

DISEÑO Y CALCULO DE HERRAMIENTAS PARA BROCHAR



PARTE II. FUERZA DE CORTE Y FUERZA DISPONIBLE EN PROCESOS DE BROCHADO

Por : Ing. MARIANO ANTONIO BENAVIDES C.
Jefe C.D.T. SENA - ASTIN

3. CALCULO DE LA FUERZA DE CORTE Y DETERMINACION DE LA FUERZA DISPONIBLE EN EL BROCHADO

Aplicando los mismos conceptos vistos en el capítulo 5 Secciones 5.1, 5.1.1., 5.3 y 5.4 del libro "Teoría del Desprendimiento de Viruta", se puede decir que la fuerza necesaria que requiere cada diente para ejecutar la operación, viene dada en función de la resistencia del material representada en su fuerza específica de corte K_s y el área de la viruta a desprender.

$$F_c = b \times h \times 1.3 K_s \quad 3.1$$

F_c = fuerza de corte (Nw)
 b = Ancho del diente mm
 h = Incremento por diente o espesor de viruta mm
 K_s = Fuerza específica de corte*

$$K_s = \frac{1.1}{h} \left[\frac{N_w}{mm^2} \right]$$

Por desgaste de la herramienta se puede experimentar aumento de F_c en 30% y 40%.

Puesto que a lo largo de la pieza a brochar están "Ze" dientes efectivos en corte, se obtiene así la fuerza total de los dientes en acción :

$$F_c = 1.3 \times b \times h \times K_s \times Ze \quad 3.2$$

* 1.3 = Factor de corrección por proceso.
Ver tablas 5.2 pag. 144 - 145, del libro Teoría del Desprendimiento de Viruta.

Se debe tener presente cuando la brocha es cilíndrica y tiene a su vez "n" filas de dientes en su periferia (figura 2), es preciso multiplicar por "n" filas existentes en la brocha así :

$$F_c = 1.3 \times b \times h \times K_s \times Ze \times n \quad 3.3$$

$$F_c = \text{Fuerza de corte total [Nw]}$$

El cálculo de la fuerza de corte tiene importancia en los siguientes aspectos :

- a. Para determinar y seleccionar la máquina a utilizar según el tonelaje disponible en ella. En la selección del equipo, se pueden nombrar máquinas que desarrollan fuerzas de corte entre 6 y 50 toneladas, notándose una gran preferencia en los últimos tiempos por las máquinas con accionamiento hidráulico, sobre las de accionamiento mecánico, ya que las primeras admiten regulación de la presión en el sistema, lográndose regular así la fuerza de accionamiento, lo cual es muy ventajoso para obtener diferentes rangos de fuerza en el trabajo, así como la calibración de la fuerza admisible necesaria, evitando la rotura de las herramientas, efecto que en las máquinas mecánicas no es posible, convirtiéndose la operación en antieconómica y peligrosa.
- b. El cálculo de la potencia de corte y su evaluación con el factor de aprovechamiento de la máquina se obtiene a partir de :

$$P_c = \frac{F_c \times V_c}{6 \times 10^4}$$

$$P_c = \frac{1.3 \times b \times h \times K_s \times Ze \times n \times V_c}{6 \times 10^4} [Kw] \quad 3.4$$

Donde "Vc" es la velocidad de corte que para el proceso de brochado se recomienda la tabla No. 3.1.

MATERIAL A TRABAJAR	BROCHADO INTERIOR		BROCHADO EXTERIOR	
	desbaste	Acabado	desbaste	Acabado
Aceros entre 50-70 Kgf/mm	2 - 2.5	4 - 8	6 - 10	8 - 10
Fundicion Gris	2 - 2.5	6 - 8	5 - 7	8 - 10
Laton y Bronce	2.5 - 3	7.5 - 10	8 - 12	10 - 12
Materiales ligeros AL y aleaciones	3 - 6	10 - 14	10 - 14	12 - 15

Tabla 3.1 - Velocidad de corte para el brochado en m/min.

