. La presión en el conducto de llegada por encima de la abertura de la boquilla de medida depende de la sección de salida del fluido, es decir, de la distancia de la boquilla a la pieza **(fig. 229,2)**.

Cooperación de los medios de mando

Almacenamiento. Antes de procederse a trabajar las piezas tiene que conocerse la sucesión de operaciones: por ejemplo, aproximación de la pieza (barra), sujeción, torneado (desbastado-afinado), taladrado, escariado, tallado de rosca, medición, tronzado, soltar la pieza y expulsión de la misma. Para cada proceso de trabajo hay que determinar los avances (movimientos del carro) y los números de revoluciones necesarios, además los momentos de conectar y desconectar, etc., etc. Los procesos son mandados a mano o automáticamente por la misma máquina.

Los «almacenes» o «memorias» son por lo tanto soportes de la información. Pueden tener aspecto muy distinto. Por ejemplo, pueden ser topes longitudinales o transversales dispuestos en el carro de trabajo (especialmente en tornos

revólver), levas e interruptores de fin de carrera, árboles de distribución en autómatas, herramientas perfiladas, correderas rotativas hidráulicas (distribuidores hidráulicos rotativos) para varios puntos de trabajo, plantillas o piezas de muestra en máquinas copiadoras, rodillos programadores, listones programadores, tarjetas perforadas, bandas perforadas, bandas magnéticas. Incluso el plano o dibujo de taller puede mandar a la máquina a modo de «almacén» o «memoria».

Trabajo de las informaciones

Las informaciones determinadas en los «almacenes» también llamados «memorias» tienen ahora, de acuerdo con el programa, que transmitirse a los distintos puntos de trabajo y ponerse allí en funcionamiento el correspondiente flujo de energía (conexión de órdenes y esfuerzos). *Dispositivo preselector.* Este dispositivo hace posible, durante el trabajo de la máquina, preparar o ajustar para el siguiente proceso avances y números de revoluciones, por ejemplo, mediante sendos volantes de maniobra. Cuando haya que empezar el nuevo proceso de trabajo bastará entonces con oprimir un pulsador.

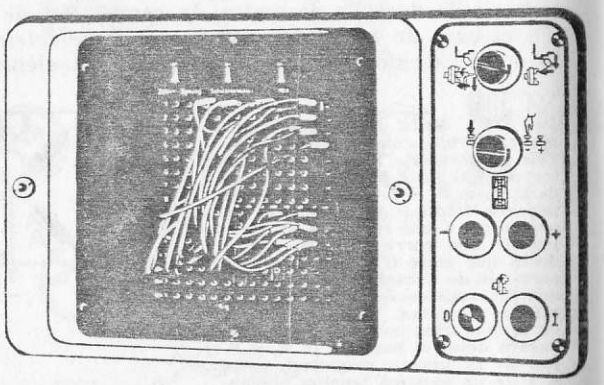


Fig. 230,1 Barra colectora en cruz y enlace de clavijas de enchufe para el mando programado.

Mando de programa. Aquí se ajustan previamente números de vueltas y avances no solamente para el siguiente proceso de trabajo, sino para todos los que hayan de realizarse. Cada proceso de trabajo tiene entonces o bien que iniciarse a mano o bien que discurrir todo el programa automáticamente. El único trabajo para el operario consiste entonces en sujetar y soltar la pieza. Para el ajuste del programa se utiliza, por ejemplo, un panel de barras colectoras en cruz en el cual se distribuyen los tapones de enlace correspondientes **(fig. 230,1)**. El conjunto del programa de clavijas de enchufe puede «almacenarse» en una tarjeta perforada. Los procesos de conexión pueden hacerse funcionar a través de relés o también mediante un mecanismo de conexión paso a paso **(figs. 226,1 y 223,5)**.
Mientras que con estos dispositivos de mando puede variarse el programa arbitrariamente de modo sencillo, en el caso de los árboles de mando que trabajan mecánicamente sobre discos de levas o tambores de levas quedan fijos esos programas **(figs. 210,3 y 211,1)**.

