

**U.T.N**

**REGIONAL HAEDO**

**Guía Ejercicios de Procesos Industriales  
Trabajos Prácticos 1 y 2  
ADICIONAL**

**ORDENANZA 1549 U.T.N. 9/2016.**

**Departamento: INGENIERIA INDUSTRIAL**

**Nivel: 4º CUARTO AÑO**

**Especialidad: INDUSTRIAL**

**AÑO 2024**

**Equipo Docente:**

**Ing. SUCHOWIERCHA JOSE HECTOR (Director de Cátedra)**

**Ing. Carlos José Díaz (Jefe de Trabajos Prácticos)**

## UNIDAD 1: MECANIZADO DE METALES

### 1. Vida de las herramientas

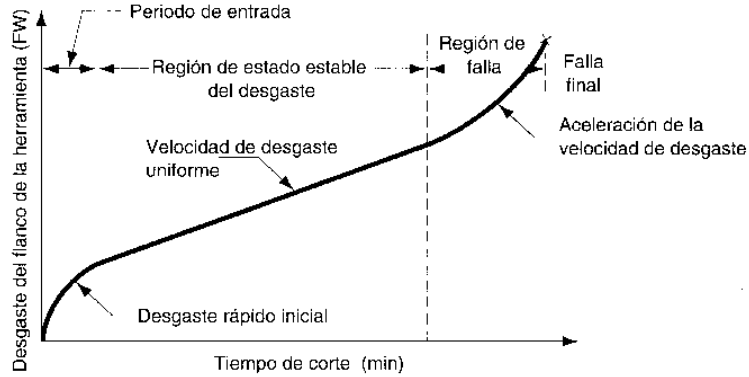


FIGURA 1. Desgaste de la herramienta en función del tiempo de corte. Se usa el desgaste del flanco como medida del desgaste de la herramienta. La curva del desgaste en cráter sigue una curva similar de crecimiento.

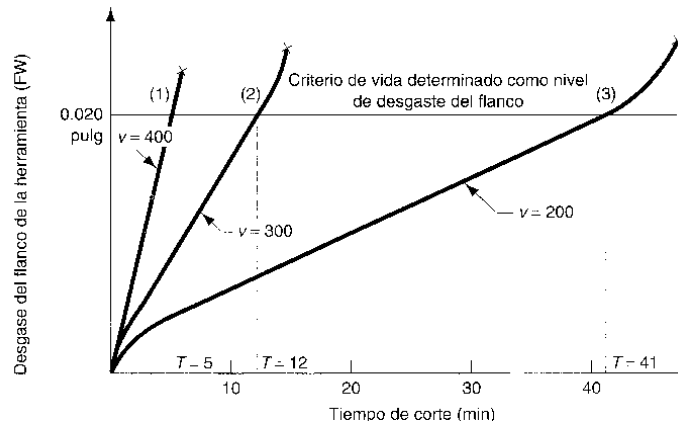


FIGURA 2. Efecto de la velocidad de corte sobre el desgaste del flanco o superficie de incidencia de la herramienta para tres velocidades de corte. Se dan valores hipotéticos de la velocidad de corte y de la vida de las herramientas para un criterio de vida de 0,02 pulg. de desgaste del flanco.

### **Ecuación de Taylor para la vida de las herramientas.**

Si los valores de vida de las herramientas para las tres curvas de desgaste en la fig.2 se trazan en una gráfica log-log de velocidad de corte y la vida de las herramientas, la relación resultante es una línea recta como se muestra en la fig.3.

En 1900 E. W. Taylor expresa la vida de una herramienta en forma de ecuación.

$$V \cdot T^n = C$$

Donde:

- v = velocidad de corte en m/min.;**
- T = vida de la herramienta en minutos;**
- n = depende del material de la herramienta**

**C = depende del material y las condiciones de corte (avance f, profundidad d, material de la herramienta)**

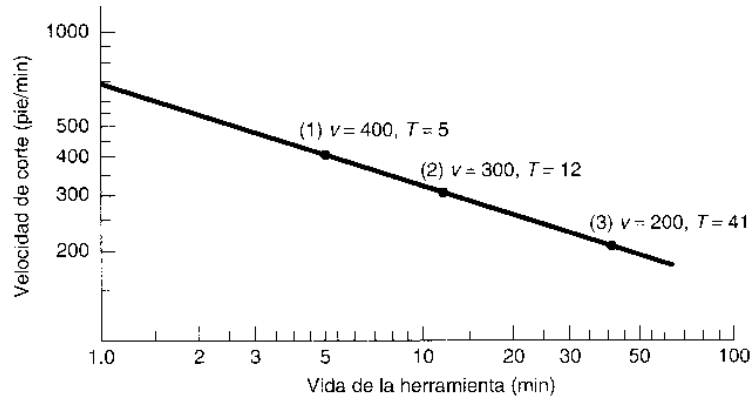


FIGURA 3. Gráfica en escala log-log de la velocidad de corte contra vida de la herramienta.

## 2. Materiales para herramientas

Material de herramienta	Dureza	Resistencia a la ruptura transversal (MPa)
Acero al carbono	60HRC	5200
Acero rápido	65HRC	4100
Aleación de fundición de cobalto	65HRC	2250
Carburo cementado (WC)		
Bajo contenido de Co	93 HRA, 1800 HK	1400
Alto contenido de Co	90 HRA, 1700 HK	2400
Cermet (TiC)	2400 HK	1700
Alúmina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2100 HK	400
Nitruro cúbico de boro	5000 HK	700
Diamante policristalino	6000 HK	1000
Diamante natural	8000 HK	1500

TABLA 4. Valores típicos de dureza a temperatura ambiente y resistencia a la ruptura transversal para varios materiales de herramientas.

Material de herramienta		n	C (m/min)
Acero de herramienta al carbono	Corte de metales	0,1	70
	Corte de acero	0,1	20
Acero rápido	Corte de metales	0,125	120
	Corte de acero	0,125	70
Carburo cementado	Corte de metales	0,25	900
	Corte de acero	0,25	500
Cermet	Corte de acero	0,25	600
Carburo recubierto	Corte de acero	0,25	700
Cerámico	Corte de acero	0,6	3000

TABLA 5. Valores representativos de n y C en la ecuación de la vida de las herramientas de Taylor (ecuación 24) para materiales seleccionados de herramienta.

Material de herramienta		Año de uso inicial	Velocidad permisible de corte m/min
Acero de herramienta al carbono	Corte de metales	1800	10
	Corte de acero		5
Acero rápido	Corte de metales	1900	25-65
	Corte de acero		17-33
Aleaciones de fundición de cobalto	Corte de metales	1915	50-200
	Corte de acero		33-100
Carburos cementados (WC)	Corte de metales	1930	330-650
	Corte de acero	1940	100-300
Cermets (TiC)	Corte de acero	1950	165-400
Cerámicos (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Corte de acero	1955	330-650

Diamantes sintéticos	Corte de metales	1954,1973	390-1300
Nitruro de boro cúbico	Corte de acero	1969	500-800
Carburos recubiertos	Corte de acero	1990	165-400

TABLA 6. Materiales de herramientas de corte con sus datos aproximados de uso inicial y velocidades de corte permisibles.

### 3. Condiciones de corte en el torneado

La velocidad de rotación en el torneado se relaciona con la velocidad de corte requerida en la superficie cilíndrica de la pieza de trabajo por la ecuación

$$N = v / \pi \cdot D_o \quad (1)$$

Donde:

**N = velocidad de rotación en rev/min.;**

**v = velocidad de corte en m/min; y**

**D<sub>o</sub> = diámetro original de la parte, en m.**

El cambio de diámetro se determina por la profundidad de corte d:

$$D_o - D_f = 2d \quad (2)$$

El avance en el torneado se expresa en mm/rev.. Este avance se puede convertir en una velocidad de avance lineal en mm/min con:

$$f_r = N \cdot f \quad (3)$$

Donde:

**f<sub>r</sub> = velocidad de avance mm/min y**

**f = avance, mm/rev.**

El tiempo para maquinar una parte de trabajo cilíndrica de un extremo al otro está dado por:

$$T_m = \frac{L}{f_r} \quad (4)$$

Donde:

**T<sub>m</sub> = tiempo de maquinado real en min. y**

**L = longitud de la parte cilíndrica en mm.**

La velocidad de remoción del material se determina con la siguiente ecuación.

$$MRR = v \cdot f \cdot d \quad (5)$$

Donde:

**MRR = velocidad de remoción de material mm<sup>3</sup>/min.. En esta ecuación f se expresa en mm, ignorando el efecto e la rotación del torneado.**

### 4. Condiciones de corte en el agujereado

Para determinar la velocidad de corte en agujereado es necesario determinar la velocidad de rotación de la broca por su diámetro. Si N son las rev/min del husillo, resulta:

$$N = \frac{v}{\pi D} \quad (6)$$

Donde:

**v = velocidad tangencial de corte mm/min. ; y**  
**D = diámetro de la broca, mm.**

El avance f se especifica en mm/rev., y la velocidad de avance resulta:

$$fr = N.f \quad (7)$$

Donde:

**fr = velocidad de avance, mm/min.**

El tiempo de maquinado requerido se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$T_m = \frac{t + A}{Fr} \quad (8)$$

