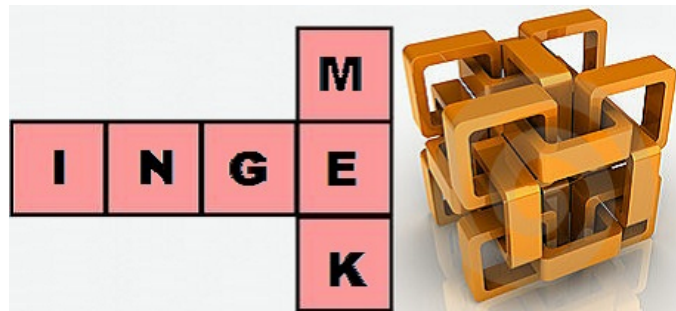


11 problemas resueltos de TECNOLOGÍA MECÁNICA.



José Manuel Gómez Vega

Junio 2.006

ÍNDICE DE PROBLEMAS:

I. Deformación plástica.

- (1º) EJERCICIO DE TREFILADO.....pág. 3
- (2º) EJERCICIO DE EXTRUSIÓN INVERSA.....pág. 7
- (3º) EJERCICIO DE CEPILLADO.....pág. 10
- (4º) EJERCICIO DE LAMINADO.....pág. 11

II. Procesos de mecanizado.

- (5º) EJERCICIO DE FÓRMULA DE TAYLOR.....pág. 14
- (6º) EJERCICIO DE TIEMPO DE MECANIZADO.....pág. 15
- (7º) EJERCICIO DE VIDA DE HERRAMIENTA.....pág. 17

III. Procesos de eliminación de material.

- (8º) EJERCICIO DE TORNEADO.....pág. 14
- (9º) EJERCICIO DE CORTE ORTOGONAL.....pág. 24
- (10º) EJERCICIO DE MECANIZADO).....pág. 24

IV. Programación en CNC.

- (11º) EJERCICIO PROGRAMACIÓN CNC.....pág. 24

(1º) EJERCICIO DE TREFILADO.

Se quiere trefilar un alambre de 6 mm de diámetro. El material de partida es una aleación de aluminio (A7075) en estado recocido, cuyo comportamiento plástico puede aproximarse por la siguiente ley:

$$\sigma = 254 \cdot \varepsilon^{0.17}$$

Se pide:

- a) Demostrar que la condición límite de estirado para materiales cuyo comportamiento plástico puede aproximarse por la siguiente ley:

$$\frac{\varepsilon_f^{n+1} - \varepsilon_i^{n+1}}{\varepsilon_f^n} < n + 1$$

- b) Calcular la deformación máxima admitida por la aleación A7075 teniendo en cuenta el estado recocido del que se parte.
 c) Demostrar que si d_i , representa el diámetro del alambre antes del trefilado y d_f el diámetro después del mismo, se cumple la relación:

$$d_f = d_i \cdot e^{\frac{\Delta\varepsilon}{2}}$$

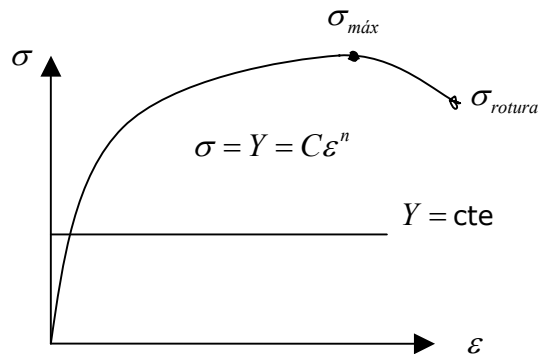
- d) Calcular el diámetro final mínimo que podría obtenerse con el material dado en una pasada.

SOLUCIÓN.

a)

Primera forma.

La carga P alcanzará un valor máximo cuando la pendiente de la curva de tensiones-deformaciones (grado de endurecimiento por deformación plástica), sea igual que la magnitud aplicada. Una deformación mayor provocará la inestabilidad y aunque gráficamente se observe una disminución aparente de la carga, esto no será así, pues habrá comenzado la estricción (reducción brusca de una sección) donde se localizará poco después la rotura.



En la gráfica anterior se ha comparado el material del problema que presenta endurecimiento por deformación, (con una curva), del material rígido plástico perfecto, donde el valor de la tensión es independiente de la deformación, (que es una recta).

Si la pendiente de la curva $\left(\frac{\partial\sigma}{\partial\varepsilon}\right)$ es mayor que la tensión soportada, que en realidad es la carga entre el área real $\left(\sigma = \frac{P}{A}\right)$, no llegaremos a $\sigma_{m\acute{a}x}$ ni aparecerá la rotura.

Por lo tanto, hay que comenzar imponiendo:

$$\frac{\partial\sigma}{\partial\varepsilon} > \sigma \quad (1)$$

Toda carga en estas condiciones aparecerá como una tensión por debajo de la línea marcada. Obsérvese que aunque se han empleado derivadas parciales, pudiera haberse optado por notar las derivadas como totales, ya que las únicas variables de la ecuación:

$$\sigma = C\varepsilon^n \quad (2)$$

son: σ y ε .

Desarrollando la ec. (1.1) y poniendo derivadas totales:

$$\begin{aligned} d\sigma > \sigma d\varepsilon &\Rightarrow \int d\sigma > \int \sigma d\varepsilon \Rightarrow \sigma_f^* > \int_{\varepsilon_i}^{\varepsilon_f} C\varepsilon^n d\varepsilon \Rightarrow C\varepsilon_f^n > C \left(\frac{\varepsilon_f^{n+1} - \varepsilon_i^{n+1}}{n+1} \right) \Rightarrow \dots \\ \dots &\Rightarrow \boxed{n+1 > \frac{\varepsilon_f^{n+1} - \varepsilon_i^{n+1}}{\varepsilon_f^n}} \quad (3) \end{aligned}$$

donde σ_f^* es la tensión que hace referencia a la carga final entre el área inicial y donde se demuestra en (3) la ecuación de partida.

2ª forma.

Otra forma más elaborada de llegar a este resultado sería como se va a comentar a continuación.

La capacidad deformadora del trefilado viene limitada por la rotura del alambre producido (a la salida de la hilera) ya que es el agente del accionamiento del proceso. Ello se expresa en el límite mediante la igualdad:

$$\sigma_{zf} = Y \Big|_{\varepsilon_f} \quad (4)$$

donde:

σ_{zf} es la tensión de accionamiento o tensión de salida de la matriz.

$Y \Big|_{\varepsilon_f}$ es la tensión unidireccional de fluencia para el estado de deformación ε_f .

La expresión de la fuerza de trefilado F en la hipótesis de deformación homogénea sin rozamiento es:

$$F = A_f \sigma_{zf} = A_f Y' \ln \left(\frac{1}{1-r} \right) = A_f Y' \varepsilon \Big|_i^f = A_f Y' (\varepsilon_f - \varepsilon_i) \quad (5)$$

donde:

A_f es el área de la sección de salida de la hilera de trefilado.

r es la reducción de sección en el trefilado.

Y' es la media integral de la tensión unidireccional de fluencia entre los niveles de deformación ε_i y ε_f .

La condición límite se obtiene igualando (4) y (5). No obstante, no deberá rebasarse dicha condición límite, por lo cual:

$$Y|\varepsilon_f > Y'(\varepsilon_f - \varepsilon_i) \quad (6)$$

Desarrollando:

$$C\varepsilon_f^n > \int_{\varepsilon_i}^{\varepsilon_f} C\varepsilon^n d\varepsilon = \frac{C}{n+1} [\varepsilon^{n+1}]_{\varepsilon_i}^{\varepsilon_f} \Rightarrow \varepsilon_f^n > \frac{\varepsilon_f^{n+1} - \varepsilon_i^{n+1}}{n+1} \Rightarrow \dots$$

$$\dots \Rightarrow \boxed{n+1 > \frac{\varepsilon_f^{n+1} - \varepsilon_i^{n+1}}{\varepsilon_f^n}} \quad (7)$$

De cualquiera de las dos formas se demuestra la condición límite de estirado para los materiales cuyo comportamiento plástico queda definido por la ec. (2).

b)

Si se considera $\varepsilon_i = 0$, de la expresión anterior, tenemos:

$$\varepsilon_f < n+1 \quad (8)$$

y como:

$$n = 0,17 \Rightarrow \varepsilon_f < 1,17$$

la deformación máxima se da en el límite de la desigualdad anterior:

$$\boxed{\varepsilon_{f_{\max}} = 1,17} \quad (9)$$

c)

Por una parte se tiene:

$$\ln\left(\frac{1}{1-r}\right) = \varepsilon_f - \varepsilon_i \quad (10)$$

Por otra:

$$r = \frac{d_i^2 - d_f^2}{d_i^2} \quad (11)$$

Introduciendo (10) en (11) queda:

$$\ln\left[\frac{1}{1 - \left(\frac{d_i^2 - d_f^2}{d_i^2}\right)}\right] = \Delta\varepsilon \Rightarrow \ln\left[\frac{d_i^2}{d_f^2}\right] = \Delta\varepsilon \Rightarrow \frac{d_i^2}{d_f^2} = e^{\Delta\varepsilon} \Rightarrow \frac{d_i}{d_f} = e^{\frac{\Delta\varepsilon}{2}} \Leftrightarrow \frac{d_f}{d_i} = e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{2}} \Rightarrow \dots$$

$$d_f = d_i e^{\frac{\Delta \varepsilon}{2}} \quad (12)$$

d)