Mando numérico

La herramienta y la pieza tienen que guardar en todo momento una determinada posición relativa. Se puede fijar esta posición (punto de acción) dando a partir de tres planos que se cortan perpendicularmente entre sí las distancias del punto, es decir, sus coordenadas (x, y, z) (mando por coordenadas). La suma de los puntos de acción da la vía o trayectoria mandada.
Mediante tres carros de trabajo, dos de ellos en dirección horizontal y uno en dirección vertical, puede mandarse cualquier vía o trayectoria arbitraria. Las coordenadas necesarias para cada instante pueden, por ejemplo, fijarse en una banda perforada. Las bandas o cintas perforadas son de papel, de material sintético o de láminas metálicas recubiertas de resina sintética.

Se han previsto varias series de agujeros. La serie central sirve para el avance de la banda, tres renglones de agujeros pueden, por ejemplo, emplearse para las coordenadas, las otras para la velocidad de avance, número de revoluciones del husillo, cambio de herramienta, etc., etc. **(fig. 231,1)**.

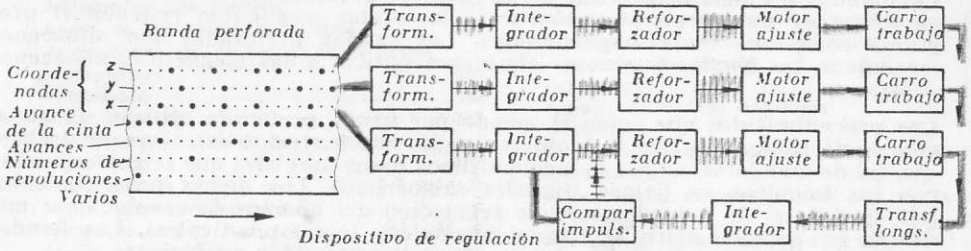


Fig. 231,1 Mando por medio de banda perforada. El transformador transforma los signos de los agujeros almacenados en impulsos. Los impulsos se evalúan en el integrador, se amplían en el reforzador y se transmiten al motor de ajuste para el movimiento de la mesa. *Dispositivo de regulación:* El transformador de longitudes controla el verdadero movimiento de la mesa. El número de impulsos determinado por el segundo integrador se compara con el número de impulsos del primero y la diferencia se introduce en el circuito de mando.

En las series de agujeros de las coordenadas están contenidos determinados números (código, codificados) **(fig. 231,2)**. La preparación de la tira de agujeros es una operación propiamente de oficina. Para el agujereado se emplea un pequeño punzón o, mejor, una máquina de escribir especial.

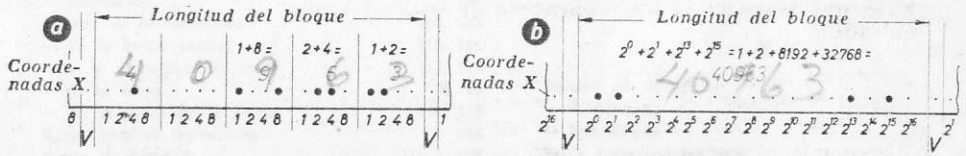


Fig. 231,2 Ejemplos para la codificación de una banda perforada. V, signo. La longitud del bloque contiene las órdenes de mando para un punto, por ejemplo, para la coordenada x, 40 963 impulsos. Si a un impulso le corresponde el recorrido de 0,01 mm se tendrá una coordenada x (y con ello, por ejemplo, un movimiento de mesa de 0,01 · 40 963 = 409,63 mm.

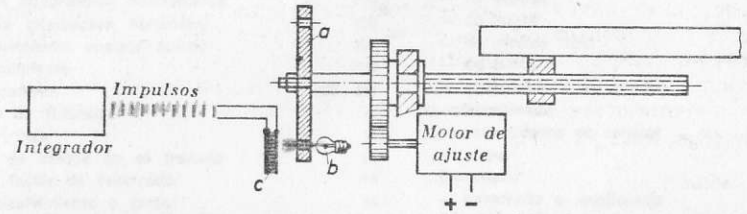


Fig. 231,3 Dispositivo regulador. El disco *a* perforado provisto de ranuras gira juntamente con el husillo del carrillo porta-herramientas. Los rayos luminosos mandados por la fuente luminosa *b* inciden a través de las ranuras a modo de impulsos de luz sobre el aparato fotoeléctrico *c* quedando transformados en impulsos eléctricos.