La comparación de la "Pc" con la potencia de accionamiento "Pa" se hace cuando la máquina es mecánica y se quiere verificar las condiciones admisibles de trabajo, luego se debe cumplir :

$$\delta = \frac{P_c}{P_a} \quad 3.5 \quad \text{y} \quad \eta = \frac{P_a}{P_n} \quad 3.6$$

δ = Factor de aprovechamiento
Pc = Potencia de corte [Kw]
Pa = Potencia de accionamiento [Kw]
Pn = Potencia Nominal [Kw]
 η = 0.7, a 0.75

Recordando siempre las siguientes condiciones:

$$P_c \leq P_a \quad 3.7 \quad \text{y} \quad \delta \leq 1 \quad 3.8$$

En las máquinas hidráulicas la evaluación se hace determinando la potencia de accionamiento con un 20% o 30% más de la "Pc", ya que estos equipos permiten hacer una graduación de la potencia disponible, mediante la regulación de la válvula controladora de la presión del sistema, o también la regulación del caudal "Q", si la bomba es de desplazamiento variable modificándose así la presión y el caudal del cilindro o actuador, el cual va conectado directamente a la herramienta, luego :

$$P_a = 1.2 \times P_c \quad \text{o} \quad P_a = 1.3 \times P_c \quad 3.9$$

Siendo "Pa" la potencia necesaria a la cual debe trabajar el sistema que acciona la herramienta.

c. Para el cálculo a resistencia de la herramienta en su zona crítica.

3.1 CALCULO A RESISTENCIA DE LAS HERRAMIENTAS PARA BROCHAR

El funcionamiento de la herramienta se debe principalmente al tipo de máquinas disponibles. Es así como en máquinas brochadoras convencionales, las herramientas trabajan a tracción como lo muestra el montaje de las figuras 1, 2 y 4, pero no puede descartarse la alternativa de algunos talleres de convertir sus prensas manuales o hidráulicas en brochadoras, donde las herramientas deben trabajar a compresión, generando esfuerzos de pandeo dada su esbeltez.

A continuación se analizan las brochas que trabajan a tracción.

3.1.1 CALCULO A TRACCION

Para el cálculo a resistencia, se analiza la ubicación de la zona crítica, que normalmente se encuentra en el mango de la herramienta (ver figura 4 y 11), localizado en la entalladura de sujeción, cuya área crítica se denomina "Ao" (ver figura 11).

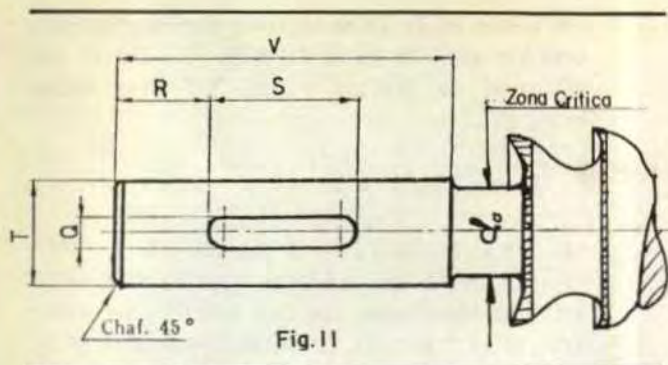


Fig. 11

El esfuerzo de tracción existente en la zona crítica viene dado por :

$$\sigma_{\text{existente}} = \frac{F_{\text{existente}}}{A_o} = \frac{F_{\text{corte total}}}{A_o} \quad 3.10$$

Se debe verificar siempre que :

$$\sigma_{\text{existente}} \leq \sigma_{\text{admisible}} \quad 3.11$$

De igual manera:

$$F_{\text{existente}} \leq F_{\text{admisible}} \quad 3.12$$

Experimentalmente se tiene que para brochas fabricadas en acero de herramientas se admite :

$$\sigma_{\text{adm.}} = 35 - 40 \text{ Kg/mm}^2$$

"La fuerza existente indudablemente está representada en la fuerza de corte, "Fc" necesaria para ejecutar el corte según 3.2 y 3.3 la fuerza admisible sería":

$$F_{\text{adm.}} = \sigma_{\text{adm.}} \times A_o \quad 3.13$$

Se puede escribir según 3.12

$$b \cdot h \cdot K_s \cdot Z_e \leq A_o \sigma_{\text{adm.}} \quad 3.14$$

" Esta relación permite determinar los parámetros de diseño mediante los siguientes análisis" :