Para hallar d_f , consideramos los datos en la ec. (12), resultando:

$$d_f = 6 \cdot e^{\frac{1,17}{2}} \Rightarrow d_f = 3,343 \text{ mm} \Rightarrow \boxed{d_f \approx 3,3 \text{ mm}}$$

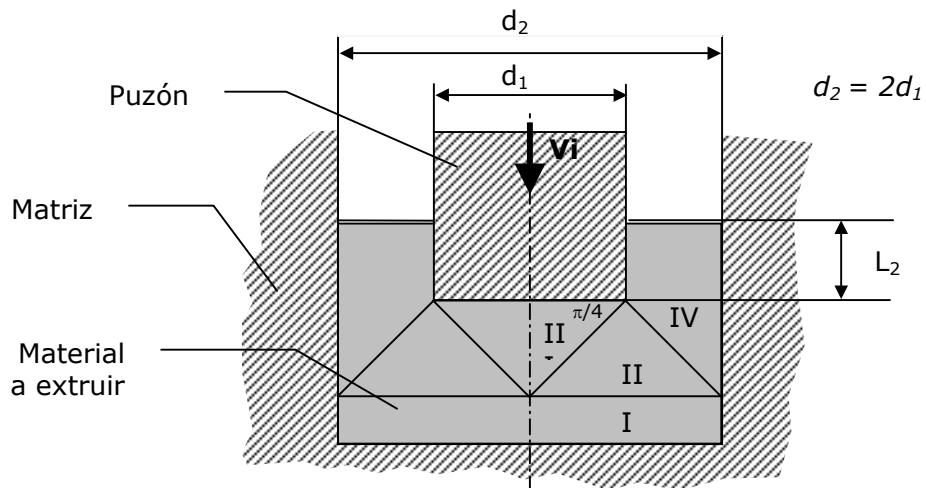
Para calcular la reducción R en tanto por ciento, se hace:

$$\ln\left(\frac{1}{1-r}\right) = \varepsilon_f - \cancel{\varepsilon_i} \Rightarrow \frac{1}{1-r} = e^{\varepsilon_f} \Rightarrow \dots \Rightarrow r = 1 - e^{-\varepsilon_f} \Rightarrow r = 1 - e^{-1,17} \Rightarrow r = 0,690 \Rightarrow \boxed{R = 69,0 \%}$$

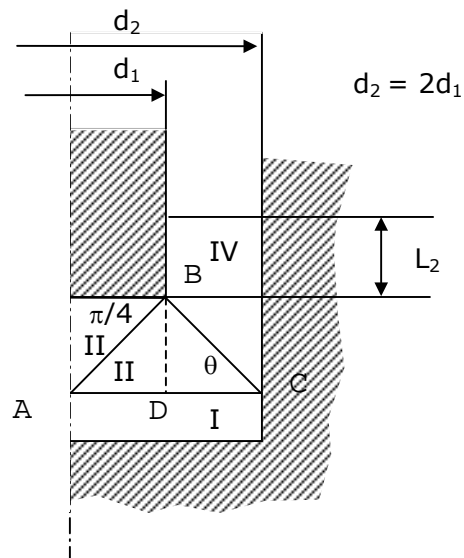
(2º) EJERCICIO DE EXTRUSIÓN INVERSA.

Se pretende realizar la extrusión inversa bajo hipótesis de deformación plana. El orden de magnitud de la presión de extrusión se va a estimar mediante el Teorema del Límite Superior para lo que se va a utilizar el diagrama de bloques rígidos representados en la figura. Suponiendo rozamiento de semiadherencia se pide:

- Hodógrafo de velocidades.
- Evaluación de $P_{ext}/2k$ en función de d_1 , d_2 , L_2 .
- Aplicación a $d_1=10$ mm, $L_2=8$ mm y $m=0,16$.

**SOLUCIÓN.**

- Hodógrafo de velocidades



Observando el dibujo se pueden establecer las siguientes relaciones trigonométricas:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\overline{BD}}{\overline{DC}}$$

$$\overline{BD} = \overline{AD} = \frac{d_1}{2}$$

$$\overline{AB} = \sqrt{\overline{AD}^2 + \overline{BD}^2} = \frac{d_1}{\sqrt{2}}$$

$$\overline{BC} = \frac{d_2 - d_1}{2 \cos \theta} = \frac{0,5 \cdot d_1}{\cos \theta}$$

$$\overline{DC} = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{2d_1 - d_1}{2} = \frac{d_1}{2}$$

$$\overline{AC} = \frac{d_2}{2}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{d_1/2}{d_1/2} = 1 \Rightarrow \theta = 45^\circ$$

- El bloque I no se moverá porque se supone que el material es incomprensible.
- El bloque II experimentará un movimiento horizontal hacia la derecha, moviéndose sobre el bloque I que permanece inmóvil.
- El bloque III se desplazará hacia abajo al ser empujado por el punzón.
- El bloque IV se desplazará hacia arriba porque a su derecha se encuentra la matriz que es indeformable.

Suponiendo que el punzón se mueve a velocidad constante V , para la hodógrafa de velocidades se tendrá el siguiente esquema.

$$V_I = 0$$

$$V_{III} = V$$

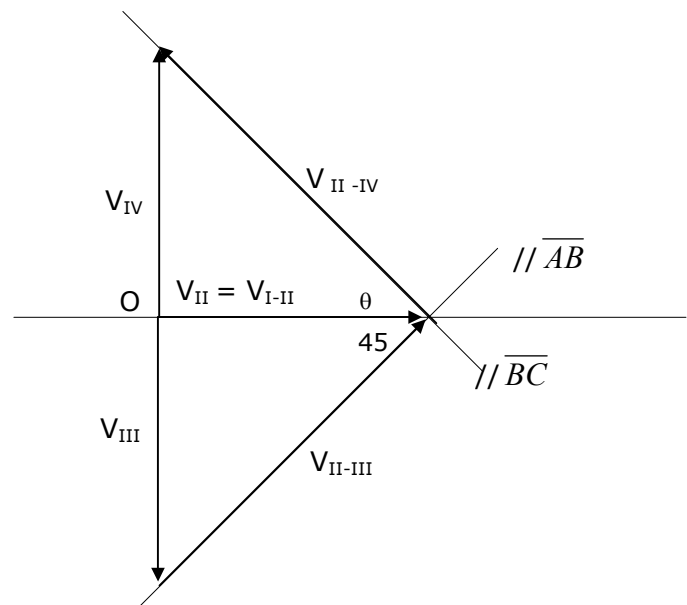
$$V_{II} = \frac{V_{III}}{\operatorname{tg} 45} = V$$

$$V_{IV} = V_{II} \operatorname{tg} \theta = V \operatorname{tg} 45 = V$$

$$V_{I-II} = V_{II} = V$$

$$V_{II-III} = V\sqrt{2}$$

$$V_{II-IV} = \frac{V_{II}}{\cos \theta} = \frac{V}{\cos 45} = V\sqrt{2}$$



b) Evaluación de la $P_{ext} / 2k$ en función de d_1 , d_2 y L_2 .

Por el Teorema del Límite Superior, se tiene:

$$\dot{W} \leq 2k \int_{vol} \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\varepsilon}_{ij} \varepsilon_{ij}^*} dvol + \int_{S_D^*} \tau(\Delta v^*) da - \int_{S_T} T_i v_i^* da$$

Donde el primer término del segundo miembro es nulo por tratarse de un modelo de bloques rígidos y el tercero también lo es porque los esfuerzos externos que actúan son cero.

Quedará:

$$\begin{aligned} \dot{W} &\leq 2k \int_{S_D^*} |\Delta v^*| da = 2k \left[|V_{I-II}| \overline{AC}w + |V_{II-III}| \overline{AB}w + |V_{II-IV}| \overline{BC}w + m |V_{IV} + V_{III}| L_2 w \right] = \\ &= 2kw \left[\left(V + \sqrt{2} \cdot V \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + \sqrt{2} \cdot V \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cdot d_1 + m \cdot 2 \cdot V \cdot L_2 \right] \end{aligned}$$

$$\dot{W} = FV = P_{ext} SV = P_{ext} d_1 wV$$

$$P_{ext} d_1 wV \leq 2kwV [3 \cdot d_1 + 2 \cdot m \cdot L_2]$$

$$\boxed{\frac{P_{ext}}{2k} \leq 3 + \frac{2mL_2}{d_1}}$$

c) Aplicación a $d_1 = 10$ mm, $L_2 = 8$ mm y $m = 0,16$:

$$\boxed{\frac{P_{ext}}{2k} \leq 3,26}$$

(3º) EJERCICIO DE CEPILLADO.

Se pretende planear la superficie superior de una pieza paralelepípeda de 2000 mm de longitud, 300 mm de ancho y 250 mm de alto en una máquina-herramienta cepilladora mediante una única pasada. El proceso de cepillado tiene lugar a una velocidad de corte aproximadamente constante de valor 13,7 m/min y a una velocidad de retroceso también constante de 22 m/min. El material a mecanizar es acero al carbono, la profundidad de pasada es de 4,5 mm y el avance de 0,35 mm. Si la carrera complementaria de entrada es de 120 mm y la de salida de 85 mm y los tiempos de inversión son de 2,2 s, se pide calcular:

- El tiempo necesario para el mecanizado de la pieza.
- La potencia de cepillado si la presión de corte del material en las condiciones del proceso es de 1.850 Mpa.

SOLUCIÓN.