Durante el mando de la máquina va pasando lentamente la banda perforada. El transformador (por ejemplo un palpador mecánico o una fotocélula) transforma los signos de los agujeros en impulsos de corriente eléctrica. Los impulsos de acuerdo con un código se transforman en un aparato integrador, se refuerzan después en el amplificador, o reforzador, y se conducen finalmente al motor de ajuste para graduar, o ajustar, la mesa de trabajo. Cada impulso da origen de este modo a un determinado micromovimiento del carro (por ejemplo 0,01 mm) **(fig. 231,1)**.

Un dispositivo de regulación verifica el recorrido realmente realizado por el carro mediante comparación del número de impulsos teórico con el real y corrige finalmente, en caso de discrepancia, el movimiento del carro **(figs. 206,4 y 231,3)**.

De modo parecido pueden emplearse *bandas luminosas* o *bandas magnéticas*.

Las bandas o cintas magnéticas almacenan los procesos de mando, por ejemplo en forma de puntos claros y obscuros; las cintas magnéticas retienen el programa como una cinta magnetofónica. Las bandas perforadas son almacenes mecánicos, las bandas luminosas almacenes ópticos y las magnéticas almacenes acústicos.

Los procedimientos que como el mando por banda perforada utilizan un almacén numérico, y que por lo tanto componen los trayectos del carro de trabajo que ha de mandarse, a base de pequeñísimos pasos parciales que se correspondan con los impulsos, se llaman digitales (numéricos). Los demás procedimientos por ejemplo el de palpador o el de regulación del número de revoluciones mediante un potenciómetro se llaman analógicos (correspondientes). Las bandas luminosas y las magnéticas pueden ser digitales o también analógicas.

ÍNDICE ALFABÉTICO

A

Acabados de alta precisión 190
Acción de las fuerzas en la fresa 35
Accionamiento de correas y acoplamientos magnéticos 136
— hidráulico 139
— hidromecánico 215
— o propulsión y salida de la fuerza o eje arrastrado 207
— por cadenas 208, 209
— por correas trapezoidales 207
Aceites de corte 19
Aceros de corte rápido (aceros rápidos) 24
— de herramientas 24
— para máquinas automáticas 11
— tratamiento térmico 25
Acodamiento o fijación de la pieza 143
Acoplamiento 211
— cónico 211
— de cojinetes 211
— de discos múltiples sin anillo 222
— de fricción 211
— de inducción 222
— de láminas o de discos múltiples 211
— hidráulico 218
— magnético 137
Afilado de herramientas 164, 182
— de la broca espiral 115, 116
— — y velocidad de corte 17, 115, 116
— de la fresa 78, 79
— de la punta de la broca 115, 116
Aglutinante de las muelas 165
Aguja de brochar 155
Agujeros oblongos 54
Ajuste de la herramienta al cepillar y al mortajar 143 144
— — en el fresado 52, 60, 90, 91, 93, 94, 97
— — en taladradoras horizontales 129
— de la taladradora horizontal 128
— de precisión, aparato óptico 125
Almacenamiento 229
Amplificadores 223, 224
Anchura de fresado 78
— de virutas 13
Ángulo de ataque en el fresado 34
— — y factor de recalcado 14
— de cizallamiento o corte 14
— — y factor de recalcado 15
— de incidencia de la fresa 34
— de inclinación de una fresa, cálculo 91
— — del avance 120
— — o de dirección, cálculo 91
— de posición o de ajuste, cálculo 91
— — — o de colocación 13
— — — y velocidad de corte 16
— de la espiral en la broca espiral 110, 115
— de la punta 19
Anticipación a la entrada y rebase a la salida en el cepillado y en el mortajado 145
Aparato óptico para ajuste de precisión 125
— para cepillado circular o cilíndrico 140
— para mortajar ranuras 140
— portamuelas 172
Aparatos de sujeción magnéticos 179
— divisores 81
— para rectificado de muelas 171, 172
Árbol articulado 37
— de chavetas múltiples 54, 160
— eléctrico 221
Arranque de metal mediante arco eléctrico 203
Articulación en cruz (cardan) 211
Aserrado 199
Aspectos comprobadores de la naturaleza de una superficie 196, 197, 198
Asperezas de superficies 194
Avance en el cepillado y en el mortajado 145
— en el taladrado 110
— por cada diente de fresa; valores de orientación 62, 63, 64
— y velocidad de corte en el fresado 77
Avellanado 105, 123
Avisador de números de vueltas 221
AWF (Comisión para Fabricación Económica) 18
Azufre 11