- a. El área mínima "Ao" necesaria para evitar la rotura en esta zona, bajo las condiciones determinadas es :

$$A_o_{\text{min.}} = \frac{b \times h \times K_s \times Z_e \times 1.3}{\sigma_{\text{adm}}} \quad 3.15$$

Obteniéndose así el diámetro crítico:

$$d_o_{\text{min.}} = 1.12 \sqrt{A_o_{\text{min}}} \quad 3.16$$

Donde "do" es el diámetro de la sección crítica "Ao". Fig. 11

- b. Evaluación de los parámetros h y b, especialmente "h", puesto que "b" es un dato inicial de partida para el diseño, en cambio "h", como se dijo en la sección 2.1, se debe seleccionar (Fig. 5, 6 y 8).

Para el siguiente análisis debe tenerse en cuenta las leyes del desprendimiento de viruta, tratadas anteriormente.

- La fuerza de corte "Fc" se incrementa con el aumento "b" en forma directamente proporcional. (ver ecuaciones 3.2 y 3.3.)
- El incremento de "Fc" no es proporcional al aumento de "h", puesto que la relación 3.2 se puede también escribir :

$$F_c = b \cdot h \cdot \frac{K_s}{h^{1.1}} Z_e \quad 3.17 \text{ y a su vez}$$

$$F_c = b \cdot h \cdot \frac{K_s}{h^{1.1}} Z_e \quad 3.18$$

Lo cual muestra la influencia que tiene "h"

sobre "Ks" en forma inversa *. Por esta razón, "h" se debe seleccionar con su máximo valor admisible, (según Tabla No.2) hasta donde las condiciones de corte lo permitan, para lograr con esto disminuir "Ks" según la expresión conocida:

$$K_s = \frac{1.1}{h^z} \quad 3.19$$

Al disminuir "Ks" por elección de un "h" mayor, estamos disminuyendo "Fc" directamente, ya que "Ks" es función directa de "Fc", pero no así "h".

Para la selección de este parámetro se estudia en la sección 2.1 sus características, utilizando el criterio de selección de la tabla No 2.

La decisión e importancia de variar "h" en vez de "b", se muestra claramente en el brochado de perfiles, como los de la figura No.12.

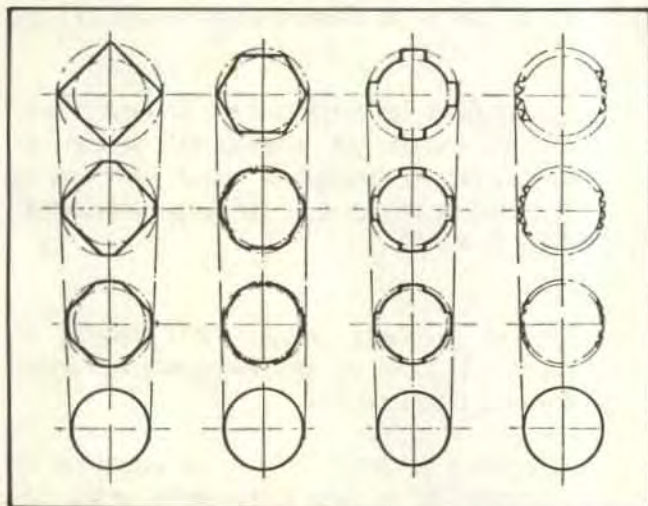
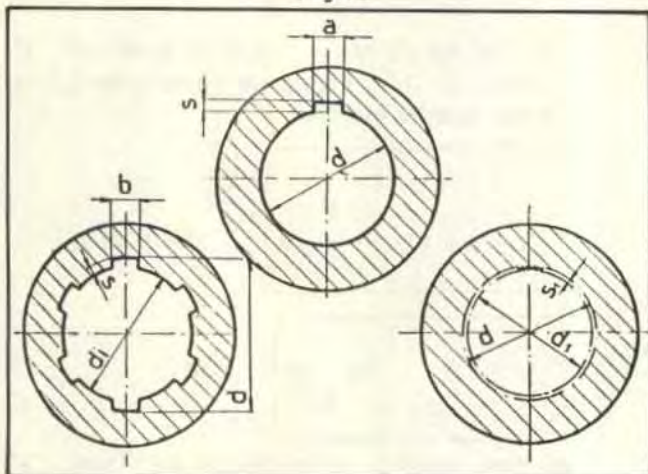