(a)

Longitud de una carrera l_c :

$$l_c = l_e + L + l_s \Rightarrow l_c = 120 + 2000 + 85 \Rightarrow l_c = 2.205 \text{ mm} \Rightarrow l_c = 2,205 \text{ m}$$

Tiempo empleado en la doble carrera:

$$t_{dc} = \frac{l_c}{v_c} + \frac{l_c}{v_r} + \frac{2t_i}{60} \Rightarrow t_{dc} = \frac{2,205}{13,7} + \frac{2,205}{22} + \frac{2 \cdot 2,2}{60} \Rightarrow t_{dc} = 0,342 \text{ min} \Rightarrow t_{dc} = 20,54 \text{ s}$$

Número dobles carreras necesarias para el planificado de la superficie de la pieza:

$$N = \frac{An}{a} \Rightarrow N = \frac{300}{0,35} \Rightarrow N = 857,14 \Rightarrow N = 858 \text{ dobles carreras (nº entero mayor)}$$

Tiempo total de mecanizado:

$$t_m = N \cdot t_{dc} \Rightarrow t_m = 858 \cdot 20,54 \text{ s} \Rightarrow t_m = 17.623 \text{ s} \Rightarrow t_m = 293,72 \text{ min} \Rightarrow t_m = 4,895 \text{ horas}$$

$$\boxed{t_m = 4 \text{ h } 53' 43''}$$

(b)

Llamando z' al volumen de material eliminado por unidad de tiempo:

$$z' = p \cdot a \cdot V$$

donde: p = profundidad, a = avance, V = volumen.Expresión de la potencia P del mecanizado en función de la presión de corte p_c :

$$P = p_c \cdot z' = p_c \cdot p \cdot a \cdot V \Rightarrow P = 1.850 \cdot 10^6 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot (2,0 \cdot 0,3 \cdot 0,25) \Rightarrow \boxed{P = 437,062 \text{ W}}$$

(4º) EJERCICIO DE LAMINADO.

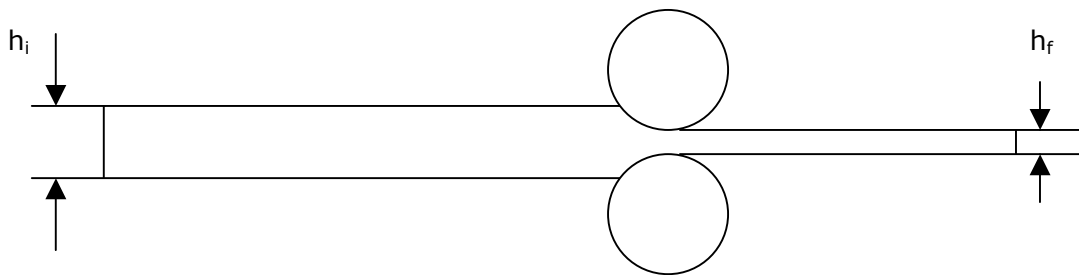
Mediante un proceso de laminación se pretende reducir el espesor de una chapa de acero recodido de 1.850 mm de ancho y 3,5 mm de espesor. Si los cilindros empleados tienen un diámetro de 350 mm se pide:

- Calcular la carga en los cilindros para reducir el espesor de la chapa a 3 mm.
- Calcular la carga en los cilindros si la reducción es un 50 % mayor que la del caso anterior.

El comportamiento del material viene dado por:

$$S(\text{daN/mm}^2) = 38\varepsilon + 42$$

NOTA: Especificar todas las hipótesis y simplificaciones efectuadas.



Proceso de reducción de espesor tras el laminado.

SOLUCIÓN.

Ecuaciones a emplear.

La carga P necesaria para la compresión sin rozamiento de la chapa desde un espesor inicial h_i hasta un espesor final h_f (donde naturalmente $h_i > h_f$), se irá incrementando a medida que la compresión avance. El valor final de la carga P será el producto del área final A_f y la tensión de fluencia Y_f para la deformación ε_f que corresponde a $\ln\left(\frac{h_i}{h_f}\right)$.

Las cargas aumentarán con el rozamiento y con buena lubricación, obviamente, serán menores.

Se tomará una tensión de fluencia media \bar{Y} , que puede tratarse mediante la ecuación:

$$P = A \cdot \bar{Y} = L \cdot w \cdot \bar{Y} \quad (13)$$

donde:

L es la semilongitud de chapa que deforman los cilindros en el avance del laminado.

w es el ancho de la chapa.

A es el área limitada por L y w .

Llamando R al radio de cada cilindro y Δh a la altura del laminado saliente, se puede expresar:

$$L^2 = R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2} \right)^2 \quad (14)$$

pero como:

$$R \gg \Delta h \quad (15)$$

Considerando las dos últimas ecuaciones se puede poner:

$$L = \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (16)$$

Llevando (18) a la ec. (15), resulta:

$$P = w \cdot \bar{Y} \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (17)$$

En el laminado en frío (en banda ancha) se aproxima a una deformación plana con $\varepsilon_3 = 0$ y se usa la tensión de fluencia en deformación plana S .

Además, considerando un 20 % más para el rozamiento que incrementará S , resulta:

$$P = 1,2 \cdot S \cdot w \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \quad (18)$$

$$S = 38\varepsilon + 42 \quad (19)$$

a) Reducción a $h_f = 3$ mm .

$$\varepsilon_{01} = \ln \left(\frac{h_i}{h_f} \right) = \ln \left(\frac{3,5}{3} \right) \Rightarrow \varepsilon_{01} = 0,15 \begin{cases} \varepsilon_0 = 0 \\ \varepsilon_1 = \varepsilon_0 + \varepsilon_{01} = 0,15 \end{cases}$$

$$S_1^* = \frac{(42 + 0) + (42 + 38 \cdot 0,15)}{2} \Rightarrow S_1^* = 44,93 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

donde S_1^* es la tensión de fluencia media en la deformación plana.

Llevando a la ec. 20, los datos enunciados junto con la tensión de fluencia media calculada anteriormente, queda:

$$P_1 = 1,2 \cdot S_1^* \cdot w \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \Rightarrow P_1 = 1,2 \cdot 44,93 \cdot 1.850 \cdot \sqrt{175 \cdot (3,5 - 3)} \Rightarrow \boxed{P_1 = 933 \cdot 10^3 \text{ daN}}$$

b) Reducción a $h'_f = 1,5$ mm (50 % mayor) .

$$\varepsilon'_{01} = \ln\left(\frac{h_i}{h'_f}\right) = \ln\left(\frac{3,5}{1,5}\right) \Rightarrow \varepsilon'_{01} = 0,85 \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon'_0 = 0 \\ \varepsilon'_1 = \varepsilon'_0 + \varepsilon'_{01} = 0,85 \end{array} \right.$$

$$S_1^* = \frac{(42+0) + (42+38 \cdot 0,85)}{2} \Rightarrow S_1^* = 58,10 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$P'_1 = 1,2 \cdot S_1^* \cdot w \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h'} \Rightarrow P'_1 = 1,2 \cdot 58,10 \cdot 1.850 \cdot \sqrt{175 \cdot (3,5 - 1,5)} \Rightarrow \boxed{P'_1 = 2.413 \cdot 10^3 \text{ daN}}$$

La carga en este caso es $\frac{P'_1}{P_1} \approx 2,59$ veces mayor.

Aunque esto no lo pide el problema, vamos a comparar la carga P'_1 de reducir el espesor de $h_i = 3,5$ mm a $h'_f = 1,5$ mm con la que se obtendría si la reducción se hiciese en dos pasadas: la primera de 3,5 a 3 mm y la segunda de 3 a 1,5 mm.

Los cálculos para la primera pasada son los del apartado a): $\boxed{P_1 = 933 \cdot 10^3 \text{ daN}}$

En la segunda pasada, tenemos:

$$\varepsilon_{12} = \ln\left(\frac{h_f}{h'_f}\right) = \ln\left(\frac{3}{1,5}\right) \Rightarrow \varepsilon_{12} = 0,69 \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = 0,15 \\ \varepsilon_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_{12} = 0,15 + 0,69 = 0,84 \end{array} \right.$$

$$S_2^* = \frac{(42+38 \cdot 0,15) + (42+38 \cdot 0,84)}{2} \Rightarrow S_2^* = 60,81 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

$$P_2 = 1,2 \cdot S_2^* \cdot w \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h'} \Rightarrow P_2 = 1,2 \cdot 60,81 \cdot 1.850 \cdot \sqrt{175 \cdot (3 - 1,5)} \Rightarrow \boxed{P_2 = 2.187 \cdot 10^3 \text{ daN}}$$

La carga total P_{12} será: $P_{12} = P_1 + P_2 \Rightarrow \boxed{P_{12} = 3.120 \cdot 10^3 \text{ daN}}$,

que representa un 29 % más de carga con respecto a la reducción en una pasada.

De todas formas, la reducción en dos pasadas no se ha equilibrado en cuanto a los diámetros intermedios. Si consideramos las reducciones de pasadas *equilibradas*: la primera de 3,5 a 2,5 mm y la segunda de 2,5 a 1,5 mm, es decir, reduciendo cada vez 1 mm, resultaría, siguiendo los cálculos análogos, lo siguiente:

En la primera pasada: $P''_1 = 1.423 \cdot 10^3$ daN, mientras que en la segunda:

$$P''_2 = 1.897 \cdot 10^3 \text{ daN} , \text{ lo que da lugar a que la carga total } P''_{12} \text{ sea: } \boxed{P''_{12} = 3.320 \cdot 10^3 \text{ daN}}$$

que resulta un 37,5 % más de carga comparando con la técnica de una sola pasada y que es un resultado todavía peor al anterior.