B

Bandas de dilatación 21
— luminosas 232
— magnéticas 232
Barra colectora en cruz 230
— de taladrar 126
— — de precisión 129
— — con casquillo (Koyemann) 126
Barrena de espiga o de gorrón 112
— de espiral 111
— de forma 113
— de medida total 112
— de punta 112, 113
— enchufable a su mango 112
— escalonada 112
— para taladro de centrar 112
— plana 112, 113
Barrenado 106
— penetrado o avellanado 106, 117
— refrentador 106
Barrenas 113, 127
— de cabeza 112
— de cuello 112
— de medida inferior 112
Bloque porte-herramienta, ajuste 144
Bloques de sujeción por aire comprimido 58
Bomba axial de émbolos 213
— de émbolos 213
— de engranajes 213

Bomba de rodete helicoidal 213
— radial de émbolos 213
Bombas 212, 213, 214
— de avance 214
Boquillas de sujeción 47
Bridas de sujeción 57
Broca de cañones 111
— de corona 111
— de punta 111
— helicoidal 109
— hueca 111
— para agujeros profundos 111
Brocas de espiral 109, 115
— especiales 110
— para metales ligeros 110
— tipos de 110
Brochado 155, 158, 159, 160
— de cubos de chaveta múltiple 160
— de espirales interiores 158
Bruñido 191

C

Cabeza del husillo de trabajo o de fresar 36
Cabezal de mandrilar 126
— divisor diferencial 82, 83
— — universal 82
— neumático de medición 229
— portafresas basculante 40, 41
— universal para planear y para tornear interiormente 127
Cabezales de cuchillas 44, 45
— de taladrador 111, 126
— palpadores 228
Cadena de mando 206
— dentada 209
— de rodillos 209
— Gall 209
Calibre de caras paralelas 132
— de puntas para interior de cilindros 130
— de tolerancias de extremos esféricos 130
— — macho 130
— para medición de chaveteros 61
Cantidad de viruta en el fresado 65
Capa límite 194
Cápsulas de medición 21
Carbonitrado 25
Carburo de boro 164
Carcavón 23
Cardan, articulación 211
Carrera de trabajo - carrera en vacío 146
Carro rotatorio de bridas 127
— transversal 127
Casquillos de apriete 47
Celsita 25
Célula fotoeléctrica 224
Cepillado copiador 151, 152
— corto 133, 137-40, 142-45
— y fresado - Ventajas e inconvenientes 134
— y mortajado 134, 142, 143, 144, 145, 154
— — ejercicios de 148, 149, 150
Cepilladora de un montante 135
Cepilladoras y mortajadoras 134
Cilindro hidráulico (aceite) de frenado 219
— telescópico 215
Cilindros para mecanismos hidráulicos 215
Circulación del aceite (mecanismos hidráulicos 217
Clases de fresado 30
Código 231
Compresión de pulimentación 193
Comprobación de taladros 130, 131, 132
Comprobador de superficies por interferencias 197
Concavidad 66
Conexión a saltos 41
— de marcha rápida 41
— en puente, modo de funcioner 229
— Leonard 137, 220, 221
Conmutadores trifásicos de polos conmutables 220
Conos empinados (o afilados, o de gran ángulo) ISO 36, 47, 48
Consola de la fresadora 37
Consumo de potencia, máquinas de cepillar y mortajar 150, 151
— — — de fresar 103, 104
— — — de taladrar 121, 122
Contramarcha 207
Convexidad 66
Copiado de contornos 68, 226, 227
— estéreo o tridimensional 68
Corazón de inversión de marcha 209, 210
Corindón 164
Correas trapezoidales 207
Corredera de palpador 216
— magnética (o distribuidor magnético) 225
— rotatoria 141
Cota de ajuste para fresas con dentado espiral 189
— — — con dentado recto 188
Cromado duro 25
Cruz de Malta, mecanismo de 211
Cubos de chaveta múltiple 54, 160
Cuchilla para mortajar o limar 142
Cuchillas espirales de barrenar y brocas o barrenas para avellanar 113, 127
Curva maestra 70