Fig.12



Las piezas en su forma inicial, tienen premaquinada una perforación de diámetro "D", puesto que el ancho de fresado inicial "bi" para estos casos es :

$$b_i = \pi D \quad 3.20$$

que es el perímetro de la circunferencia inicial; a medida que la brocha penetra, este perímetro va aumentando, (un caso concreto se muestra en la figura No.13) hasta convertirse en el perfil requerido, que para el caso de la figura el nuevo perímetro o ancho de brochado final, es "bf".

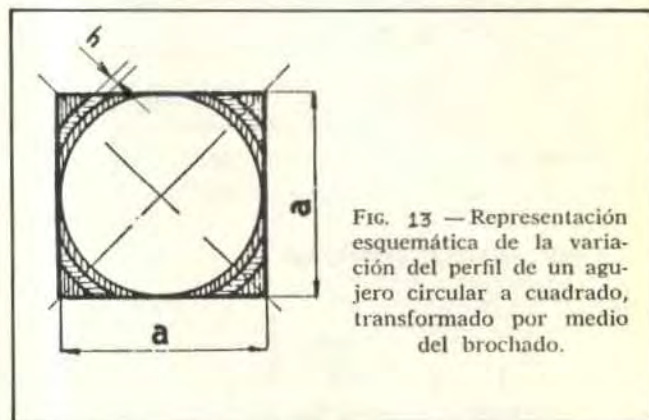


Fig. 13 — Representación esquemática de la variación del perfil de un agujero circular a cuadrado, transformado por medio del brochado.

$$b_f = 4 D \quad 3.21$$

Luego, haciendo una relación de perímetro, se tiene que :

$$\frac{b_f}{b_i} = \frac{4 D}{\pi D} = \frac{4}{\pi} = 1.27 \quad 3.22$$

Lo cual indica que en perfiles cuadrados, el perímetro de brochado "bf", se incrementa en un 27% con respecto al perímetro inicial, pero no así el incremento "h" del diente, puesto que este valor permanece constante en la brocha ya fabricada.

Por razón del incremento de "Fc" por acción directa de "b", toma mayor importancia la elección de "h". Por tanto para estos casos es importante diseñar la herramienta con perfiles escalonados como lo muestran las figuras 4 y 12, o bien hacer varias brochas que impliquen un incremento "h" en función de los valores admisibles ya estudiados.

* Ver Teoría del Desprendimiento de Viruta Pag. 174, experimento No 7.

Como la profundidad de corte total, (Ver figura 14) se expresa en función de la sumatoria de todos los h :

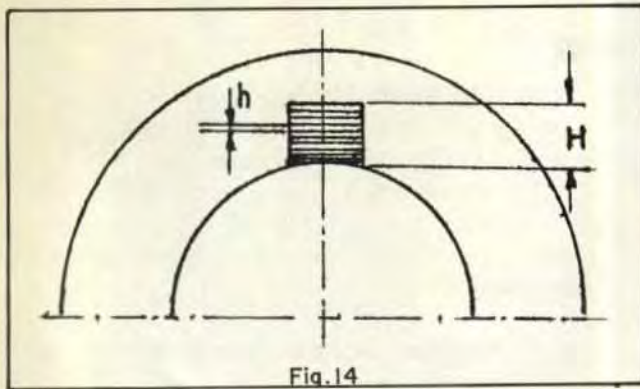


Fig. 14

$$H = \sum h \quad 3.23$$

esto es :

H = Profundidad de brochado

h = Incremento por diente

se puede obtener así, el número de dientes totales Z mediante :

t

$$Z = \frac{H}{h} = \frac{\text{profundidad total mm}}{\text{profundidad mm/diente}} \quad 3.24$$

Esta relación es paralela a la 2.9 utilizada para el cálculo de Z en brochas cilíndricas de "n" filas (figura 2 y 4).