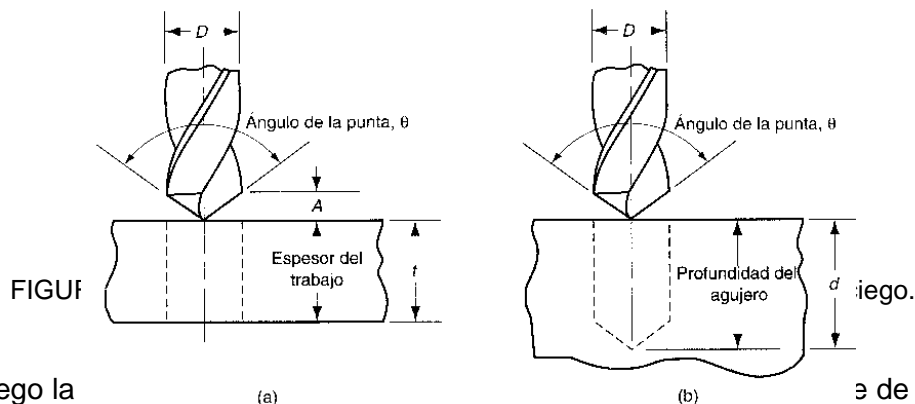
Donde:

**T<sub>m</sub> = tiempo de agujereado en min.;**  
**t = espesor del trabajo en mm;**  
**fr = velocidad de avance en mm/min.;**  
**A = tolerancia de aproximación, para tener en cuenta el ángulo de la punta de la broca. Dicha tolerancia está determinada por:**

$$A = 0,5D \operatorname{tg} (90 - \theta / 2) \quad (9)$$

Donde:

**A = tolerancia de aproximación en mm;**  
**θ = ángulo de la punta de la broca.**



En un agujero ciego la  $d$  de trabajo y el punto más profundo del agujero. Entonces, el tiempo de maquinado para un agujero ciego está dado por:

$$T_m = \frac{d}{f} \quad (10)$$

fr

La velocidad de remoción de metal en el agujereado se determina como el producto de la sección transversal de la broca y la velocidad de avance:

$$MRR = fr \cdot \pi \cdot D^2/4 \quad (11)$$

Esta ecuación es válida solamente después de que la broca alcance el diámetro completo y excluye la aproximación de la broca al trabajo.

### 5. Condiciones de corte en fresado

La velocidad de corte es la velocidad tangencial de la fresa, que puede convertirse en velocidad de rotación con:

$$N = \frac{v}{\pi \cdot D} \quad (12)$$

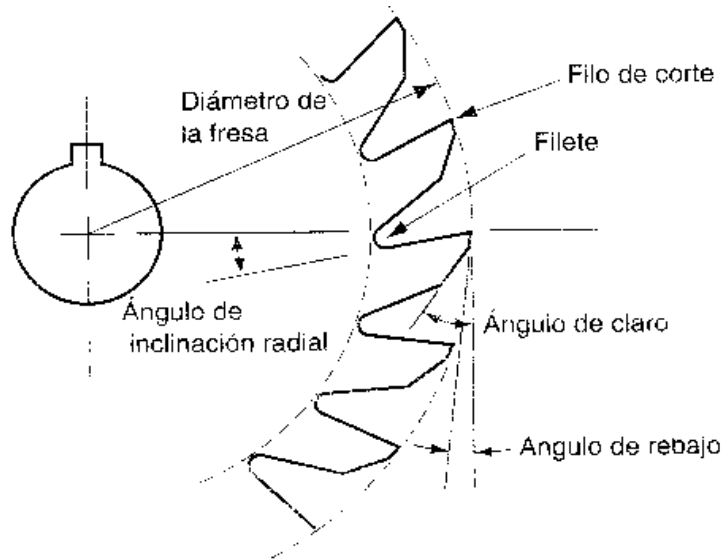
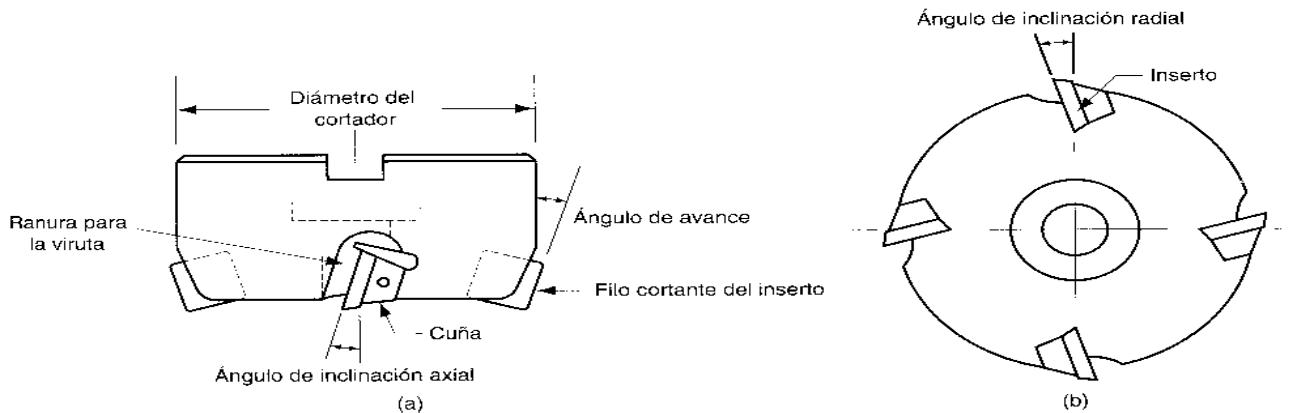


FIGURA 5. Elementos de la geometría de una fresa plana de 18 dientes.



FIGUR

El avar

velocidad de avance teniendo en cuenta la velocidad del husillo y el número de dientes de la fresa:

$$fr = N \cdot nt \cdot f \quad (13)$$

Donde:

**$f_r$**  = velocidad de avance en mm/min;  
 **$N$**  = velocidad del husillo en rev/min;  
 **$n_t$**  = número de dientes en la fresa; y  
 **$f$**  = avance por diente mm/diente.

La velocidad de remoción de material en el fresado se determina usando el producto del área de la sección transversal del corte por la velocidad de avance.

Si una operación de fresado de una plancha corta una pieza de trabajo con ancho  $w$  a una profundidad  $d$ , la velocidad de remoción de material es

$$\text{MRR} = w \cdot d \cdot f_r \quad (14)$$

Donde:

**$w$**  = ancho de la pieza, y  
 **$d$**  = profundidad de la pasada (Esto ignora la entrada inicial de la fresa antes de su enganche completo).

Para determinar el tiempo de ejecución de una operación de fresado, la distancia de aproximación  $A$  se determina mediante:

$$A = [d (D - d)]^{1/2} \quad (15)$$

Donde:

**$d$**  = profundidad de corte en mm;  
 **$D$**  = diámetro de la fresa en mm.

El tiempo para fresar la pieza  $T_m$  es:

$$T_m = \frac{L + A}{f_r} \quad (16)$$

Para el fresado frontal se deja para la aproximación la distancia  $A$  más una distancia  $O$ , que representa la profundidad de desbaste inicial. Hay dos casos posibles, como se muestra en la fig. 8.

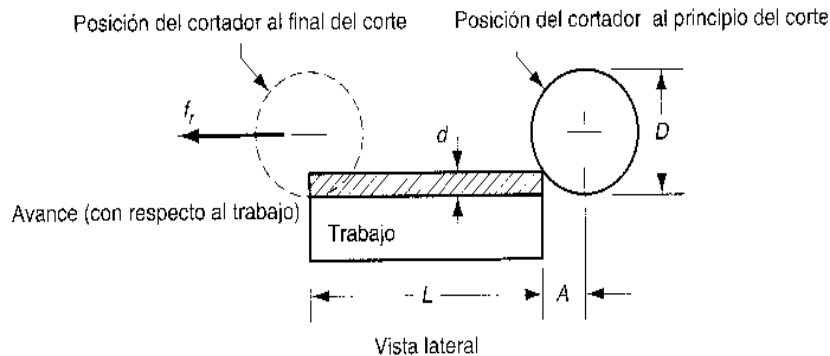


FIGURA 7. Fresado de placa (periférico) mostrando la entrada de la fresa en la pieza de trabajo.

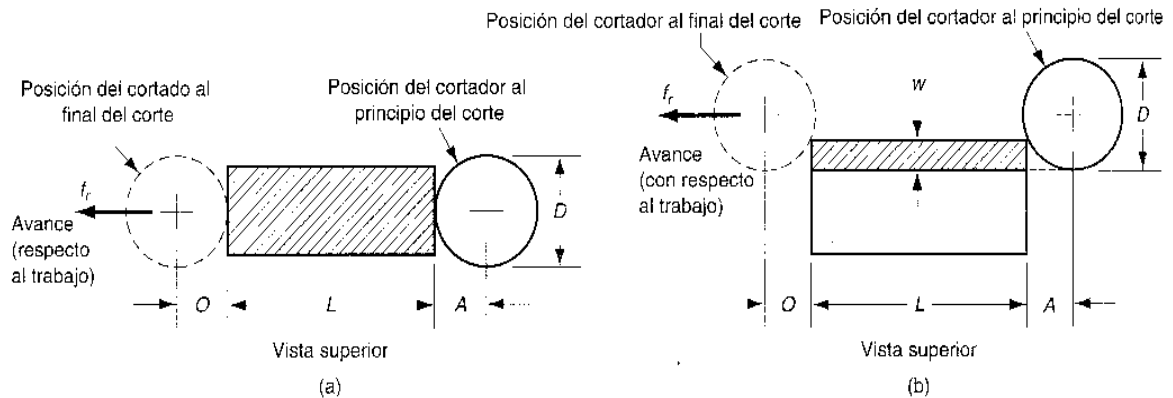


FIGURA 8. Fresado frontal mostrando las distancias de aproximación y de recorrido adicional para dos casos: (a) cuando el fresador está centrado sobre la pieza de trabajo y (b) cuando el cortador está desplazado hacia un lado de trabajo.