CH

Chaveta móvil, mecanismo 208
Chavetas 54, 55
— de disco 54

D

Dedo copiador 70
Defectos en el rectificador 183
— en el taladrado 117
Deformabilidad 14
Deformación, índice 13
Dentado de Klingelnberg 95
Desgaste, anchura de las marcas 23
— de carcavón 23
— de herramientas 23
— resistencia 23
Desprendimiento de virutas 14
Determinación del tiempo de trabajo 27

Diamante de boro 164
Diamantes 26
Diámetro de la fresa 78
— — y anchura de fresado 78
Dientes de mondar o descortezar 33
— de la fresa 32, 33
Dirección de los filos de la fresa 34
— del rayado en las fresas 34
Direcciones de la fresa respecto al eje de la pieza 80
Dispositivos electrohidráulicos de mando 225
— especiales de las fresadoras modernas 40
— estranguladores o reductores 215, 216
— hidráulicos de compensación 51
— preselector 41, 230
Distancia entre agujeros en el taladrado 123
Distribuidor magnético 225
Distribuidores o válvulas correderas 215, 216
División angular 86
— compuesta 87
— diferencial 88, 89, 90
— directa e indirecta 85
DSA (Comisión alemana de muelas de esmerilar) 170
Dureza en caliente 23

E

Eclisas de sujeción 57
Efecto Joule 204
Elección de muelas 181
Elemento de virutas 10
Émbolo buzo 215
Émbolos diferenciales 215
— para mecanismos hidráulicos 215
Engranajes de ruedas desplazable o correderas 208
— y órganos de maniobra de cepilladoras y mortajadoras 135, 136, 137, 138, 139, 142
— — — de fresadoras 37, 40, 41, 42
— — — de máquinas de brochar 159
— — — de rectificadoras 173
— — — de taladradoras 107
Equilibrado de las muelas 170, 171
— dinámico 171
— estático 171
Erosión por chispas 201, 202, 203, 204
Escariado 106, 113, 114, 117, 118
Escariador Koyemann 114
Escariadores 113
— cónicos 113, 114
— enchufables 113
Escuadras de sujeción 58
Esmerilado 180, 181, 182, 183
— cilíndrico exterior 161
— — interior 162
— de penetración 161
— de refrentar 163
— ejercicios de, 183, 184, 186, 187, 188, 189
— longitudinal 161
— mediante cinta o banda 163, 169
— plano 163, 182
— o rectificado 161, 189
Esmerilado o rectificado erosivo 203
— sin puntas 162
Espesor de virutas 13
— del arco de viruta 18
Espíritu de jabón 19
Estampas y matrices 66, 67
Estrías en las superficies 195
Estructura de las muelas 166
— de una superficie exterior 194

F

Factor de recalcado 13, 14
— — y ángulo de cizallamiento 15
Falsa cuchilla 20
Fijación de la pieza en el cepillado 143
— — en el esmerilado o rectificado 179
Fluoruro sódico, solución de 19
Forma de la viruta 11, 14
— — de cobre 11
— — en los materiales sintéticos 11
— — en los metales ligeros 11
— — y material 11
Formación de virutas 10
Fotodiodo 225
Fotoelemento 225
Fotorresistencia 225
Fototransistor 225
Fresa angular 56, 57
— con espiga o fresa en punta 84
— de forma 66, 67
— en cuarto de circunferencia 67
— en punta 84
— frontal 44, 46
— — angular 56, 57
— prismática 57
Fresado 30, 45, 46, 48, 49, 50, 57, 58, 77, 78, 79
— ángulo de ataque 34
— — de incidencia 34
— cilíndrico en contradirección 30
— o de rodadura 30
— — paralelo 31
— copiador 66, 68, 69
— — dispositivo electrohidráulico 69
— de corte en contradirección 34
— — paralelo 34
— de estampas y matrices 66
— de ranuras 54
— — helicoidales 83
— de rodadura 30, 94
— — con cabezal divisor 83
— — procedimiento tangencial 94
— de roscas 97
— — cortas 98
— — para percusión de dientes 39, 98
— de superficies curvas 66
— ejercicios de 53, 54, 62, 64, 65, 76, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 93, 101, 102, 103, 104
— frontal 31, 32
— pendular 71
— por el procedimiento de división 80, 93
— por renglones 226