- c. Como se dijo, la relación (3.14) permite también analizar el número de dientes máximo admisibles en corte, esto es :

$$Z_{e.\max.\text{adm}} = \text{No. de dientes admisibles en corte,}$$

o sea en función del esfuerzo admisible σ_{adm} según relación 3.11 y el área crítica " A_o ", luego de (3.14) se puede escribir :

$$Z_{e.\max.\text{adm}} = \frac{A_o \cdot \sigma_{\text{adm}}}{b \cdot h \cdot K_s} \quad 3.25$$

Puesto que se ha dicho que la F existente = F corte, se puede tomar como valor de diseño que :

$$Z_{e.\max.\text{adm.}} \leq \frac{F_c}{b \cdot h \cdot K_s} \quad 3.26$$

- d. De igual manera se puede obtener el paso mínimo admisible $t_{\text{min.adm.}}$ a partir de 2.8 y 3.26, así :

$$t_{\text{min.adm.}} = \frac{p}{Z_{e.\max.\text{adm.}}} \quad 3.26A$$

3.1.2 CALCULO A PANDEO

Existe la posibilidad, como se dijo antes, de que la brocha trabaje a compresión y que dada su esbeltez, es preciso calcular la fuerza crítica necesaria admisible, que permita trabajar a la herramienta sin el peligro de rotura por esfuerzos de pandeo; es decir, la herramienta se calcula como una columna, para ello se debe tener presente, que la geometría de la herramienta esté definida y se procede a verificar los parámetros dimensionales de la sección transversal y la fuerza crítica que para el caso sería la fuerza de corte máxima, existente en el proceso.

Las consideraciones que deben tenerse en cuenta para la verificación a pandeo son :

- La carga ejercida sobre la sección de la herramienta, se considera puntual por razón de que el área es uniforme y muy pequeña para considerarla distribuida.
- El análisis se hace con la máxima fuerza de corte existente en la operación, y con la longitud dada por esa fuerza, es decir, cuando todos los dientes en corte Z_e se encuentran trabajando. (ver figura 15).
- Analizando los tipos de apoyo existentes* según figura 16, se debe conocer la condición de sujeción que tiene la herramienta en sus extremos ya que en la parte del extremo cortante se asume como articulada y de otra parte depende del sistema de montaje en la máquina, pero en ningún caso hay empotramiento del 100%.
- Se asume como rango de esfuerzos admisibles del acero para herramientas:

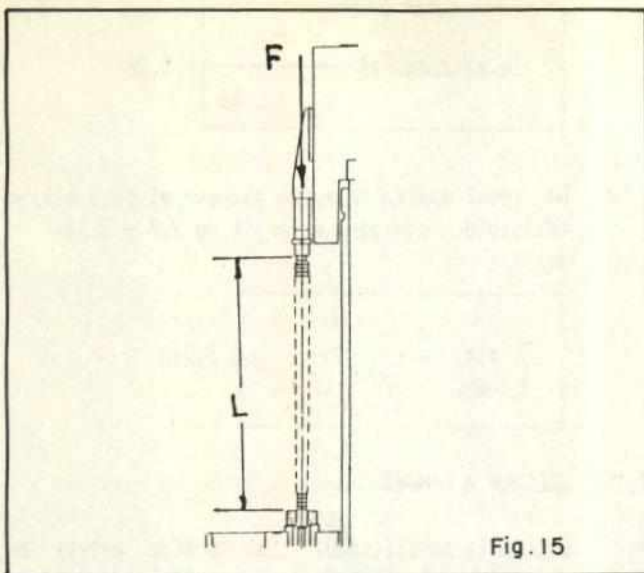


Fig. 15

$$\sigma_{adm.}^* = 35 - 40 \text{ Kg/mm}^2 \text{ y } 70...120 \text{ Kg/mm}^2^{**}$$

- Dadas las condiciones de trabajo y puesto que los aceros de herramientas por su elevada dureza no admiten deflexiones tan altas como las que podría admitir un acero de maquinaria bonificado, se asume como factor de seguridad "S" entre 2 a 3, el cual es más elevado que el utilizado en los elementos de máquinas.