En ambos casos

$$A = O = D / 2 \quad (17)$$

donde

**D = diámetro de la fresa, mm.**

El segundo caso es cuando la fresa sobresale a uno de los lados del trabajo, como se muestra en la fig. 8(b). En este caso., las distancias de aproximación y la distancia adicional están dadas por

$$A = O = [w (D - w) ]^{1/2} \quad (18)$$

Donde:

**w = ancho del corte, mm.**

Siendo el tiempo de maquinado:

$$T_m = \frac{L + 2A}{f_r} \quad (19)$$

## 6. Acabado superficial en maquinado

**Factores geométricos:** La fig. 9 presenta una lista de acabados superficiales típicos que se pueden alcanzar en las operaciones de maquinado.



Operación de maquinado	Rugosidad superficial (AA)								
	8 μpulg. 0.2 μm	16 μpulg. 0.4 μm	32 μpulg. 0.81 μm	63 μpulg. 1.6 μm	125 μpulg. 3.2 μm	250 μpulg. 6.3 μm	500 μpulg. 12.7 μm	1000 μpulg. 25.4 μm	
Torneado									
Perforado									
Taladrado									
Rimado									
Fresado									
Perfilado									
Cepillado									
Escariado									
Aserrado									

FIGURA 9. Valores (AA) de acabado superficial logrados en varias operaciones de maquinado. Recopilados de varias fuentes.

Los efectos del radio de la punta de la herramienta y el avance, pueden combinarse en una ecuación para predecir la media aritmética ideal de la rugosidad de una superficie producida por una herramienta de punta sencilla, y se aplica a operaciones como torneados, perfilados y cepillados:

$$R_i = \frac{f^2}{32 NR} \quad (20)$$

Donde:

**R<sub>i</sub>** = media aritmética teórica de la rugosidad superficial en mm;

**f** = avance en mm; y

**NR** = radio de la punta de la herramienta en mm.

La ecuación (20) se puede usar para estimar la rugosidad superficial, y supone que el radio de la punta no es cero, y que el avance y el radio son los factores principales que determinen la rugosidad de la superficie. Los valores para R<sub>i</sub> se dan en mm, pero se pueden convertir a μm.

En el fresado se puede usar la siguiente relación para estimar el valor ideal de rugosidad superficial:

$$R_i = \frac{0,125 f^2}{(D/2) \pm (f \cdot nt/\pi)} \quad (21)$$

Donde

**f = avance por diente en mm/diente;**  
**D = diámetro de la fresa en mm;**  
**nt = número de dientes de la fresa.**

El signo positivo es para el fresado ascendente y el signo negativo es para el fresado descendente.

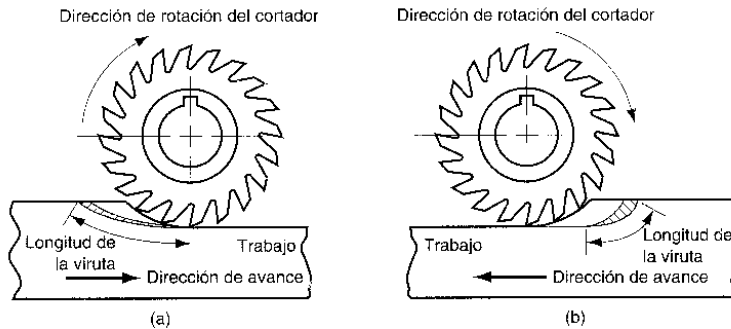


FIGURA 10. Dos formas de fresado con una fresa de 20 dientes: (a) fresado ascendente y (b) fresado descendente.

**Factores del material:** Los factores del material son la causa de que el acabado de la superficie real sea más defectuoso que el ideal. La fig. 11 muestra la relación entre la rugosidad real e ideal en función de la velocidad para varias clases de materiales.

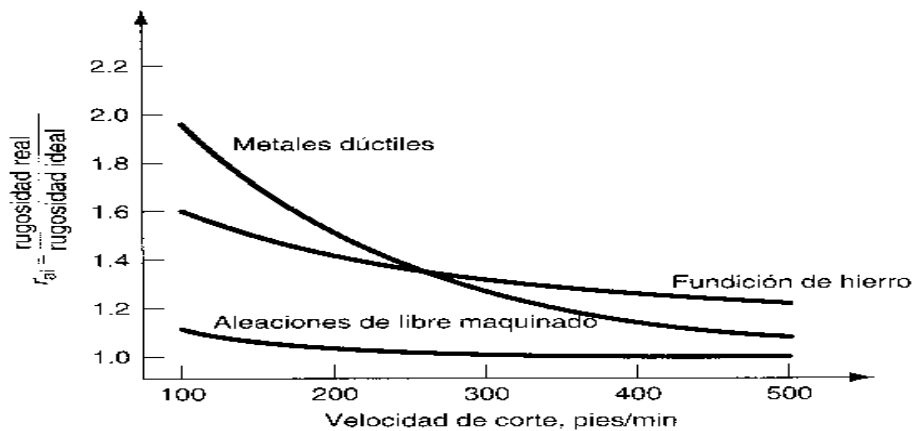


FIGURA 11. Relación entre la rugosidad superficial real y la rugosidad superficial ideal para varias clases de materiales.

Para predecir la rugosidad real en una operación de maquinado se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_a = r_{ai} \cdot R_i \quad (3)$$

Donde:

**R<sub>a</sub> = valor estimado de la rugosidad real;**

$r_{ai}$  = relación del acabado superficial real e ideal del gráfico indicado en la fig. 11 y

$R_i$  = valor de la rugosidad real de las ecuaciones previas (20) ó (21).

## 9. Maquinabilidad:

La Figura 12 proporciona una lista de metales con sus índices aproximados de maquinabilidad.

Material	Dureza Brinell	Índice de maquinabilidad
Acero base	B1112	1.00
Acero al bajo carbono	1008	130-170
	1010	
	1015	
Acero al medio carbono	1020	140-210
	1025	
	1030	
Acero al alto carbono	1040	180-230
	1045	
	1050	
Acero aleado	1320,1330,3130,3140	170-230
	4130	180-200
	4140	190-210
	4340	200-230
	4340 (fundición)	250-300
	6120,6130,6140	180-230
	8620,8630	190-200
	B1113	170-220
Acero de libre maquinado	160-220	1.50
Acero inoxidable	301,302	170-190
	34	160-170
	316,317	190-200
	403	190-210
	416	190-210
Acero de herramienta	(no endurecido)	200-250
Fundición de hierro	Suave	60
	Dureza media	200
	Duro	230
Superaleaciones	Inconel	240-260
	Inconel X	350-370
	Wasp alloy	250-280
Titanio	Puro	160
	Aleaciones	220-280
Aluminio	2-S, 11-S, 17-S	Suave
	Aleaciones de aluminio(suaves)	Suave
	Aleaciones de aluminio(duras)	Duro
Cobre		Suave
Latón		Suave
Bronce		Suave

Figura 12. Valores aproximados del número de dureza Brinell e índices de maquinabilidad para materiales seleccionados.

## 10. Selección de las condiciones de corte

En una operación de maquinado las condiciones de corte consisten en:

1. la velocidad de avance,
2. la profundidad de corte,
3. la velocidad de corte, y
4. el fluido de corte (si se usa o no, y qué tipo es).

**Selección de la velocidad de avance y la profundidad de corte**

La velocidad de avance depende de los siguientes factores:

1. Del material de las herramientas.
2. Para desbastes se utilizan altas velocidades de avance entre 0,5 y 1,5 mm/rev (para torneado); y para acabados se utilizan menores velocidades de avances, entre 0,15 a 0,4 mm/rev (para torneado).
3. Si se debe respetar un acabado superficial, se puede calcular y estimar un el avance para lograr cumplir con el valor deseado.

La profundidad de corte se determina por la geometría de la pieza. Si se trata de un desbaste, la profundidad se hace tan grande como sea posible.

En el acabado se fija la profundidad para lograr las dimensiones finales de la pieza.

**Selección de la velocidad de corte**

La selección de la velocidad de corte se basa en aprovechar mejor la vida útil de la herramienta, lo cual significa escoger una velocidad alta de remoción de material y al mismo tiempo se pueda lograr una larga vida de la herramienta.

Las fórmulas de W. Gilbert, permiten calcular las velocidades óptimas de corte para alcanzar dos objetivos:

- 1) Maximizar la velocidad de producción, o
- 2) Minimizar el costo por unidad.

Ambos objetivos buscan lograr un balance entre la velocidad de remoción de material y la vida de la herramienta. Las fórmulas se basan en el conocimiento de la ecuación de Taylor para la vida de la herramienta.

**Maximización de la velocidad de producción:**

Para maximizar la velocidad de producción, se deberá minimiza el tiempo del mecanizado por unidad de producción.

En el torneado existen tres etapas que contribuyen a la duración del ciclo de producción de una pieza:

**1. Tiempo de manejo de la pieza  $T_h$ .**

Éste es el tiempo que toma el operario para cargar la pieza en la máquina herramienta al principio del ciclo de producción y descargar la pieza después de completar el maquinado.

**2. Tiempo de maquinado  $T_m$ .**

Es el tiempo real en que la herramienta desempeña el maquinado durante el ciclo.

**3. Tiempo de cambio de la herramienta  $T_t$ .**

Al final de la vida del filo de la herramienta ésta debe cambiarse, lo cual toma su tiempo. Este tiempo debe dividirse por el número de piezas  $n_p$  que se produjeron durante su vida útil. Entonces, el tiempo de cambio de la herramienta por pieza es =  $T_t / n_p$ .