Fresado por rodadura 94
— — procedimiento radial o de inmersión 94
— «Rapid» 98
Fresadora, brazo superior 36, 37
— mesa móvil o consola 37
Fresadoras 36-42, 68, 69, 70, 97, 98
— horizontales 36
— para planear o refrentar 38
— para roscar por procedimiento de copia 98
— para roscas cortas 98
Fresas cilíndricas 43
— — acopladas 43
— — frontales 44
— — o de rodadura 96
— — para ranurar 56
— de forma para engranajes 84
— de rodadura 96
— de vástago o de mango 44
— en forma de disco para ranurar 55
— helicoidales 90
— para estampar y matrices 67
— para hendiduras 56
— para llaves inglesas 67
— para ranurar 55, 56, 67
— — acopladas 60
— — ranuras en T 56
— para roscar 99
Fuerza de corte específica 22
— — en el fresado 21
— — media 103, 104
— en el centro de la fresa 35
Fuerzas axiales en el fresado 34, 35
Fundición gris 11

G

Generador por chispas 201, 202
Generador-tacómetro 221
Gráficos para cálculo de espesor de viruta 18
Grano (en las muelas) 165
Grapas de sujeción 57

H

Hendiduras, fresado 54
Herramientas de afilar 164
— de taladrar 109, 126
— para aserrar 200
— tipificación 35
— tipos de brocas 110

I

Inclinación del rayado en las fresas 33
Indicaciones para el trabajo del taladrado 116, 117
Indice volumétrico de viruta 12
Interruptor a pasos 223
— de cuchillas 223
Interruptores 223
Inversión de marcha en las cepilladoras 136

J

Jinetillo magnético 129
Joule, efecto 204
Juegos de fresas 68

K

Klingelnberg, dentado 95
Koyemann 114, 126

L

Lapidado 191
Lengüetas 54
— de disco 54, 55
Limas de afilar 168
— de lapidar 192
Lóbulos de sujeción 57
— o mechas de arrastre 110
Longitud de duración 17
Lunetas 179

M

Magnetoestricción 204, 205
Mando 206
— de máquinas automáticas 210
— de posición 206
— de la velocidad 206
— electrohidráulico 225
— — — por palpador 227
— hidráulico 212
— numérico 230
— por coordenadas 230, 231
— programado 230
— y regulación 206
Mandos eléctricos 220
— — por palpador 226
— neumohidráulicas 219
Mandril de fresado 45
— de lapidar, vaciar o bruñir 192
— enchufable 46, 47
Mandriles de comprobación 131, 132
Maniobra programada 41, 42
Manipulador 223
Máquina fresadora horizontal 36
— — para copiado de formas curvas 70
— — para ranuras largas 39
— — paralela 39
— — vertical 38
— — universal 38
— mortajadora vertical 140, 141
— para fresado de roscas largas 97
— para rectificado o esmerilado cilíndrico exterior 173
— para rectificar flancos de dientes 178
— rectificadora para interiores 175
— — planeadora 176
— — universal 173
— taladradora vertical 107
— universal para afilado de herramientas 176
— — para rectificado cilíndrico 175
Maquinabilidad 12
Máquinas cepilladoras de dos montantes 135
— — de un montante 135
— — especiales 151
— — y mortajadoras 134
Máquinas, clasificación 9
— compuestas 9
— de afilar 172
— de brochar 158
— de fresar 36-42, 68, 69, 70, 97, 98
— de rectificar copiadoras 178
— de taladrar 107
— fresadoras de pórtico 39
— grabadoras 70
— herramienta, clasificadora 9
— — cuidados de las 42
— motrices 9
— operadoras 9
— para afilado de herramientas 176
— para fresado copiador 68, 69
— — de roscas por rodadura 98
— — por rodadura 95
— para rectificado plano 175, 176
— para rodamiento pulimentador 193
— rectificadoras de perfiles 178
— sencillas o elementales 9
Materiales cerámicos de corte 26
— de corte cerámicos 26
— grupos de mecanización 25
— para cuchillas 23, 24
— para fresas 32
— para herramientas 23
— y forma de la viruta 11
Mecanismo de colisa y manivela 138
— de correas trapezoidales 207
— de cruz de Malta 211
— de chaveta móvil 208
— de engranajes planetarios 162, 175, 208
— de inversión de manivela 138
— — por correas 209
— — por engranaje de ruedas rectas, 209, 210
— — por ruedas cónicas 210
— — — de fricción 209
— de ruedas de fricción 209
— — dentadas basculantes (mec. Norton) 208
— Norton 208
— PIV 209
Mecanismos con movimientos lineales 210
— de embrague 210
— de cadena 208, 209
— de inversión de marcha 209
— de tracción 209
— de transmisión hidráulicos 212-219
— — mecánicos 207-211
— — neumohidráulicos 219
— — partes principales 207
— — por correa 207
— divisores 81
— para movimientos paso a paso 210
— o engranajes planetarios 208
Mecanizado, fundamentos 9-29
— veocidad de 15
Mecha para extracción 110
Medición, cápsulas de 21
— con cabezales palpadores 229
— chaveteros 61
— fuerza de corte 21
Medición neumática 229
— profundidad de aspereza 195, 196, 197, 198
— ranuras en cola de milano 61
— rodillos de 61, 62
— taladros 130, 131, 132
— zapatos de 61
Medidor Perth-O 198
Medios abrasivos 164, 165, 166
— de presión 212
— mecánicos de mando 207
— refrigerantes y lubricantes 19, 20, 77, 118
Mesa circular 59, 141
— de fresar basculante 42
— de sujeción 129
Metales duros 25
— — de carburos 25
Momentos de giro en el taladro 121
Montaje copiador en una fresadora 69
— de diamante para tornear 174
Montajes 71, 72
— basculantes 70
Montura de expansión para barras de taladrar 129
Mordazas de sujeción 47, 51
Mortajado de ranuras 140
— de ruedas dentadas 152
— horizontal 133, 137-140, 142-145
— por el procedimiento de división 152
Motor de corriente continua 220
— reversible de corriente continua 137
— trifásico 220
Motores reguladores o de ajuste 226
Movimiento planetario 162
Movimientos en las máquinas herramientas 9
Muelas 167
— de segmentos 169
— de vaso 167, 168
— Nurei 169
— para afilado de herramientas 168
Muestras normalizadas 196