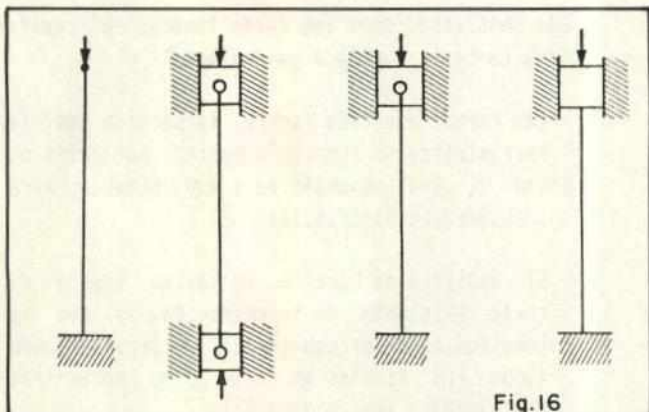


Fig. 16

3.1.3 CALCULO DE COLUMNAS

Para el cálculo de columnas se tienen las siguientes relaciones para carga segura.

* Boege, Alfred.— Mechanik und Festigkeitslehre.— Vieweg Verlag.
 ** ASSAB HSS Tool Steels.

a. Según Euler (Columna larga)

$$F_{crit} = \frac{\pi^2 E A}{S (L/K)^2} \quad 3.27$$

b. Según J.B. Johnson (Columna corta)

$$F_{crit} = \frac{\sigma_y A}{S} \left[1 - \frac{\sigma_y (L/K)^2}{4 \pi^2 E} \right] \quad 3.28$$

de donde :

π = Factor de las condiciones de extremo (ver fig. 16)

E = Módulo de elasticidad $2.2 \times 10^4 \text{ Kg/mm}^2$ de aceros para herramientas

A = Area de la sección transversal ($A_{critica} \text{ mm}^2$), ver figura 17

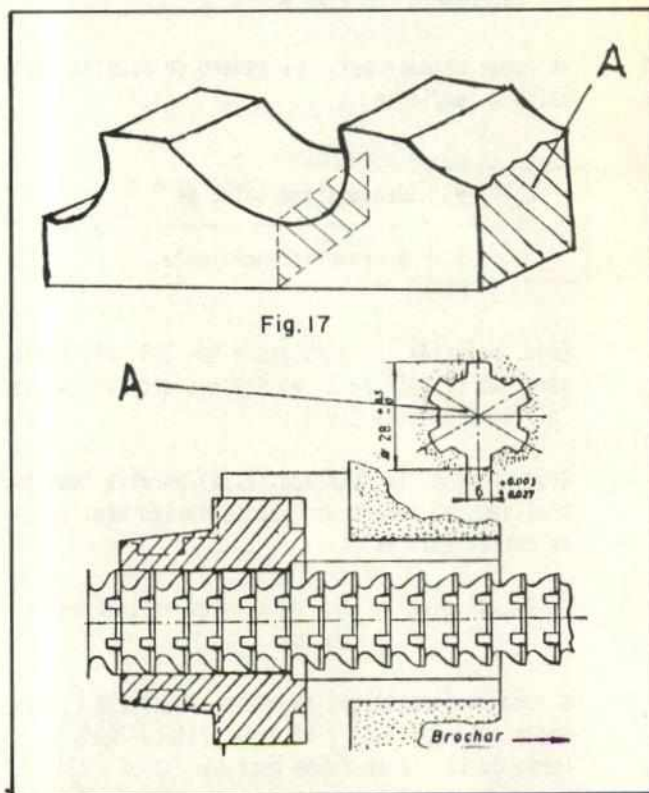


Fig. 17

σ_y = Límite de fluencia Kg/mm^2

L = Longitud para el análisis de pandeo mm, (ver figura 15)