Con la suma de estos tres tiempos se obtiene el tiempo total por unidad de producto:

$$T_c = T_h + T_m + T_t / n_p \quad (1)$$

Donde:

$T_c$  = tiempo del ciclo de producción por pieza, en minutos. El tiempo del ciclo  $T_c$  está en función de la velocidad de corte. Al incrementarse la velocidad de corte,  $T_m$  disminuye y  $T_t / n_p$  aumenta;  $T_h$  no es afectada por la velocidad. Estas relaciones se muestran en la fig. 13.

El tiempo total por cada pieza se minimiza a un valor de velocidad de corte. Esta velocidad óptima se puede identificar con un arreglo matemático de la ecuación (1) como una función de la velocidad.

Se puede demostrar que el tiempo de maquinado en una operación de torneado recto es:

$$T_m = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{v \cdot f} \quad (2)$$

Donde:

$T_m$  = tiempo de maquinado, en minutos;  
 $D$  = diámetro de la pieza de trabajo, en mm;  
 $L$  = longitud de la pieza de trabajo, en mm;  
 $f$  = avance, en mm/rev; y  
 $v$  = velocidad de corte, en mm/min.

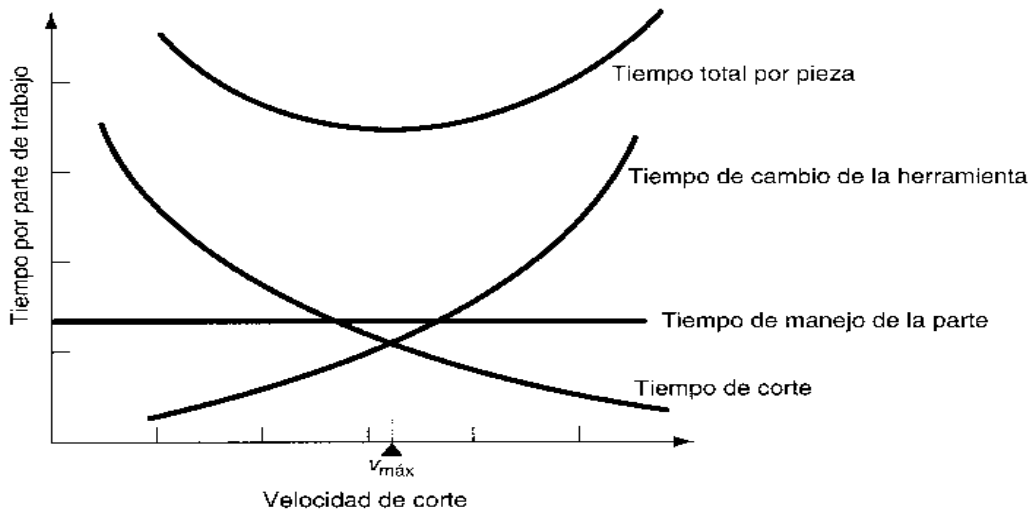


FIGURA 13. Elementos de tiempo en un ciclo de maquinado representados en función de la velocidad de corte. El tiempo total del ciclo por pieza se minimiza a un cierto valor de la velocidad de corte. Ésta es la velocidad para la máxima velocidad de producción.

El número de piezas por herramienta  $n_p$  es también una función de la velocidad, y se puede demostrar que:

$$n_p = T / T_m \quad (3)$$

Donde:

$T$  = vida de la herramienta, min/herr; y  
 $T_m$  = tiempo de maquinado por pieza, min/pieza.

Ambos  $T$  y  $T_m$  son función de la velocidad; por lo tanto, la relación es una función de la velocidad:

$$n_p = f \cdot C^{(1/n)} / \pi \cdot D \cdot L \cdot v^{(1/n-1)} \quad (4)$$

El efecto de esta relación es que  $T_t / n_p$  en la ecuación (1) se incremento al aumentar la velocidad de corte. Sustituyendo las ecuaciones (2) y (4) en la ecuación (1) para  $T_c$  tenemos:

$$T_c = T_h + \frac{\pi \cdot D \cdot L}{v \cdot f} + \frac{T_t (\pi \cdot D \cdot L \cdot v^{(1/n-1)})}{f \cdot C^{(1/n)}} \quad (5)$$

La duración del ciclo por pieza es mínimo en la velocidad de corte donde la derivada de la ecuación (5) sea cero.

$$dT_c / dv = 0$$

Resolviendo esta ecuación obtenemos la velocidad de corte para la velocidad de producción máxima en la operación:

$$v_{\max} = C / [(1/n - 1) \cdot T_t]^n \quad (6)$$

La vida de la herramienta correspondiente a la velocidad máxima de producción es:

$$T_{\max.} = (1/n - 1) \cdot T_t \quad (7)$$

### Minimización del costo por unidad:

El mínimo costo por unidad se determina con la velocidad que minimiza el costo de producción. Los cuatro componentes de costo que determinan el costo total por unidad durante una operación de torneado son:

#### 1) Costo del tiempo de manejo de la pieza.

Es el costo del tiempo que ocupa el operario cargando y descargando la pieza, siendo  $C_o$  el costo (\$/min.) para el operario y la máquina, entonces el costo de tiempo del manejo de la pieza será  $C_o \cdot T_h$ .

#### 2) Costo del tiempo de maquina.

Es el costo del tiempo que requiere la herramienta para hacer el maquinado. Si  $C_o$  representa el costo (\$/min.) del operario y la máquina herramienta, el costo del tiempo de corte será  $C_o \cdot T_m$ .

#### 3) Costo del tiempo de cambio de herramienta.

Es el costo del tiempo de cambio de herramienta será  $C_o \cdot T_t / n_p$ .

#### 4) Costo de la herramienta.

Es el costo  $C_t$  por borde de corte dividido por el número de piezas  $n_p$  maquinadas con ese borde. Entonces el costo de la herramienta por unidad de producto está dado por  $C_t / n_p$ .

Para insertos desechables el costo de la herramienta se determina con:

$$C_t = P_t / n_e \quad (8)$$

Donde:

**$C_t$  = costo por filo cortante, \$/vida de la herramienta;**

**Pt = precio del inserto, \$/inserto; y**  
**ne = número de filos cortantes por inserto.**

Para herramientas reafilables (por ejemplo, acero rápido o herramientas de carburo soldado) el costo incluye el precio de compra más el costo de reafilado.

$$C_t = \frac{P_t}{n_g} + T_g \cdot C_g \quad (9)$$

Donde:

**Ct = costo por vida de la herramienta, \$/vida herramienta;**  
**Pt = precio de compra de la herramienta de vástago sólido o inserto soldado, \$/herramienta;**  
**ng = número de vidas de la herramienta por herramienta, que es el número de veces que la herramienta puede afilarse antes de que su desgaste sea tal que no pueda ser usada (de 5 a 10 veces para herramientas de desbaste y de 10 a 20 veces para herramientas de acabado);**  
**Tg = tiempo para afilar o reafilar la herramienta, min/vida de la herramienta; y**  
**Cg = costo de afilado, \$/min.**

La suma de los cuatro componentes de costos proporcionan el costo total por unidad de producto Cc para el ciclo de maquinado.

$$C_c = C_o \cdot T_h + C_o \cdot T_m + \frac{C_o \cdot T_t}{n_p} + \frac{C_t}{n_p} \quad (10)$$

Cc es una función de la velocidad de corte, de igual manera que Tc es una función de v. Las relaciones para los términos individuales y el costo total como función de la velocidad de corte se muestran en la fig. 14. La ecuación (10) se puede expresar en términos de v y entonces se obtiene:

$$C_c = C_o \cdot T_h + \frac{C_o \cdot \pi \cdot D \cdot L}{f \cdot v} + \frac{(C_o \cdot T_t + C_t) \cdot [\pi \cdot D \cdot L \cdot v^{(1/n-1)}]}{f \cdot C^{(1/n)}} \quad (11)$$

La velocidad de corte que da como resultado el mínimo costo por pieza para la operación se puede determinar si tomamos la derivada de la ecuación (11) con respecto a v, la igualamos a cero y resolvemos para v<sub>mín</sub> :

$$v_{\min} = C \left[ \frac{n}{1-n} \cdot (C_o / C_o \cdot T_t + C_t) \right]^n \quad (12)$$

La vida de la herramienta correspondiente está dada por:

$$T_{\min} = \left[ \frac{1}{n} - 1 \right] \cdot [(C_o \cdot T_t + C_t) \cdot C_o] \quad (13)$$