En resumen, la menor carga en cilindros se da cuando se efectúa una sola pasada, y entre las dos pasadas, cuando la primera pasada es de menor profundidad.

(5º) EJERCICIO DE FÓRMULA DE TAYLOR.

Determinar los parámetros n y K de la fórmula de Taylor, para una herramienta de acero rápido sabiendo que su vida, cuando trabaja en unas determinadas condiciones, es de 1.500 s, si su velocidad de corte es de 0,8 m/s y de 300 s para una velocidad de corte de 0,95 m/s.

SOLUCIÓN.

La fórmula de Taylor es:

$$V \cdot T^n = K \quad (20)$$

Habría que convertir los datos del problema: el tiempo T a minutos y la velocidad V a metros/minuto.

$$T_1 = 1500 \text{ s} = 25 \text{ min}$$

$$T_2 = 300 \text{ s} = 5 \text{ min}$$

$$V_1 = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 48 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$V_2 = 0,95 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 57 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Es factible formar un sistema de ecuaciones con la ecuación de Taylor:

$$\text{Sabiendo que } K \text{ es siempre la misma: } \begin{cases} V_1 \cdot T_1^n = K \\ V_2 \cdot T_2^n = K \end{cases}$$

$$\text{Tomando logaritmos al sistema anterior: } \begin{cases} \log V_1 + n \cdot \log T_1 = \log K \\ \log V_2 + n \cdot \log T_2 = \log K \end{cases}$$

Y observando que el segundo miembro de ambas ecuaciones es el mismo, podemos restar los primeros miembros, resultando cero:

$$\log V_1 - \log V_2 + n \cdot (\log T_1 - \log T_2) = 0$$

De la ecuación anterior es posible despejar n :

$$n = \frac{\log\left(\frac{V_2}{V_1}\right)}{\log\left(\frac{T_1}{T_2}\right)} = \frac{\log\left(\frac{57}{48}\right)}{\log\left(\frac{25}{5}\right)} \Rightarrow \boxed{n = 0,107}$$

Entrando en la ec. (29) con el valor de n hallado, por ejemplo con los valores V_2 y T_2 se tiene:

$$K = 57 \cdot 5^{0,107} \Rightarrow \boxed{K = 67,712}$$

(6º) EJERCICIO DE TIEMPO DE MECANIZADO.

Calcular el tiempo de mecanizado de una operación de cepillado en la que se desea rebajar 6,5 mm. en una pieza de 700 mm. de ancho y de 2.800 mm de longitud.

Las condiciones de corte que se van a emplear son:

Desbastado	Afinado
$p = 3 \text{ mm}$	$p = 0,4 \text{ mm}$
$V_A = 20 \text{ m/min (0,33 m/s)}$	$V_A = 26 \text{ m/min (0,33 m/s)}$
$V_R = 33 \text{ m/min (0,55 m/s)}$	$V_R = 35 \text{ m/min (0,58 m/s)}$
$a = 3 \text{ mm/dc}$	$a = 4 \text{ mm/dc}$

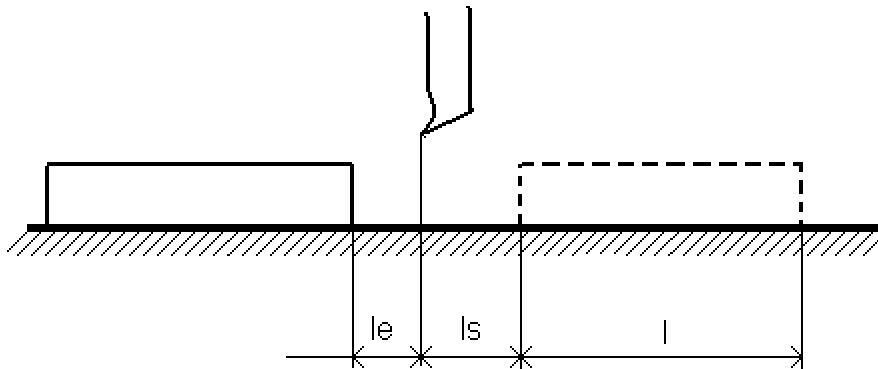
El mecanizado se va a realizar en tres pasadas, con las siguientes profundidades:

Pasada 1: De desbaste	$p_1 = 3 \text{ mm.}$
Pasada 2: De desbaste	$p_2 = 3 \text{ mm.}$
Pasada 3: De afinado	$p_3 = 0,4 \text{ mm.}$
Total pasadas:	6,4 mm

Supóngase que la carrera complementaria de entrada es de 150 mm. y la de salida de 100 mm y que los anchos complementarios de avance y de salida son ambos de 4 mm.

SOLUCIÓN.

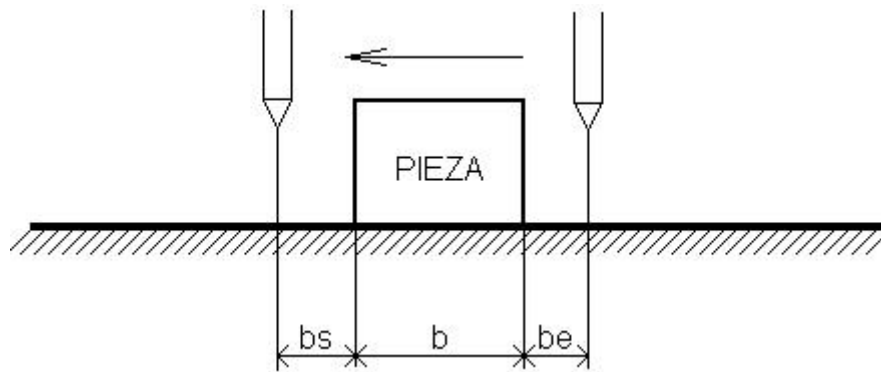
La longitud de la carrera debe ser mayor que la longitud de la pieza para que el contacto entre pieza y herramienta se efectúe con una velocidad distinta de cero.



$$L = l + l_e + l_s = 2.800 + 150 + 100 \Rightarrow L = 3.050 \text{ mm}$$

En el avance sucede lo mismo con la anchura:

$$B = b + b_e + b_s = 700 + 4 + 4 \Rightarrow B = 708 \text{ mm}$$



El avance es, para el desbaste, 3 mm/doble carrera, mientras que para el afinado, 4 mm/doble carrera, por lo que:

$$\text{Desbaste: } d.c. = \frac{B}{a_D} = \frac{708}{3} \Rightarrow d.c. = 236$$

$$\text{Afinado: } d.c. = \frac{B}{a_D} = \frac{708}{4} \Rightarrow d.c. = 177$$

En las pasadas de desbaste tenemos las mismas condiciones, por lo que los tiempos empleados serán iguales.

Desbaste:

$$t_D^* = \frac{L}{(V_A)_D} + \frac{L}{(V_R)_D} = \frac{3.050 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1.000 \text{ mm}}}{20 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} + \frac{3.050 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1.000 \text{ mm}}}{33 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \Rightarrow t_D^* = 14,70 \text{ s}$$

El tiempo t_D^* hallado es el de una doble carrera. Multiplicando por el nº de d.c., hallamos el tiempo t_D para un desbaste:

$$t_D = t_D^* \cdot (d.c.)_D \Rightarrow t_D = 236 \cdot 14,7 \Rightarrow t_D = 3.468 \text{ s}$$

Como ya se ha referido, los dos desbastes son iguales, luego:

$$t_D = t_1 = t_2, \text{ quedando: } t_1 = t_2 = 3.468 \text{ s}$$

Afinado:

$$t_A^* = \frac{L}{(V_A)_A} + \frac{L}{(V_R)_A} = \frac{3.050 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1.000 \text{ mm}}}{26 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} + \frac{3.050 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1.000 \text{ mm}}}{35 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} \Rightarrow t_A^* = 12,27 \text{ s}$$

Entonces el tiempo total para el afinado, será:

$$t_3 = t_A^* \cdot (d.c.)_A \Rightarrow t_3 = 177 \cdot 12,27 \Rightarrow t = 2.172 \text{ s}$$

Finalmente, el tiempo total de mecanizado de la pieza es:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 = 3.468 + 3.468 + 2.172 \Rightarrow T = 9.108 \text{ s} \Rightarrow \boxed{T \approx 2 \text{ h } 31 \text{ min } 48 \text{ s}}$$

(7º) EJERCICIO DE VIDA DE HERRAMIENTA.

Con la intención de determinar la vida de una herramienta se ha realizado un ensayo para el que se han empleado dos velocidades distintas, 50 m/min y 120 m/min, pero manteniendo invariables el resto de parámetros. Para cada uno de los casos, se ha ido tomando el valor que presentaba el ancho de la franja de desgaste, VB, a intervalos de 5 minutos, obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tiempo t (min)	VB ₅₀ (mm)	VB ₁₂₀ (mm)
0	0	0
5	0,235	0,405
10	0,365	0,585
15	0,495	0,765
20	0,625	0,945
25	0,750	1,125

Si se asume como criterio de inutilidad un valor de VB=0,670 mm, calcule la vida de la herramienta cuando se trabaja en condiciones semejantes a las del ensayo pero con una velocidad de corte de 75 m/min.

SOLUCIÓN.

Al tratarse de un ensayo en el que sólo se varía la velocidad de corte, se puede aplicar la ecuación de Taylor dada por:

$$VT^n = K \quad (21)$$

que expresada en logaritmos sería:

$$\log V + n \log T = \log K \quad (22)$$

Primeramente se determinará para cada velocidad, el tiempo de inutilidad con el criterio VB = 0,670 m en función del tiempo.