N

Nitrado 25
Norton, mecanismo 208
Número de dientes de la fresa 62
— de dobles carreras y tiempo principal en el mortajado horizontal (limado) 149
— de revoluciones de la pieza en el rectificado 184
Nurei, muelas 169

O

Organos de maniobra óptico-eléctricos 225
Oscilaciones flojas 201

P

Palpador 69, 70
— en la fresadora de copiar 68, 69
Pantógrafo 70, 108
Paso de ranuras espirales, cálculo 91
Penetrado 105-123
Perfiles de estrías 195
— de referencia para herramientas de dentar 96

Perth-O, medidor universal 198
Piedras de afilar 168
Piel superficial de las piezas 194
Placas de expulsión 26
— de vidrio plano 198
Planchas abrasivas 169
Plantilla para afilado de brocas espirales 116
Plato de sujeción de aire comprimido 218
Portaútiles para cambio rápido 114, 115
Potencia de accionamiento en el cepillado y en el mortajado 150
Potenciómetro 221
Presión de corte 22
Procedimientos analógicos 232
— digitales 232
Proceso de cizallamiento o cortadura 10, 15
— de recalcado 13
Profundidad de aspereza 195
— de fresado, cálculo 52
— de ondas 195
Protección durante el esmerilado 182
Pulimento a presión 193
Puntas de rectificador 168

R

Ranuras de sujeción 49
— helicoidales 90
Recorrido de arranque a la entrada y rebase a la salida en el fresado 73, 74
Recrecimiento del filo 20
Rectificado 161-189
— cónico 173
— de ruedas dentadas 178
— de superacabado 193
— electro-erosivo de perfiles 203
— frontal 187
— planetario 191
— — exterior 191
— o reavivado de las muelas 171
— o trazado electrolítico 204
Rectificadora sin puntas 174
Rectificados, fino y muy fino 190
REFA 27
Reforzadores o amplificadores 223, 224
Reglas para el afilado de fresas 79
Regulación 206, 231
Regulador de bobina-buzo 225
Relés 223
— de mínima 223
Rendimiento en taladradoras 121
— en viruta en la fresadora 103
— volumétrico 213
Reostato 224
Resistencia al desgaste 22
— de revenido 23
Rodamiento pulimentador 193
Rodillos de medición 61, 62
Rozamiento y desgaste de las superficies de ataque 21
Ruedas cónicas con dentado espiral 95
— de cambio 82, 83, 87-92, 208