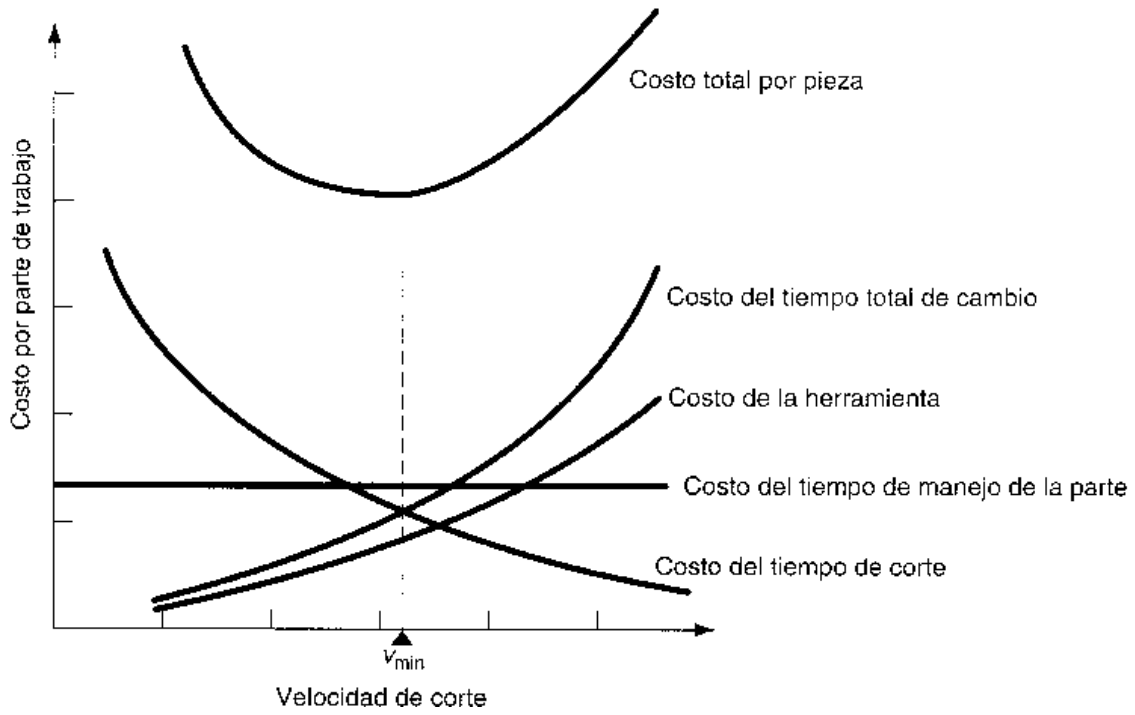


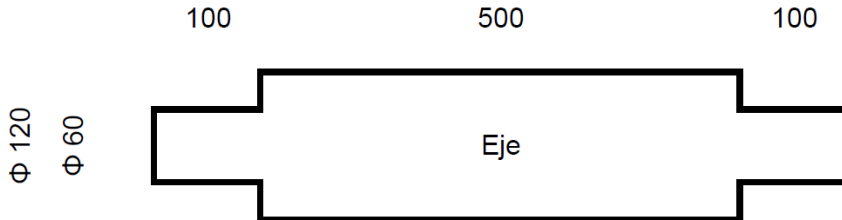
FIGURA 14. Componentes del costo en una operación de maquinado representados en función de la velocidad de corte. El costo total por pieza se minimiza a cierto valor de la velocidad de corte. Ésta es la velocidad para el mínimo costo por pieza.



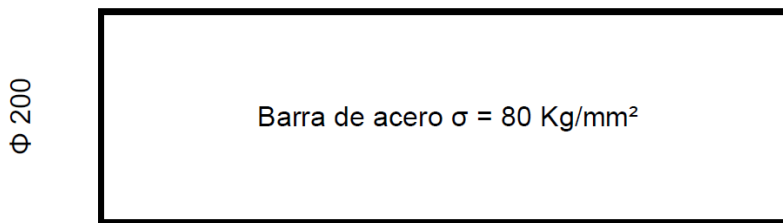
**Ejercicio N° 1**

**MECANIZADO en TORNO (RESUELTO).**

Se dispone de un torno paralelo de 10 HP con 3000 RPM máximo, para torneear 10 ejes como se muestra en la figura:



Partiendo de barras de acero de 80 Kg/mm<sup>2</sup>, con un largo de 700 mm y un diámetro de 200 mm.



Si de los avances automáticos que posee la máquina se selecciona el de 0,3 mm/vuelta, se pide determinar el número mínimo de pasadas por eje de manera de no sobrepasar la potencia establecida y el tiempo total de mecanizado de la producción, siendo el retorno de la herramienta de 3 mm/vuelta, estimando cada carga boquilla de 45 segundos y el depósito en batea de 24 segundos.

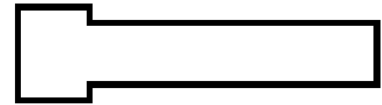
- D = 200 mm (diámetro de la barra)
- $\sigma = 80 \text{ Kg/mm}^2$  (fuerza unitaria de corte)
- NHP = 10 (potencia útil en HP)
- a = 0,3 mm/vuelta (avance)
- r = 3 mm/vuelta (retroceso)
- n = 3000 vueltas/min. (Velocidad de giro)

**CALCULAR**

- m = ? (cantidad de pasadas)
- T<sub>tm</sub> = ? (tiempo total de mecanizado)**

Potencia de mecanizado en HP NHP =  $F \times v / 4560$ , sabiendo que (4560 = 60 x 76)

- 1- Colocación en boquilla un extremo:  $T_a = 45 / 60 = 0,75$  minutos
- 2- Carrera c = 600 mm



Velocidad de corte:

$$v = n \times \pi \times D = 3000 \text{ vueltas/minuto} \times \pi \times 0,2 \text{ m} = \mathbf{1885 \text{ vueltas m/minuto}}$$

Fuerza de corte:

$$F = \text{NHP} \times 4560 / v = 10 \text{ HP} \times 4560 / 1885 \text{ v m/min.} = \mathbf{24,2 \text{ Kg/vuelta}}$$

Sección de la viruta

$$F = q \times \sigma$$

$$q = F / \sigma = 24,2 \text{ Kg/vuelta} / 80 \text{ Kg/mm}^2 = \mathbf{0,3 \text{ mm}^2/\text{vuelta}}$$

Profundidad de pasada

$$q = a \times p$$

$$p = q / a = 0,3 \text{ mm}^2/\text{vuelta} / 0,3 \text{ mm/vuelta} = \mathbf{1 \text{ mm}}$$

Profundidad total del material a sacar

$$P = (D - d) / 2 = (200 \text{ mm} - 120 \text{ mm}) / 2 = \mathbf{40 \text{ mm}}$$

Cantidad de pasadas para  $c = 600 \text{ mm}$

$$m_{600} = P / p = 40 \text{ mm} / 1 \text{ mm} = 40$$

Cantidad de vueltas para el avance

$$V_a = m \times c / a = 40 \times 600 \text{ mm} / 0,3 \text{ mm/vuelta} = 80000 \text{ vueltas}$$

Cantidad de vueltas para el retroceso

$$V_r = m \times c / r = 40 \times 600 \text{ mm} / 3 \text{ mm/vuelta} = 8000 \text{ vueltas}$$

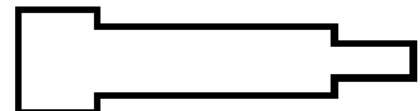
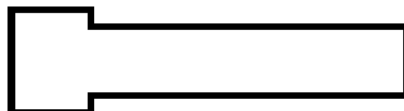
Cantidad total de vueltas

$$V_t = V_a + V_r = 80000 \text{ vueltas} + 8000 \text{ vueltas} = 88000 \text{ vueltas}$$

Tiempo de mecanizado para  $c = 600 \text{ mm}$

$$T_{m600} = V_t / n = 88000 \text{ vueltas} / 3000 \text{ vueltas/minuto} = 29,34 \text{ minutos}$$

3- Carrera  $c = 100 \text{ mm}$



Velocidad de corte

$$v = n \times \pi \times D = 3000 \text{ vueltas/minuto} \times \pi \times 0,12 \text{ m} = 1131 \text{ vueltas m/minuto}$$

Fuerza de corte

$$F = \text{NHP} \times 4560 / v = 10 \text{ HP} \times 4560 / 1131 \text{ v m/min.} = 40,3 \text{ Kg/vuelta}$$

Sección de la viruta

$$F = q \times \sigma$$

$$q = F / \sigma = 40,3 \text{ Kg/vuelta} / 80 \text{ Kg/mm}^2 = 0,5 \text{ mm}^2/\text{vuelta}$$

Profundidad de pasada

$$q = a \times p$$

$$p = q / a = 0,5 \text{ mm}^2/\text{vuelta} / 0,3 \text{ mm/vuelta} = 1,66 \text{ mm}$$

Profundidad total del material a sacar

$$P = (D - d) / 2 = (120 \text{ mm} - 60 \text{ mm}) / 2 = 30 \text{ mm}$$

Cantidad de pasadas para  $c = 100 \text{ mm}$

$$m_{100} = P / p = 30 \text{ mm} / 1,66 \text{ mm} = 18$$

Cantidad de vueltas para el avance

$$V_a = m \times c / a = 18 \times 100 \text{ mm} / 0,3 \text{ mm/vuelta} = 6000 \text{ vueltas}$$

Cantidad de vueltas para el retroceso

$$V_r = m \times c / r = 18 \times 100 \text{ mm} / 3 \text{ mm/vuelta} = 600 \text{ vueltas}$$

Cantidad total de vueltas

$$V_t = V_a + V_r = 6000 \text{ vueltas} + 600 \text{ vueltas} = 6600 \text{ vueltas}$$

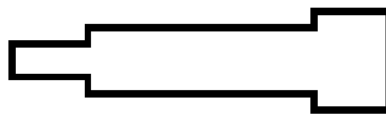
Tiempo de mecanizado para  $c = 100 \text{ mm}$

$$T_{m100} = V_t / n = 6600 \text{ vueltas} / 3000 \text{ vueltas/minuto} = 2,2 \text{ minutos}$$

4- Colocación en boquilla extremo opuesto

$$T_b = 45 / 60 = 0,75 \text{ minutos}$$

5- Carrera  $c = 100 \text{ mm}$



Velocidad de corte

$$v = n \times \pi \times D = 3000 \text{ vueltas/minuto} \times \pi \times 0,2 \text{ m} = 1885 \text{ vueltas m/minuto}$$

Fuerza de corte

$$F = NHP \times 4560 / v = 10 \text{ HP} \times 4560 / 1885 \text{ v m/min.} = 24,2 \text{ Kg/vuelta}$$