K = Radio mínimo de giro

$$K = \sqrt{\frac{I}{A}} \text{ mm}$$

I = Momento de inercia axial de la sección transversal mm^4

$$\sigma_{adm} = \text{Esfuerzo admisible Kgf/mm}^2 \quad \sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{S}$$

S = Factor de seguridad

L/K = Relación de esbeltez

La relación de esbeltez L/K determina, cuándo la columna se considera larga o corta y por consecuencia indica la ecuación a utilizar bajo el siguiente criterio :

Si $\frac{L}{K} > \sqrt{\frac{2\pi^2 E \cdot S}{\sigma_y}}$ 3.29 Se debe usar la ecuación 3.27 de Euler.

Si $\frac{L}{K} < \sqrt{\frac{2\pi^2 E \cdot S}{\sigma_y}}$ 3.30 Se usa la ecuación 3.28 de Johnson.

Una vez calculada la fuerza crítica F_{crit} , se

compara con la fuerza de corte total F_{ct} según 3.2, 3.3 y se debe cumplir que :

$$F_{CT} < F_{crit.} \quad 3.1$$

Si " F_{ct} " resulta mayor que " F_{crit} " en valores no mayores de 20%, existe el peligro de rotura de la herramienta, por lo tanto debe procederse a recalcular la brocha, bien sea variando los parámetros de su geometría como h, t, Z_e , etc; es decir para F_{ct} moderadamente mayor de F_{crit} . Puesto que si $F_{ct} \gg F_{crit}$ es decir la fuerza de corte es extremadamente mayor en porcentajes superiores al 30%, es conveniente recalcular para construir entre dos o tres brochas con el objeto de distribuir mejor la carga y evitar longitudes de brochas excesivas o realizar el trabajo en varias pasadas, como las brochas usadas para hacer cuñeros, (ver figura 14).

A continuación se muestran varios ejemplos de máquinas brochadoras con diferentes tipos de montaje.

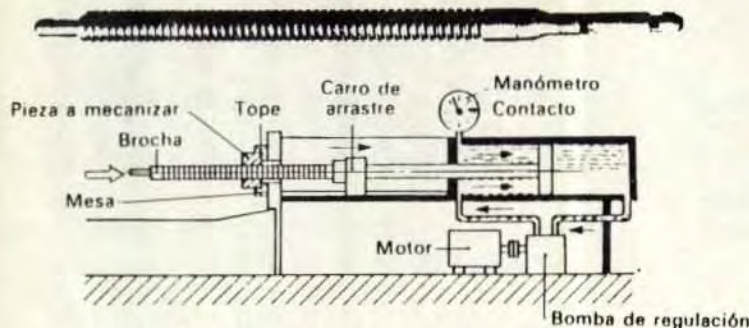


Figura 18 .. Representación esquemática de una brochadora horizontal.