S

Sección de la viruta en el taladrado 121
— — y velocidad de corte 16
— transversal de la viruta 12, 22
Selsyn 221
Sierras circulares 199
— — para metales 56, 200
— de arco 199
— de cinta 199
— — para metales 199
Símbolos para designar los medios abrasivos 164
Socavón 23
Solicitación en las brocas espirales 111
Soportes de sujeción 58
— — por aire comprimido 58
Sujeción de la fresa 45
— — de ranurar 60
— de las muelas 170
— de las piezas 48, 49
— mediante planchas, bridas, eclisas o grapas 57
— — tornillo de banco 49
Superficie de corte 9, 10
— de trabajo 9
— exterior de las piezas y factor de recalcado 14
— — geométrica 194
— — nominal 194
Super-Finish, procedimiento 193
Suplementos prismáticos para la sujeción de piezas 57, 58

T

Tambores de maniobra 210
— — controler 210
Taladrado, barrenado y escariado 105-123
— de agujeros de cuatro caras 105, 106
— defectos en el trabajo 117
— ejercicios de 120, 122, 123
— horizontal 124, 128, 129, 132
— indicaciones para el trabajo 116, 117
— muy fino 191
Taladrador por ultrasonidos 204
Taladradora de columna 107
— de montante 107
— de plantillas 108
— en serie 107
— radial 108
Taladradoras de varios husillos 108
— horizontales 124, 125
Taladradores 107
Taladro radial 108
Taladros con mayor diámetro delante que detrás 115
Temperatura de corte 19
Terraja de lapidar, vaciar o bruñir 192
Tiempo de duración 13, 17
— de ejecución 27
— de preparación 27
Tiempo fundamental 27
— principal 27
— — en el cepillado 147
Tiempo principal en el fresado 73, 74
— — — de ranuras helicoidales 93
— — en el mortajado (limado) 149
— — en el rectificado frontal 187
— — — plano 186
— — en el taladrado 119
— para el fresado de roscas largas 100
— — para el rectificado cilíndrico 185
— — — frontal 187
Tiempos a repartir o prorratear 27, 28
— accesorios (tiempos muertos o perdidos) 27, 28
— muertos 27, 28
— perdidos 27, 28
Tipificación de las herramientas 35
Tipos constructivos de máquinas fresadoras 40
— de virutas 10
Tiratrón 224
Torneado cónico, dispositivo 127
— muy fino 26, 190
Tornillo de banco accionado por fluido a presión 51
— — universal 50
— para medición de interiores 130
Tornillos de sujeción 49
— — rápida de piezas 51
Transistores 224
Tratamiento superficial de las herramientas 25
Trazado y graveteado 118
Trinquete 211
Tronzado 199
— mediante muelas 199, 200
Tuberías para mecanismos hidráulicos 215
Tubos electrónicos 224
— — de cátodo frío 224

U

Utiles de barrenar 111
— para mortajado vertical 142

V

Vaciado 191
Vaina pendular 115
Válvulas 215
— correderas 215, 216
— — giratorias 216, 217
— — longitudinales 216
Válvulas de máxima (o de descarga) 215
— de resistencia 215, 216
— de retención 215, 216
— diferenciales 216
Variación del número de revoluciones 221
— — — sin escalonamiento 209
Velocidad de avance 62, 63
— — cilíndrico 183
— — en el fresado de ranuras helicoidales 93
— — y potencia de la máquina 65
— de corte 15, 16, 22
— — constante 221
— — económica 16
— — en el cepillado y mortajado 146
— — en el esmerilado (rectificado) 184
— — tiempo de duración 17
— — y factor de recalcado 14
— — y número de revoluciones al taladrar 119
— — — — en el fresado 53
— de salida de la viruta 12
— media de corte 103
— — en el cepillado y mortajado 146
— periférica en el esmerilado 169
Vibraciones de la fresa 77
Viruta arrancada 10
— cantidad en el fresado 65
— cortada 10
— índice volumétrico 12
— plástica 10
Virutas, anchura 13
— elementos de 10
— espesor 13
— forma 14, 14
— formación 10
— tamaño 12
— tipos 10
Volumen aceptable de virutas 103

W

Wohlhaupter 127, 128
Woodruff, chavetas 54

Z

Zapatas de medición 61