Sección de la viruta

$$F = q \times \sigma$$

$$q = F / \sigma = 24,2 \text{ Kg/vuelta} / 80 \text{ Kg/mm}^2 = 0,3 \text{ mm}^2/\text{vuelta}$$

Profundidad de pasada

$$q = a \times p$$

$$p = q / a = 0,3 \text{ mm}^2/\text{vuelta} / 0,3 \text{ mm/vuelta} = 1 \text{ mm}$$

GUIA DE TRABAJOS PRACTICOS 1-2 ADICIONAL

Profundidad total del material a sacar

$$P = (D - d) / 2 = (200 \text{ mm} - 60 \text{ mm}) / 2 = 70 \text{ mm}$$

Cantidad de pasadas para  $c = 100 \text{ mm}$

$$m'_{100} = P / p = 70 \text{ mm} / 1 \text{ mm} = 70$$

Cantidad de vueltas para el avance

$$V_a = m \times c / a = 70 \times 100 \text{ mm} / 0,3 \text{ mm/vuelta} = 23334 \text{ vueltas}$$

Cantidad de vueltas para el retroceso

$$V_r = m \times c / r = 70 \times 100 \text{ mm} / 3 \text{ mm/vuelta} = 2334 \text{ vueltas}$$

Cantidad total de vueltas

$$V_t = V_a + V_r = 23334 \text{ vueltas} + 2334 \text{ vueltas} = 25668 \text{ vueltas}$$

Tiempo de mecanizado para  $c = 100 \text{ mm}$

$$Tm'_{100} = V_t / n = 25668 \text{ vueltas} / 3000 \text{ vueltas/minuto} = 8,56 \text{ minutos}$$

6- Colocación en batea

$$T_c = 24 / 60 = 0,4 \text{ minutos}$$

**Cantidad total de pasadas por eje**

$$m = m_{600} + m_{100} + m'_{100} = 40 + 18 + 70 = 128$$

**Tiempo total de mecanizado para la producción**

$$T_{tm} = 10 \times (Tm_{600} + Tm_{100} + Tm'_{100} + T_a + T_b + T_c)$$
$$T_{tm} = 10 \times (29,34 + 2,2 + 8,56 + 0,75 + 0,75 + 0,4) = 420 \text{ minutos} = 7\text{hs.}$$

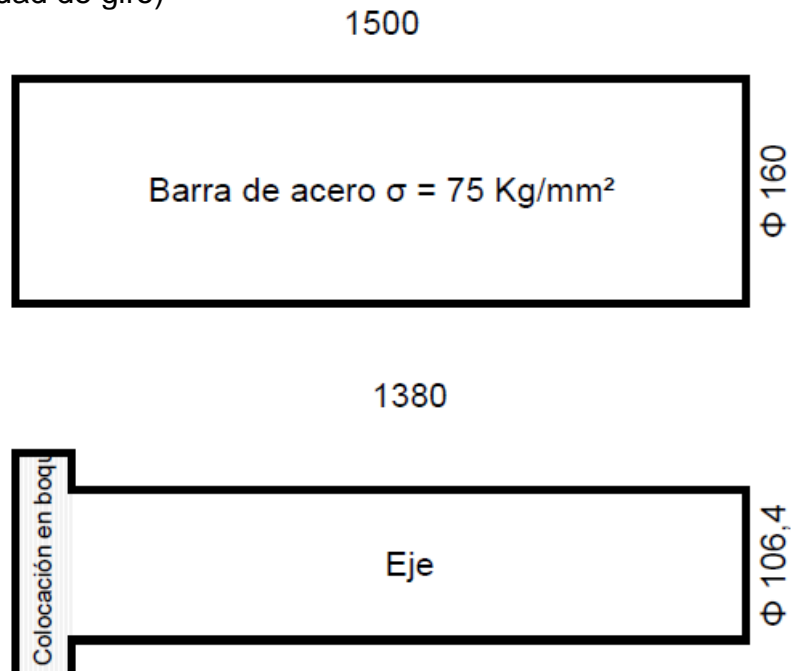
**Ejercicio N° 2**

**MECANIZADO en TORNO.**

Disponemos de un torno paralelo accionado con motor de 10 HP con 3000 v/min máximo, partiendo de una barra de acero de 75 Kg/mm<sup>2</sup> de 1500 mm de largo y 160 mm de diámetro. El eje torneado debe medir 106,4 mm de diámetro y tener un largo de 1.380 mm, de los avances automáticos que tiene la máquina se selecciona el de 0,3 mm/vuelta. Se pide determinar en cuantas pasadas se terminará el eje sin sobrepasar la potencia de la máquina.

Calcular el tiempo de torneado considerando que el retorno de la herramienta es de 3 mm/vuelta.

- D = 160 mm (diámetro de la barra)
- $\sigma = 75 \text{ Kg/mm}^2$  (fuerza unitaria de corte)
- NHP = 10 (potencia útil en HP)
- a = 0,3 mm/vuelta (avance)
- r = 3 mm/vuelta (retroceso)
- n = 3000 vueltas/min. (Velocidad de giro)



**CALCULAR:**

m = ? (cantidad de pasadas)

T<sub>tm</sub> = ? (tiempo total de mecanizado)

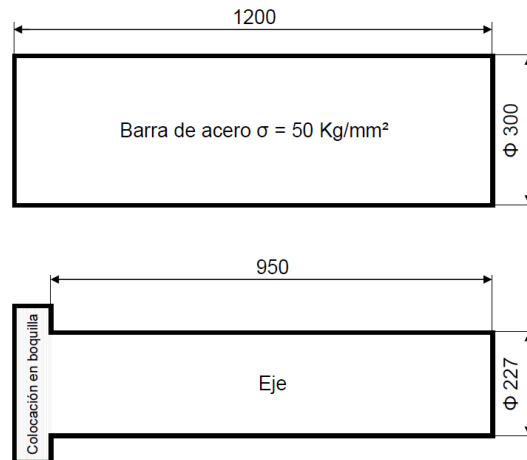
**Resultados: m= 20 pasadas**

**T<sub>tm</sub>= 33,74 min.**

**Ejercicio Nº 3**

**MECANIZADO en TORNO.**

Disponemos de un torno paralelo accionado con motor de 6 HP con 2000 v/min máximo, partiendo de una barra de acero de 50 Kg/mm<sup>2</sup> de 1200 mm de largo y 300 mm de diámetro, se necesitan hacer 27 piezas. El eje torneado debe medir 227 mm de diámetro y tener un largo de 950 mm, de los avances automáticos que tiene la máquina se selecciona el de 0,4 mm/vuelta.



Se pide determinar:

- 1) En cuantas pasadas se terminará el eje sin sobrepasar la potencia de la máquina.
- 2) Calcular el tiempo de torneado considerando que el retorno de la herramienta es de 4 mm/vuelta.
- 3) Datos:

$D = 300 \text{ mm}$  (diámetro de la barra)  
 $\sigma = 50 \text{ Kg/mm}^2$  (fuerza unitaria de corte)  
 $NHP = 6$  (potencia útil en HP)  
 $a = 0,4 \text{ mm/vuelta}$  (avance)  
 $a_r = 4 \text{ mm/vuelta}$  (avance de retroceso de la herramienta)  
 $n = 3000 \text{ vueltas/min.}$  (Velocidad de giro)

- 4) Calcular:

$m = ?$  (cantidad de pasadas). Por pieza.

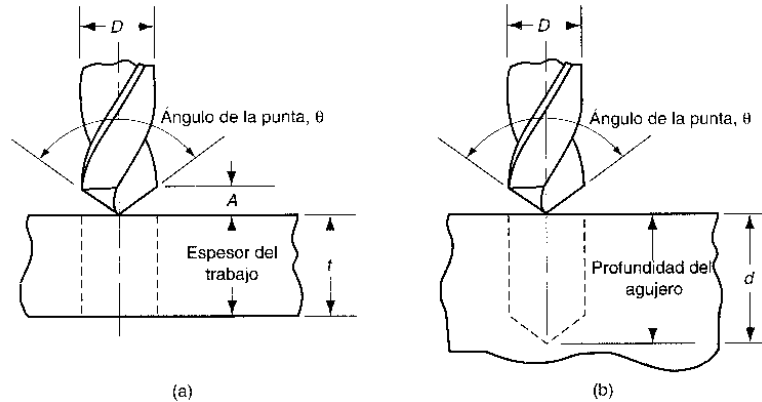
$T_{tm} = ?$  (tiempo de mecanizado efectivo, sin contemplar los tiempos de fijación de la pieza ni los de tiempos de colocación en la batea). Por pieza.

El tiempo de mecanizado del lote, sabiendo que la herramienta dura 3562,5 seg. con el filo en condiciones óptimas y cada cambio de Herramienta implica un tiempo efectivo de 12 minutos.

**Ejercicio Nº 4**

**CÁLCULO DE MECANIZADO POR AGUJEREO.**

Se deben realizar varios agujeros de 25 mm, y 80 mm de profundidad, en piezas como las del croquis, con una mecha de diámetro ( $D$ ) de 12 mm.