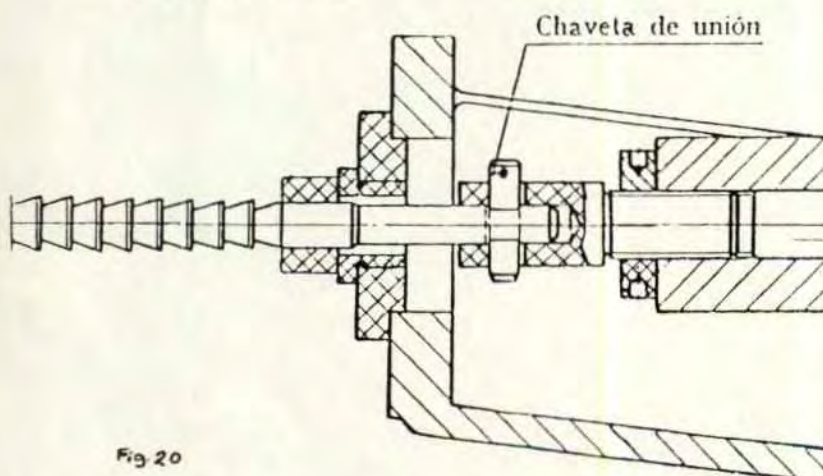


Fig 20

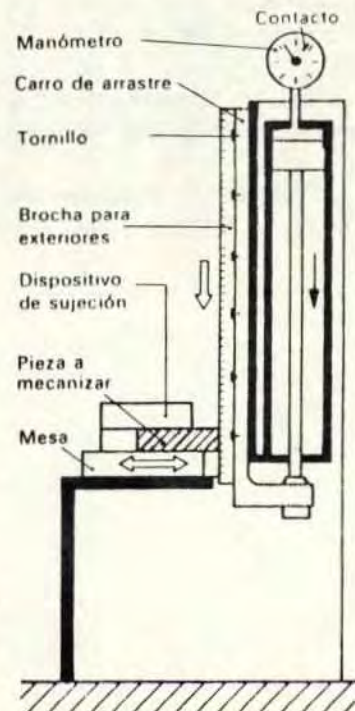


Figura 19 Representación esquemática de una brochadora vertical.

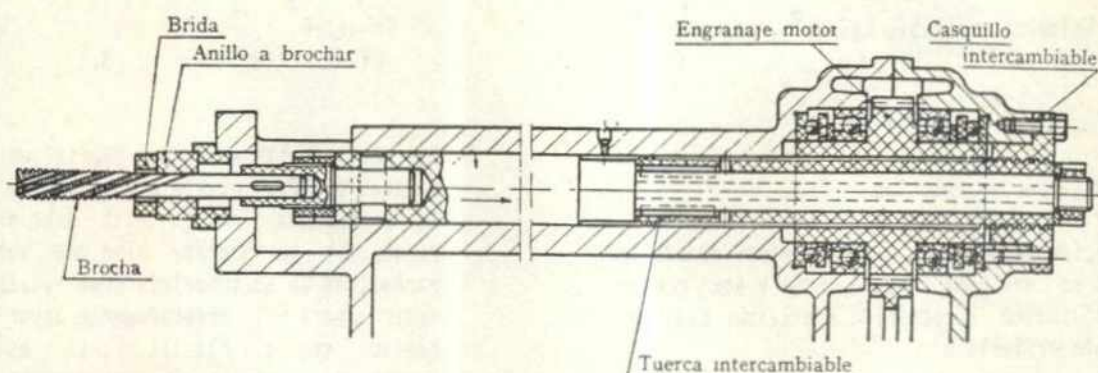


FIG. 21 — Cabezal de la máquina para el brochado helicoidal.

BIBLIOGRAFIA

1. Bartsch, Walter. — Werkzeug-Maschinen arbeiten Braunschweig. — Vieweg Verlag, 1972.
 2. Praeger, Karl Theodor. — Zerspan technik. — Vieweg Verlag, 1972.
 3. Richard, Alfred. — Fertigungstechnik Handwerk und Technik. — Verlag, 1974.
 4. Boege, Alfred. — Mechanik und estigkeits lehre, Braunschweig. — Vichweg Verlag, 1974.
 5. Bruins / Praeger. — Werkzeuge und Werkzeug-maschinen. — Muenchen : Carl Hanser Verlag, 1975.
 6. Rossi, Mario. — Máquinas Herramientas Modernas. Barcelona : Científico médico, 1971. — 2v. — il.
 7. Benavides Mariano A. — Teoría del Desprendimien to de Viruta y Mecanizado Eficaz. — Cali, 1984.— Il.
 8. Hall, A.S. — Diseño de Máquinas/ A.s. Hall y A.R. Hallowenko. — McGraw-hill.
 9. Shigley . — Diseño en Ingeniería Mecánica.
 10. Hassay.— Savage Broaches Company Massaschusetts
- OSWALD FORST. — Taschenbuch hinwerse fuer das raeumen solingen : Oswald Forst, 1970. —167p. — il.