En primer lugar, es necesario comprobar que el valor de VB que nos dan se encuentra en la zona de crecimiento lineal de VB con T, para lo que basta inspeccionar los valores que se muestran en la tabla de datos. Se observa que entre $T \geq 5$ min y $T \leq 25$ min existen relaciones lineales por cada incremento de 5 minutos, por lo que podrán buscarse los valores T_{50} y T_{120} por interpolación lineal. Es necesario calcular las vidas de la herramienta para las velocidades ensayadas.

- T_{50} con VB = 0,670 mm.

Observando la tabla:

T (min)	VB ₅₀ (mm)
20	0,625
25	0,750

Su interpolación es:

$$\frac{T_{50} - 20}{25 - 20} = \frac{0,670 - 0,625}{0,750 - 0,625} \Rightarrow T_{50} = 21,8 \text{ min} = 21 \text{ min } 48 \text{ s}$$

- T_{120} con $VB = 0,670$ mm.

Observando la tabla:

T (min)	VB_{40} (mm)
10	0,585
15	0,765

Su interpolación es:

$$\frac{T_{120} - 10}{15 - 10} = \frac{0,670 - 0,585}{0,765 - 0,585} \Rightarrow T_{120} = 12,36 \text{ min} = 12 \text{ min } 21,4 \text{ s}$$

Entrando en la ec. de Taylor con los tiempos calculados y las velocidades del enunciado, tenemos:

$$50 \cdot 21,8^n = K$$

$$120 \cdot 12,36^n = K$$

Se igualan las dos ecuaciones, por ser K la misma constante. Al despejar parcialmente resulta:

$$\left(\frac{12,36}{21,8} \right)^n = \frac{50}{120} \quad \Rightarrow \quad n = 1,543$$

$$K = 50 \cdot 21,8^{1,543} = 5.811,71 \approx 5.812$$

Una vez calculadas las constantes se puede calcular la vida de la herramienta para la velocidad que nos dan, haciendo:

$$T^{1,543} = \frac{5812}{75} \quad \Rightarrow \quad T = 16,76 \text{ min} = 16 \text{ min } 45,5 \text{ s}$$

(8º) EJERCICIO DE TORNEADO.

Se dispone de un torno con las siguientes características:

- Gama de velocidades del torno (en r.p.m.): 2.000, 1.500, 750, 500, 250, 125 y 62.
- Potencia máxima: 8 kW.
- Rendimiento $\eta=0,95$.

En él se van a mecanizar piezas de acero al carbono con una herramienta de acero rápido. Concretamente, se van a cilindrar en desbaste preformas de 180 mm de longitud y 60 mm de diámetro hasta que el diámetro final sea de 55 mm. Teniendo en cuenta que la velocidad de corte recomendada por el fabricante de la herramienta es de 47,5 m/min para el proceso y el material elegidos y que la presión de corte del acero al carbono es $k_s=0,500 \cdot 10^6$ kN/m²:

- a) Determinar las condiciones de corte: velocidad de corte (V), avance (a) y profundidad de pasada (p), en condiciones de potencia máxima.
- b) Calcular el tiempo necesario para llevar a cabo el mecanizado.

SOLUCIÓN.

La velocidad recomendada es $v_r = 47,5 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ por lo que ajustaremos a ella la velocidad de rotación apropiada por la herramienta. Del rendimiento extraemos la potencia real extraída para el proceso:

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{máx}}} \Rightarrow P = 0,95 \cdot 8 \Rightarrow P = 7,6 \text{ kW}$$

La velocidad máxima $v_{\text{máx}}$ relacionada con la potencia máxima $P_{\text{máx}}$ será:

$$v_{\text{máx}} = \frac{\eta \cdot P_{\text{máx}}}{F_c} = \frac{\eta \cdot P_{\text{máx}}}{k_s \cdot a \cdot p}$$

donde: k_s = presión de corte, a = avance, p = profundidad de corte, F_c = fuerza de corte.

$$v_{\text{máx}} = V = \frac{P}{k_s \cdot a \cdot p}$$

Parece razonable asignar una pasada al proceso para el mecanizado de 5 mm, que es la diferencia entre el diámetro inicial D_i y el final D_f . Entonces, de la expresión del nº de pasadas n_p , despejamos la profundidad de pasada p :

$$n_p = \frac{D_i - D_f}{2p} \Rightarrow 1 = \frac{60 - 55}{2 \cdot p} \Rightarrow \boxed{p = 2,5 \text{ mm}}$$

De la ecuación que relaciona la velocidad máxima V , obtendremos el nº de revoluciones por minuto N ; se toma la velocidad recomendada v_r :

$$V = \omega \cdot r = \pi \cdot N \cdot D_i \Rightarrow N = \frac{v_r}{\pi \cdot D_i} = \frac{47,5}{\pi \cdot 0,060} \Rightarrow N = 251,995 \text{ rpm}$$

La velocidad de rotación más próxima por debajo sería:

$$N = 250 \text{ rpm}$$

Entonces la velocidad de corte pedida máxima para la única pasada, sería:

$$V_{1máx} = N\pi D \Rightarrow V_{1máx} = 250 \cdot \pi \cdot 0,060 \Rightarrow V_{1máx} = 47,124 \frac{\text{m}}{\text{min}} \Leftrightarrow V_{1máx} = 0,785 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Nada más queda calcular el avance:

$$a \left(\frac{\text{m}}{\text{rev}} \right) = \frac{P(\text{W})}{k_s \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \cdot V \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \cdot p(\text{m})} \Rightarrow a = \frac{7600}{0,5 \cdot 10^9 \cdot 0,785 \cdot 0,0025} \Rightarrow$$

$$a = 0,007741 \frac{\text{m}}{\text{rev}} \Leftrightarrow a = 7,741 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

Para un cilindrado de pasada única el tiempo de mecanizado es:

$$t_m \approx t_c = \frac{l}{V_a} = \frac{l}{a \cdot N} = \frac{l}{a \cdot \frac{w}{2\pi}} = \frac{l}{\frac{a}{\pi} \cdot \frac{V}{D_i}} = \frac{\pi D_i \cdot l}{a \cdot V} = \frac{S}{a \cdot V}$$

Podemos calcular t_m de dos maneras distintas, de acuerdo a la ecuación anterior:

$$1) t_m = \frac{l}{a \cdot N} \Rightarrow t_m = \frac{180 \text{ mm}}{7,741 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 250 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} \Rightarrow t_m = 0,093 \text{ min} \Leftrightarrow t_m = 5,58 \text{ s}$$

$$2) t_m = \frac{\pi D_i \cdot l}{a \cdot V} \Rightarrow t_m = \frac{\pi \cdot 60 \text{ mm} \cdot 180 \text{ mm}}{7,741 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 47,124 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}} \Rightarrow t_m = 0,093 \text{ min} \Leftrightarrow t_m = 5,58 \text{ s}$$

(9º) EJERCICIO DE CORTE ORTOGONAL.

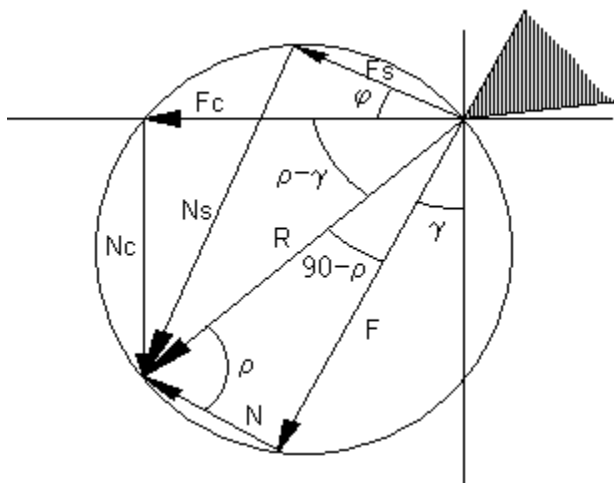
Determinar la fuerza ejercida sobre la herramienta y la potencia necesaria para realizar el corte octogonal de una aleación de aluminio cuyos parámetros son:

Ángulo de desprendimiento:	$\gamma = 25^\circ$
Espesor de la viruta no deformada:	$h_1 = 0,135 \text{ mm}$
Ancho de corte:	$b = 6 \text{ mm}$
Tensión dinámica de deslizamiento:	$\tau_s = 330 \text{ N/mm}^2$
Longitud de la viruta no deformada:	$l_1 = 150 \text{ mm}$
Longitud de la viruta:	$l_2 = 40 \text{ mm}$
Coefficiente aparente de rozamiento:	$\mu = 0,7$
Velocidad de corte:	$V = 40 \text{ m/min}$

SOLUCIÓN.

La fuerza ejercida sobre la herramienta es la fuerza resultante R . Necesitamos saber el valor de una de las componentes en que se puede descomponer la fuerza de corte y los ángulos que la relacionan con la fuerza resultante total.

Buscamos la componente F_c , ya que la potencia de corte la da $F_c \cdot V$.