**SABIENDO QUE:**

- El espesor de trabajo ( $r$ ) es de 25 mm.
- La distancia ( $d$ ) es de 80mm.
- El retroceso es de 2 mm/vuelta.
- La distancia ( $A$ ) es de 4,5 mm.
- La velocidad de corte determinada es de 80 m/min,
- El avance de la mecha no debe superar los 0,15 mm por vuelta y por filo;

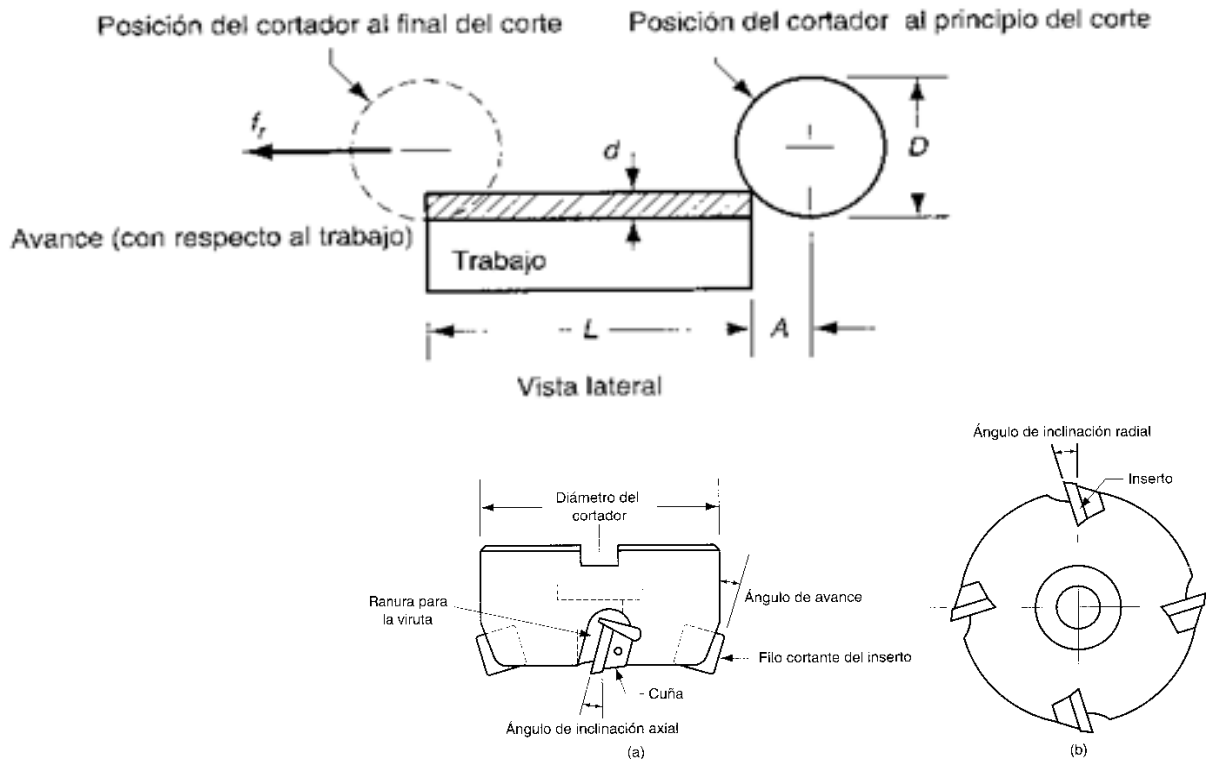
**Determinar:**

- ✓ La velocidad a la que debería girar la mecha.
- ✓ El tiempo de perforado de cada agujero.

**Ejercicio Nº 5**

**CÁLCULO DE MECANIZADO POR FRESADORA.**

Partiendo de los croquis, y de la pieza que tiene una altura inicial ( $h_i$ ) de 37 mm, debiendo quedar terminada con una altura final ( $h_f$ ) de 30 mm.



Sabiendo que:

- El diámetro (D) de corte de la fresa es de 120 mm;
- El largo a mecanizar (L) es de 300mm;
- El ancho de la pieza a mecanizar (B) es de 48 mm,
- La profundidad (d) de corte es de 5 mm y es la adecuada,
- El espesor de corte de la fresa (e) es de 19 mm por pasada.
- El avance es de 0,5 mm/diente/vuelta; y el retroceso es de 4mm/vuelta.
- La fresa es de cuatro (4) dientes puede trabajar a 50 m/minutos.
- La cota (A) se considera de un tercio del diámetro de la fresa ( $A=1/3D$ ).

**DETERMINAR:**

- ✓ Velocidad de giro de la fresa en revoluciones por minuto.
- ✓ Cantidad de pasadas, que se deben realizar a una misma altura de la mesa.
- ✓ Cantidad de avances y retrocesos por pasada.
- ✓ Tiempo de mecanizado efectivo por pasada (corte y retroceso) en seg.
- ✓ Tiempo total de mecanizado.



**Ejercicio N° 6**

**CÁLCULO DE MECANIZADO POR LIMADORA (RESUELTO).**

Con los siguientes datos:

Espesor de la pasada (e) = 2 mm

Avance transversal (a) por pasada = 0,5 mm

Velocidad de corte máxima/media ( $V_{cm}$ ) = 40 m/min.

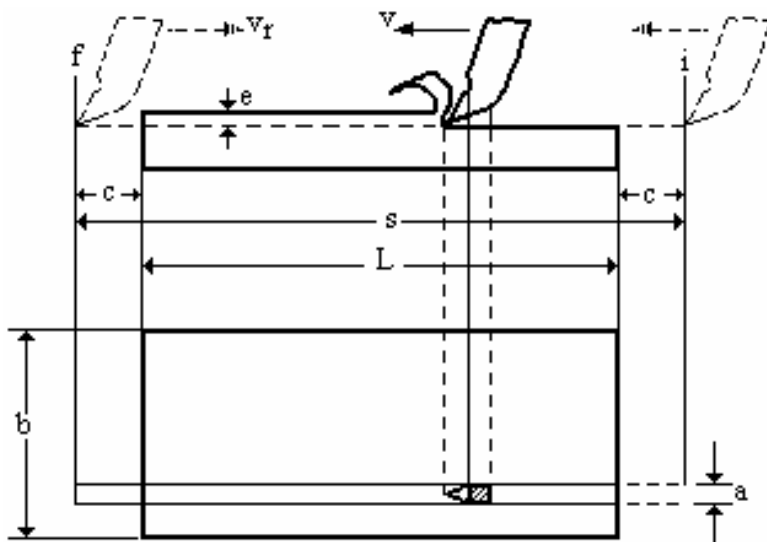
Carrera longitudinal (s) = 1000 mm.

Ancho (b) de la pieza = 200 mm

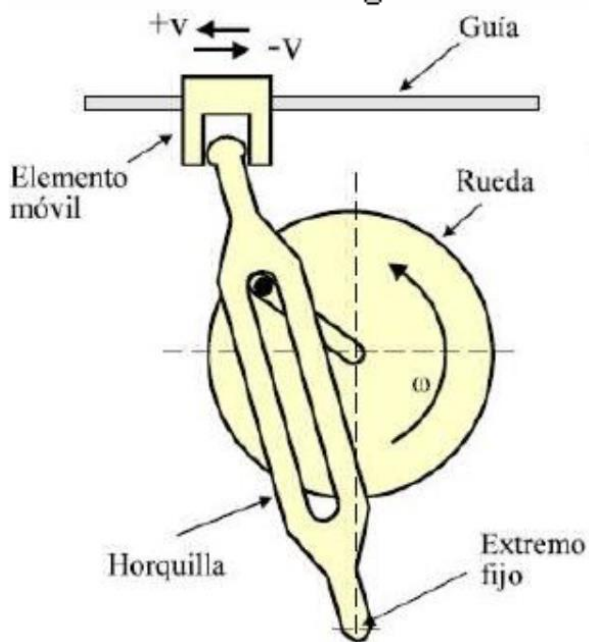
Longitud de la pieza (L) = 800 mm

Profundidad total (h) de corte = 5,7 mm

Material a trabajar con un  $k_z = \sigma = 80 \text{ Kg/mm}^2$  (fuerza unitaria de corte).



**Fig.5.9**



**CALCULAR:**

- a) la cantidad de pasadas (m) necesarias para completar la profundidad total (h) de corte.
- b) el número de carreras longitudinales (n) dobles realizadas por minuto
- c) el número de carreras dobles (ñ) de la mesa o carro porta herramienta para completar una pasada en el ancho (b) de la pieza.
- d) El tiempo (t) para realizar una pasada completa
- e) el tiempo de máquina empleado en el limado.
- f) La potencia (N) necesaria para el corte.

**RESOLUCIÓN:**

- a) la cantidad de pasadas (m) necesarias para completar la profundidad total (h) de corte.

La cantidad de pasadas (m) será un número entero, que resulte de dividir la profundidad de corte total (h), por espesor de la pasada (e).

$$m = h / e = 5,7 \text{ mm} / 2 \text{ mm} = 3 \quad \gg m = 3$$

- b) el número de carreras longitudinales (n) dobles realizadas por minuto.

Si es  $V_m$  la velocidad media de trabajo, el número n de carreras longitudinales por minuto será:

$$(n) = V_m / 2 \cdot S \quad \gg n = (V_m / 2 \cdot S)$$

$$n = (40 \text{ m/min} / 2 \cdot 1 \text{ m}) = 20 \text{ carreras / minuto}$$

$$n = 20 \text{ carreras por minuto}$$

- c) el número de carreras dobles (ñ) de la mesa o carro porta herramienta para completar una pasada en el ancho (b) de la pieza.