Las ecuaciones derivadas de la figura son:

$$F_s = \tau_s \cdot \frac{b \cdot h_1}{\text{sen } \varphi} \quad (23)$$

$$R = \frac{F_s}{\text{cos}(\varphi + \rho - \gamma)} \quad (24)$$

$$F_c = R \cdot \text{cos}(\rho - \gamma) \quad (25)$$

$$F_c = \tau_s \cdot b \cdot h_1 \cdot \frac{\text{cos}(\rho - \gamma)}{\text{sen } \varphi \cdot \text{cos}(\varphi + \rho - \gamma)} \quad (26)$$

Si queremos hallar F_c , necesitamos conocer antes φ y ρ .

$$\tan \varphi = \frac{\text{cos } \gamma}{\xi - \text{sen } \gamma} \quad (27)$$

$$\xi = \frac{h_2}{h_1} = \frac{l_2}{l_1} \quad (28)$$

$$\rho = \arctan \mu \quad (29)$$

Entonces, comenzamos los cálculos.

$$\text{Aplicando (28): } \xi = \frac{150}{40} \Rightarrow \xi = 3,75$$

$$\text{Aplicando (27): } \tan \varphi = \frac{\cos 25^\circ}{3,75 - \sin 25^\circ} = 0,2724 \Rightarrow \varphi = \tan^{-1}(0,2724) \Rightarrow \varphi = 15,24^\circ$$

$$\text{Aplicando (29): } \rho = \tan^{-1} 0,7 \Rightarrow \rho = 34,99^\circ$$

Obtenemos la fuerza de corte despejando en (26):

$$F_c = 330 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 6 \text{ mm} \cdot 0,135 \text{ mm} \cdot \frac{\cos[(34,99 - 25)^\circ]}{\sin(15,24^\circ) \cdot \cos[(15,24 + 34,99 - 25)^\circ]} \Rightarrow F_c = 1.107,30 \text{ N}$$

Entonces la fuerza ejercida por la herramienta (fuerza resultante R) se obtiene de (25):

$$R = \frac{F_c}{\cos(\rho - \gamma)} = \frac{1.107,30 \text{ N}}{\cos[(34,99 - 25)^\circ]} \Rightarrow \boxed{R = 1.124,35 \text{ N}}$$

La potencia P necesaria para efectuar el corte será:

$$P = F_c \cdot V \Rightarrow P = 1.107,30 \text{ N} \cdot 40 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \Rightarrow \boxed{P = 738,20 \text{ W}}$$

(10º) EJERCICIO DE MECANIZADO.

En un ensayo de mecanizado sobre acero inoxidable de características:

$$\sigma_r = 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \varepsilon_r = 0,21, C = 82^\circ,$$

se ha efectuado una operación con:

$$A_0 = 0,4 \text{ mm}^2, h_1 = 0,15 \text{ mm}, h_2 = 0,45 \text{ mm}, \alpha = 6^\circ, \gamma = 9^\circ, V = 150 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Determinar la potencia de corte P_c a partir del modelo de MERCHANT y compárese con el resultado de aplicar la fórmula de KRONENBERG para la presión específica de corte p_s .

Nota: úsese la expresión $\tau_s = 0,74 \cdot \sigma_r \cdot \gamma_s^{0,60 \cdot \varepsilon_r}$ para la tensión dinámica de deslizamiento.

SOLUCIÓN.

a) Según el modelo de Merchant.

La expresión de la tensión dinámica de deslizamiento, según los datos del problema es:

$$\tau_s = 0,74 \cdot \sigma_r \cdot \gamma_s^{0,60 \cdot \varepsilon_r} \quad (30)$$

donde: σ_r es la tensión de rotura, γ_s es el grado de deformación y ε_r es la deformación de rotura. Se debe tener en cuenta que:

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{R \cdot \cos(\varphi + \rho - \gamma)}{A_0 \cdot \frac{1}{\sin \varphi}}$$

donde: F_s es la proyección de la resultante según el plano de deslizamiento, A_s es la sección según el plano de deslizamiento, A_0 es la sección que corresponde a la viruta indeformada, R es la resultante de las fuerzas aplicadas por la herramienta, φ es el ángulo de deslizamiento, ρ es el ángulo de rozamiento y $\gamma = \gamma_{ue}$ es el ángulo de desprendimiento efectivo.

Además también se debe considerar:

$$F_c = R \cdot \cos(\rho - \gamma)$$

donde F_c es la fuerza que se obtiene al descomponer la resultante en la dirección de corte.

Al operar entre estas dos últimas ecuaciones es fácil hallar la fuerza de corte en función de la tensión dinámica de deslizamiento.

Antes que nada aclarar dos conceptos:

- 1) A pesar de que en la expresión (30) parece que la tensión dinámica de deslizamiento es variable, obsérvese que a través de los cálculos se llegará a un valor constante, por lo que se aplicará la Teoría de Ernst-Merchant (no modificada) donde se considera que τ_s es constante.
- 2) El fundamento de dicha teoría se basa en el establecimiento de la inclinación del plano de deslizamiento γ para que la potencia de corte sea mínima. Llamando a la fuerza de corte F_c :

$$F_c = \tau_s \cdot A_0 \cdot \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\operatorname{sen}\varphi \cdot \cos(\varphi + \rho - \gamma)} \quad (31)$$

y derivando respecto a γ para hallar el mínimo, se obtiene:

$$C = 2\varphi + \rho - \gamma = \frac{\pi}{2} \text{ rad} = 90^\circ$$

Dado que en el enunciado nos dan $C = 82^\circ < 90^\circ$ se tendría un caso para aplicar con la Teoría Modificada de Marchant. Esto en un principio parece decir que al aplicar la ec. (31) resolvemos el problema con una aproximación suponiendo que C no cumple la condición de potencia de corte mínima.

Calcularemos también la fuerza de corte, aplicando la ecuación para la Teoría modificada de Merchant, mediante:

$$F_c = \tau_s \cdot A_0 \cdot [\cotan\varphi + \tan(C - \varphi)] \quad (32)$$

y se compararán los resultados.

Retomemos el problema:

El grado de deformación de la viruta se calcula mediante:

$$\gamma_s = \tan(\varphi - \gamma) + \cotan\varphi \quad (33)$$

El factor de recalcado es:

$$\xi = \frac{h_2}{h_1} = \frac{0,45}{0,15} = 3, \quad (\xi > 1) \quad (34)$$

donde: h_2 es el espesor de la viruta real o deformada, mientras que h_1 es el espesor de la viruta teórica o indeformada.

Para hallar φ , se emplea:

$$\cotan\varphi = \frac{\xi - \operatorname{sen}\gamma}{\cos\gamma} = \frac{3 - 0,156}{0,988} = 2,879 \Rightarrow \varphi = 19,15^\circ \quad (35)$$

Sustituyendo en la ec. (33), queda:

$$\gamma_s = \tan(19,15 - 9) + \cotan 19,15 = 3,058 \quad (36)$$

Llevando el valor obtenido en (36) a la ec. (30), se tiene:

$$\tau_s = 0,74 \cdot 900 \cdot 3,058^{0,60 \cdot 0,21} = 766,725 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (37)$$

Necesitamos calcular ρ . Según Merchant, se tiene:

$$2\varphi + \rho - \gamma = C \Rightarrow \rho = C + \gamma - 2\varphi \Rightarrow \rho = 82 + 9 - 2 \cdot 19,15 = 52,7^\circ \quad (38)$$

También:

$$\rho - \gamma = 43,7^\circ \quad (39)$$

$$\varphi + \rho - \gamma = 62,85^\circ \quad (40)$$

La fuerza de corte según Merchant será:

$$F_c = 766,725 \cdot 0,4 \cdot \frac{\cos(43,7)}{\sin 19,15 \cdot \cos(62,85)} = 1.481,212 \Rightarrow F_c \approx 1.481 \text{ N} \quad (41)$$

Entonces la potencia de corte será:

$$P_c = F_c \cdot V = 1.481 \text{ N} \cdot 150 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 3.703,030 \Rightarrow \boxed{P_c \approx 3.703 \text{ W}} \quad (42)$$

Comparamos el resultado con la ec. (32) de la Teoría modificada de Merchant:

$$F_c = 766,725 \cdot 0,4 \cdot [\cotan 19,15 + \tan(82 - 19,15)] = 1.481,212 \Rightarrow F_c \approx 1.481 \text{ N} \quad (43)$$

Vemos que da igual de una forma u otra, por lo que la potencia de corte es la señalada en (42). Esto demuestra que, a pesar de que $C \neq 90^\circ$, la ec. (41) es aplicable.

(b) Según el modelo de Kronenberg.

Para el acero, la presión específica de corte se calcula mediante:

$$p_s \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] = 8,34 \cdot {}^{2,2}\sqrt{\sigma_r} \cdot {}^{1,5}\sqrt{90 - \alpha - \gamma} \quad (44)$$

Introduciendo σ_r en $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$, se obtiene p_s también en esas unidades.

$$p_s = 8,34 \cdot {}^{2,2}\sqrt{900} \cdot {}^{1,5}\sqrt{90 - 6 - 9} = 3.266,212 \Rightarrow p_s \approx 3.266 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (45)$$

La fuerza de corte depende de la presión específica y de la sección de la viruta indeformada, de acuerdo a la ecuación:

$$F_c [N] = p_s \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right] \cdot A_0 [\text{mm}^2]^{0,803} = 3.266 \cdot 0,4^{0,803} = 1.564,841 \Rightarrow F_c \approx 1.565 \text{ N} \quad (46)$$

Entonces, la potencia de corte será:

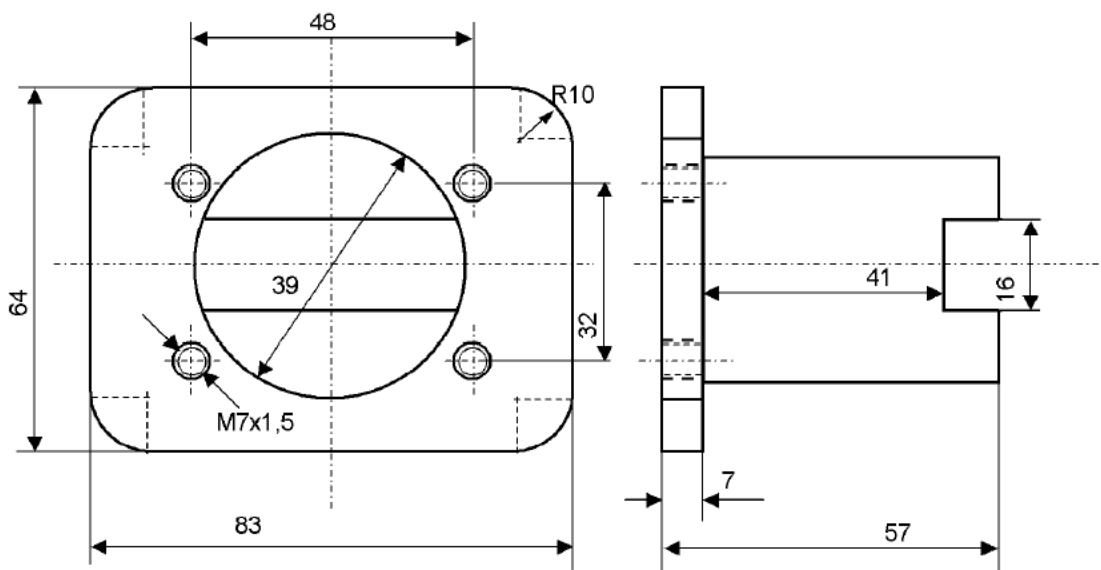
$$P_c = F_c \cdot V = 1.565 \text{ N} \cdot 150 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 3.912,104 \Rightarrow P_c \approx 3.912 \text{ W} \quad (47)$$

La potencia de corte resulta un 5,64 % superior empleando el modelo de Kronenberg respecto al modelo de Merchant.

(11º) EJERCICIO DE PROGRAMACIÓN CNC.

Se parte de una preforma de acero al carbono F-1140, de 85 mm de ancho, 66 mm de largo y 75 mm de alto, que es necesario mecanizar para obtener la pieza de la figura (cotas en mm; el croquis no ha sido dibujado a escala).

- 1.1. Defina los tipos de herramientas que utilizara en el mecanizado (asigne también a cada una de ellas un código para utilizarlo posteriormente en un programa CNC).
- 1.2. Señale detalladamente la secuencia de operaciones.
- 1.3. Realice un programa en lenguaje FAGOR 8025 que le permita obtener la pieza de la preforma dada.
- 1.4. Realice un croquis acotado de la pieza después de cada operación prevista que suponga una modificación en la geometría de la pieza.

**SOLUCIÓN.**

Antes que nada se determinan las dimensiones tanto de la preforma como de la pieza.

Dimensiones preforma y pieza.			
	PREFORMA	PIEZA	SOBRANTE TOTAL
Largo (X)	66	64	2
Ancho (Y)	85	83	2
Alto (Z)	75	57	18

1.1 TIPOS DE HERRAMIENTAS CON CÓDIGO.

OPERACIÓN	HERRAMIENTA	AVANCE F (mm/min)	GIRO CABEZAL S (m/min)	MISIÓN
Refrentado, Desbaste y Rebaje de anchura	T01 D1	200	200	Reduce los contornos de los planos X,Y,Z de la preforma
Torneado	T01 D1	300	200	Realiza el cilindrado de la pieza
Ranurado	T02 D2	120	100	Practica el ranurado eje Z
Taladrados Roscados	T03 D3 2x (M7x1.5)	150	120	Ciclo que realiza los 4 agujeros roscados
Redondeado de esquinas	T04 D4	150	300	Achaflanado de las esquinas
Tronzado	T05 D5	100	90	Realiza el corte posterior

Nota: el taladrado-roscado se hace simultáneamente con un ciclo fijo de mecanizado.

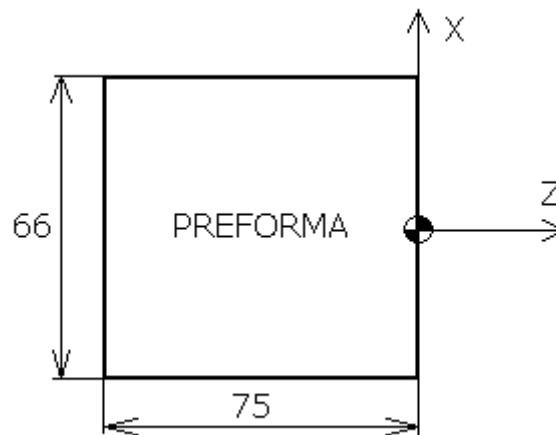
1.2 SECUENCIA DE OPERACIONES.

1. Refrentar 18 mm. la altura (Z) por la parte frontal de la preforma, según el plano XZ.
2. Rebajar la largura (X) 2 mm.
3. Tornear mediante cilindrado usando un ciclo fijo de tramos rectos.
4. Ranurar la sección frontal del cilindro, según Z.
5. Taladrar y roscar simultáneamente las 4 roscas M7x1.5, según un ciclo fijo.
6. Tronzar la parte rectangular posterior.
7. Girar la pieza 90° y cambiar de plano al XY.
8. Rebajar la anchura (Y) 2 mm.
9. Redondear las aristas.

1.3 PROGRAMA EN LENGUAJE FAGOR 8025.**1.4 CROQUIS ACOTADO DE LA PIEZA CUANDO HAYA MODIFICACIONES.**

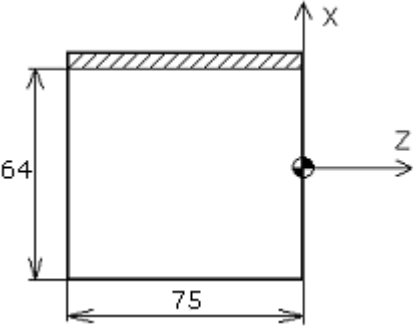
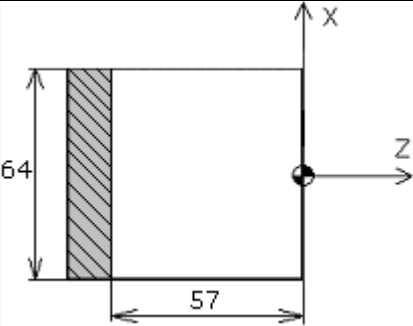
Para la realización de la pieza se necesita para algunas operaciones una fresadora. Supondremos que la máquina empleada es una fresadora, si bien algunos ciclos fijos son exclusivos de máquinas torneadoras.

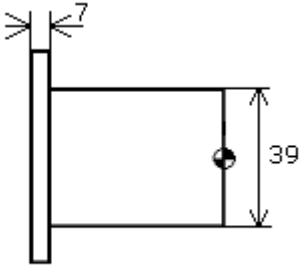
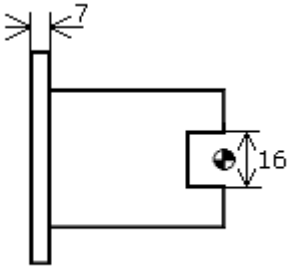
La preforma de partida, con los ejes y el origen pieza (o cero pieza), con las cotas es:

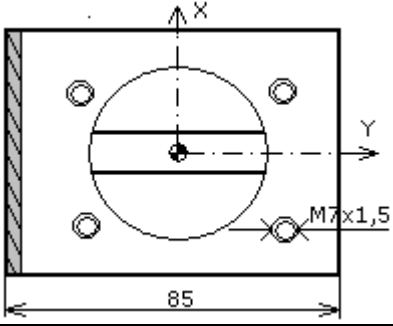


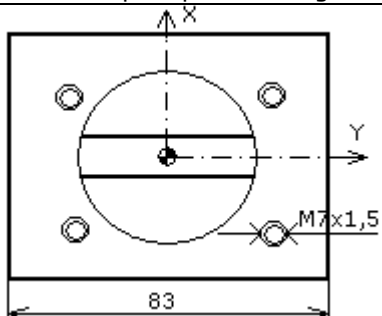
En el propio programa se irá poniendo el croquis con la acotación de la pieza cuando comience una operación que cambie la geometría.

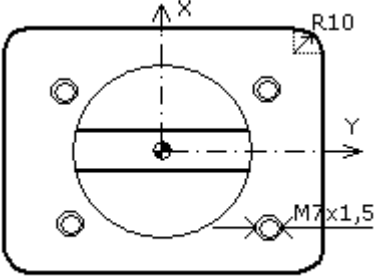
BLOQUE	OPERACIÓN	COMENTARIOS
-	%8025	Nombre programa
	(MSG " *DEFINIR CERO PIEZA* ") (ORGX54=0, ORGZ54=75)	Vector de decalaje: M->W
N10	G53 X0 Z75	Definición Origen Pieza
N20	G54	Traslado origen
N30	(SELECCIÓN FUNCIONES PREVIAS) G18 G71 G94 G90	Plano XZ: G18 Unidades en mm: G71 Avance en mm/min: G94 Programación cotas absolutas: G90

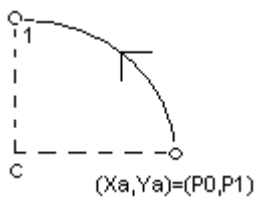
BLOQUE	OPERACIÓN	COMENTARIOS
	(MSG "*1.REFRENTADO PARTE FRONTAL DEL CILINDRO*")	
N100	G00 X100 Y0 Z100	Posicionamiento rápido alejado pieza antes cambio herramienta
N110	T01 D1	Selecciona herramienta nº 1
N120	M06 G96 S200 M03 M07	Activación herramienta: M06 (con la nomenclatura moderna, la instrucción T0x Dx selecciona y activa la herramienta, no siendo necesario M06, sobraría) Velocidad corte cte: G96 Giro cabezal(herram. nº1): S200 Rotac. cabezal a dchas.: M03 Activación refrigerante: M07
N130	G92 S3500	Limitación de velocidad: G92 por ser G96 cte para S máx.
N140	G00 X68 Z0	Acercamiento rápido 2 mm en cota X
N150	G01 X-1 F100	Velocidad F menor por ser acabado. No precisa compensación de herramienta (G42) por ser trayectoria paralela a eje.
	(MSG "*2. REBAJAR LARGURA*")	
N200	X64 Z5	No necesario poner G01 por ser modal; 5 mm más en eje Z para empezar
N210	Z-57	Rebaje hasta cota pieza
N220	X66	Salida mecanizado anterior hasta posición X segura
N230	G00 Z2	Avance rápido hasta Z=2 mm

BLOQUE	OPERACIÓN	COMENTARIOS
	(MSG " *3. TORNEADO CICLO FIJO TRAMOS RECTOS* ")	
N300	F300	Aumento de la velocidad de avance, misma herramienta
N310	G81 P0=K39 P1=K0 P2=K39 P3=K-50 P5=K1 P7=K0.8 P8=K0.8 P9=K150	Ciclo fijo de tramos rectos: (sería para torneadora). (P0,P1) = (Xa,Za) (P2,P3) = (Xb,Zb) P5=paso máx.:1 mm P7=demasia acabado X: 0.8 mm P8=demasia acabado Z: 0.8 mm P9=velocidad avance acabado: F=150 (menor velocidad)
	(MSG " *4. RANURADO SECCIÓN FRONTAL* ")	
N400	T02 D2	Selección y activación herramienta nº 2
N410	G96 S100 M03 M07 F120	Velocidad corte cte: G96 Giro cabezal (según herram. nº 2): S100 Rotac. cabezal a dchas.: M03 Activación refrigerante: M07 Velocidad F avance: F120
N420	G89 P0=K8 P1=K0 P2=K-8 P3=K9 P5=K1 P6=K1.2 P15=K0.8	Ciclo fijo de rasurado eje Z: (sería para torneadora). (P0,P1) = (Xa,Za) (P2,P3) = (Xb,Zb) P5=anchura cuchilla.:1 mm P6=distancia seguridad: 1.2 mm P15=temporización fondo: 0.8 s
N430	M09	Desactivación refrigerante: M09
N440	G00 X100 Z100	Avance rápido posición de seguridad

BLOQUE	OPERACIÓN	COMENTARIOS
	(MSG "*5. TALADRADO ROSCADO*")	
N500	T03 D3	Selección y activación herramienta nº 3
N505	G96 S120 M03 M07 F150	Velocidad corte cte: G96 Giro cabezal (según herra. nº 2): S120 Rotac. cabezal a dchas.: M03 Activación refrigerante: M07 Velocidad F avance: F150
N510	G00 X16 Y24 Z2	Acercamiento en rápido al plano de partida G98, 52 mm por encima del contacto: existe posibilidad de choque al hacer los otros taladros
N520	G84 G98 G00 X16 Y24 Z-50 I-9 K1.5 N1	Ciclo fijo de roscado con macho G84: G98: retrocede al plano de partida (Z=2 mm) (X,Y,Z)=(16,24,-50), posicionamiento herramienta plano de trabajo; desplazamiento eje perpendicular al plano principal en rápido I=profundidad de mecanizado (7+2 = 9 mm) K=Temporización (1.5 s) N=nº veces en repetir bloque (1) NOTA: G00 sobra pues el desplazamiento es en rápido aunque no se ponga desde plano partido hasta plano referencia
N530	G84 G98 G00 X16 Y-24 Z-50 I-9 K1.5 N1	Otro ciclo fijo de roscado: 2º taladro
N540	G84 G98 G00 X16 Y-24 Z-50 I-9 K1.5 N1	Otro ciclo fijo de roscado: 3º taladro
N550	G84 G98 G00 X-16 Y24 Z-50 I-9 K1.5 N1	Otro ciclo fijo de roscado: 4º taladro
N560	G80 G00 X100 Z100 M09	Anulación ciclo fijo: G80 Alejamiento en rápido desde plano de partida: (16,24,2) Desactivación refrigerante: M09
	(MSG "*6. TRONZADO PARTE RECTANGULAR*")	
N600	T05 D5	Selección y activación herramienta nº 5
N610	G96 S90 M03 M07	Velocidad corte cte: G96 Giro cabezal (según herra. nº 5): S90 Rotac. cabezal a dchas.: M03 Activación refrigerante: M07

BLOQUE	OPERACIÓN	COMENTARIOS
N620	G92 S2200	Limitación velocidad: G92 a S=2200 m/min por haber seleccionado G96, Vc=cte.
N630	G00 X67 Z-62	Acercamiento en rápido. La plaquita de tronchar tiene una anchura de 5 mm. (Z=-57-5=-62). Se sitúa 3 mm por encima en X.
N640	G01 F100 X-1	Practica tronzado a velocidad F100
N650	G00 X100 Z100 M09	Desplazamiento en rápido a lugar seguro. Desactivación refrigerante: M09
	(MSG " *7. GIRO DE LA PIEZA 90°* ")	
N700	M00 M05	Parada programada: M00 Parada rotación cabezal: M05
N710	G17	Selección plano principal XY
	(ORGX54=39, ORGY54=41.5)	Vector de decalaje: M->W
N720	G53 X39 Y41.5	Nueva definición Origen Pieza
N730	G54	Traslado origen: G5
N740	G00 X100 Z100	Traslado rápido posición segura
	(MSG " *8. REBAJAR ANCHURA* ")	
N800	T01 D1	Selección y activación herramienta nº 1
N810	G96 S200 M03 M07 F100	Velocidad corte cte: G96 Giro cabezal (según herram. nº 1): S200 Rotac. cabezal a dchas.: M03 Activación refrigerante: M07 Velocidad F avance: F100
N820	G92 S3500	Limitación velocidad: G92 a S=3500 m/min por haber seleccionado G96, Vc=cte.
N830	G00 X34 Y41.5 Z0	Desde que se giró la pieza la programación para X e Y será en radios (plano actual XY). Acercamiento en rápido G00, a punto inicio con X=+2 mm.
N840	G01 X-33 M06	Interpolación lineal G01 para rebajar la anchura
N850	G00 X100 Z100	Alejamiento en rápido G00 a zona segura.

BLOQUE	OPERACIÓN	COMENTARIOS
	(MSG " *9. REDONDEO ESQUINAS* ")	
N900	T04 D4	Selección y activación herramienta nº 4
N910	G00 X36 Y45	Acercamiento rápido G00 a 1ª esquina
N920	G96 S300 M04 M07	Velocidad corte cte: G96 Giro cabezal (según herramienta nº 4): S300 Rotac. cabezal a izqdas.: M04 Activación refrigerante: M07
N930	F150 G92 S4500	Velocidad F avance: F150 Limitación velocidad: G92 a S=4500 m/min por haber seleccionado G96, Vc=cte
N940	G66 P0=K22 P1=K41.5 P4=K20 P5=K5 P7=K1 P8=K1 P9=K100 P12=K40 P13=K9000 P14=K9200	Ciclo fijo seguimiento perfil: (sería para torneadora) (P0,P1) = (Xa,Za) -> no se programa en definición de perfil Sobrante material:P4 Espesor eliminado por pasada:P5 Demasía acabado eje X: P7 Demasía acabado eje Z: P8 Velocidad pasada de acabado: P9, hay acabado: P9>0 Mitad ángulo corte herra.: P12 Nº primer bloque perfil: P13 Nº último bloque perfil: P14
	(MSG " *FIN DEL PROGRAMA* ")	
N990	G00 X100 Y100 M05 M09	Alejamiento zona segura:G00 Parada rotación cabezal: M05 Desactivación refrigerante: M09
N999	M30	Fin del programa: M30

BLOQUE	OPERACIÓN	COMENTARIOS
	(MSG "*SUBPROGRAMA DEFINICIÓN PERFIL CICLO FIJO REDONDEO ARISTAS *")	
N9000	G42 G03 X32 Y31.5 R10 	Compensación radio a derechas: G42 Interpolación circular a izquierdas: G03 (coordenadas cartesianas programando el radio) Punto 1: (32, 31.5) Realiza esquina superior derecha
N9010	G41 G11	Compensación radio a izquierdas: G41 Imagen espejo en X: G11
N9020	G25 N9000.9000	Salto incondicional: G25, a línea 9000 para realizar esquina superior izquierda
N9030	G10 G42 G12	Anulación imagen espejo: G10 Compensación radio a derechas: G42 Imagen espejo en Y: G12
N9040	G25 N9000.9000	Salto incondicional: G25, a línea 9000 para realizar esquina inferior izquierda
N9050	G11 G12 G41	Imagen espejo en X: G11 Imagen espejo en Y: G12 Compensación radio a izquierdas: G41
N9060	G25 N9000.9000	Salto incondicional: G25, a línea 9000 para realizar esquina inferior derecha
	(MSG "*FINAL DEL CÓDIGO*")	

Nota: MSG indica al programa que muestre un mensaje de texto, según lenguajes Fagor modernos.

IngeMek - Ingenieros www.ingemek.es
José Manuel Gómez Vega