El número de carreras longitudinales (ñ) dobles realizadas será igual al ancho de la pieza (b) dividido el avance transversal (a) por pasada, más dos (4) pasadas para garantizar el ingreso y la salida.

$$\tilde{n} = b / a = (200 \text{ mm} / 0,5 \text{ mm}) + 4 = 404 \text{ pasadas}$$

- d) El tiempo (t) para realizar una pasada completa:

Si es L la longitud total de la superficie de la pieza a trabajar, llamando n al número de carreras longitudinales dobles realizadas por minuto y ñ el número de carreras dobles de la mesa o carro porta herramienta para completar una pasada en el ancho b de la pieza, o pasada completa, se tendrá:

$$b = a \cdot \tilde{n} \quad \gg$$

Para dar las ñ pasadas completas, para cubrir el ancho b de la pieza, se empleará un tiempo t igual a:

$$t = \tilde{n} / n \text{ (min)} \quad \gg t = 404 \text{ (pasadas)} / 20 \text{ (pasadas/minuto)} =$$

$$t = 20,2 \text{ min}$$

También se puede calcular t como:

$$t = (2.S. (b+(2.a))) / a . Vm = ( 2. 1 m . (0,201 m)) / 0,0005 m . 40 (m/min) =$$

$$t = 20,2 \text{ min}$$

e) el tiempo de máquina empleado en el limado (Tt).

El tiempo de máquina empleado en el limado, será el tiempo (t) por la cantidad de pasadas (m)

$$Tt = t . m = 20,2 \text{ min} . 3 = 60,6 \text{ min.}$$

f) La potencia (N) necesaria para el corte.

La potencia N necesaria para el corte, para la fuerza P y la velocidad v, está dada por la expresión:

$$N = \frac{P.v}{75.60} = \frac{e.a.k_s.v}{4500}$$

Si tenemos en cuenta el rendimiento mecánico de la máquina.

$$N \text{ (CV)} = P.v / \eta . 4500 = q.k_s.v / \eta . 4500 = e.a.k_s.v / \eta . 4500$$

Donde  $\eta$  = es el rendimiento mecánico y se estima en 0,65

$$N \text{ (CV)} = (2 \text{ mm} . 0,5 \text{ mm} . 80(\text{kg} / \text{mm}^2) . 40(\text{m}/\text{min})) / 0,65 . 75 (\text{kgmseg}/\text{CV}) . 60\text{seg}/\text{min} =$$

$$N \text{ (CV)} = 1,1 \text{ (CV)}$$

**Ejercicio Nº 7**

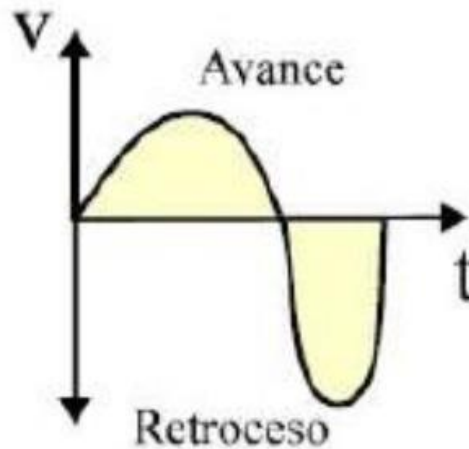
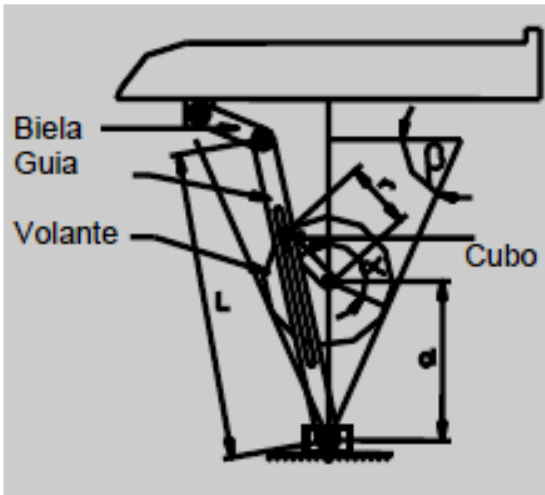
**CÁLCULO DE MECANIZADO POR LIMADORA.**

Con los datos de Velocidad de corte máxima ( $V_{cm}$ ) = 40 m/min, del ejercicio anterior, determinar:

- Velocidad mínima de avance durante el corte.
- Velocidad máxima avance durante el de corte.
- Tiempo de avance de la herramienta durante el corte.
- Tiempo de retroceso de la herramienta.

Datos del esquema:

- ✓ Distancia del punto fijo al punto de transmisión ( $L$ ) = 1000 mm.
- ✓ Distancia del punto fijo al centro del volante ( $d$ ) = 500 mm.
- ✓ Radio del volante al cubo ( $r$ ) = 250.
- ✓ Distancia del punto fijo al cubo para  $\alpha=0$  y  $\beta=0$  ( $h$ ) = 433 mm.



La figura se muestra como varían las velocidades en función de la carrera

El desplazamiento o carrera de la herramienta puede expresarse mediante la siguiente formula:

$$C = 2 \cdot (L/d) \cdot r \quad \gg \quad \text{siendo:}$$

- C: carrera;
- L: longitud de la guía;
- d: distancia entre centros de giro guía-volante;
- r: radio que se encuentra el cubo

Si llamamos  $\Delta$  al máximo ángulo que adopta la biela de longitud  $L$ , girando en el punto fijo y  $\Delta/2 = \emptyset$ ; para calcular el ángulo que adopta  $\emptyset$  cuando  $\alpha=0$  y  $\beta=0$ , podemos hacer:

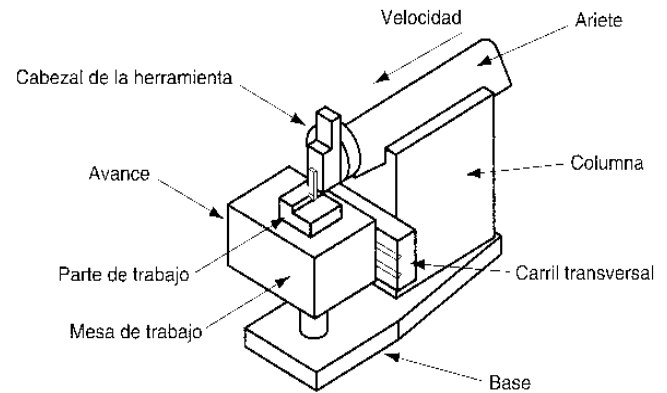
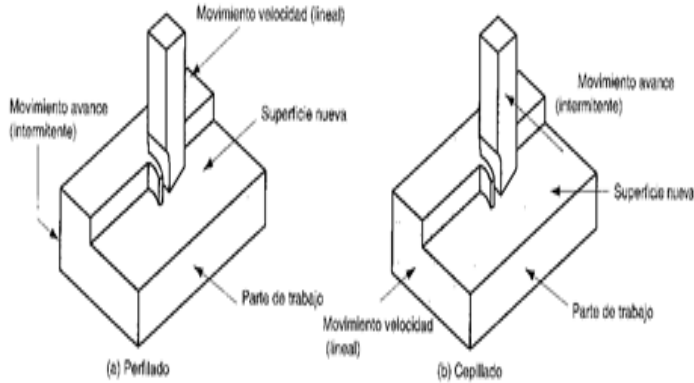
$$\text{Sen } \emptyset = r/d = 250/500 = 0,5 \quad \gg \gg \quad \text{sen } \emptyset = 0,5 \quad \gg \gg \quad \emptyset = 30^\circ$$

$$\text{Si } \emptyset = 30^\circ \text{ se deduce que } \beta = 60^\circ \text{ por lo tanto } \alpha = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$$

## Ejercicio Nº 8

### CÁLCULO DE MECANIZADO POR LIMADORA.

Sabiendo que se perfila una pieza de Acero en una LIMADORA, con los siguientes datos.



#### DATOS:

- Longitud de la pieza de 450 mm,
- Ancho de la pieza de 250 mm;
- Alto de la pieza es de 75 mm;
- Movimiento de avance intermitente es  $a = 1,5$  mm por pasada;
- La rueda que impulsa el Ariete lo hace en  $240^\circ$  de giro, mientras que los restantes  $120^\circ$  los emplea en el retroceso, la velocidad del volante es circular uniforme de 15 rpm;
- El Ariete avanza para provocar el corte del material 500 mm de longitud a una velocidad de corte máxima de 30 m/min;
- La profundidad del corte es de 2,5 mm;
- La altura de la pieza terminada debe ser de 70 mm;

#### CALCULAR:

- Donde se produce (en qué puntos) y cuál es la velocidad mínima de Ariete.
- La velocidad máxima a la que retrocede el Ariete. Realizar el diagrama de velocidades.
- Cuantas pasadas se deben hacer por nivel de mesa porta pieza.
- Cuantas veces hay que modificar la altura de la mesa para terminar el trabajo.
- Tiempo de cada pasada completa (avance y retroceso).

## Ejercicio N° 9

### Torneado aplicando conceptos de Taylor.

Sabiendo que se trabaja una pieza de Acero SAE 12L14 en un torno, con los datos del ejercicio n° 9 y usando herramienta acero super rápido.

$$C = V \cdot T^n$$

=> Formula de Taylor

### Calcular:

- Tiempo T de duración del filo para la herramienta de acero super rápido (hss), sabiendo que la velocidad de corte de máxima producción para dicha herramienta es  $V_{max.prod.} = 48$  m/min.
- Tiempo T de duración del filo para la herramienta de acero super rápido (hss), sabiendo que la velocidad de corte de mínimo costo para dicha herramienta es  $V_{min.cos.} = 44$  m/min.
- Determinar el costo de la unidad volumétrica de viruta en \$/mm<sup>3</sup>, para la velocidad de corte de máxima producción, y para la velocidad de corte de mínimo costo. Utilizar datos del ejercicio n° 10
- Determinar la cantidad de viruta extraída en la unidad de tiempo en mm<sup>3</sup>/min. Utilizar datos del ejercicio n° 10

### Ejercicio Nº 10

La cantidad de pasadas, sin sobrepasar la potencia de la máquina:

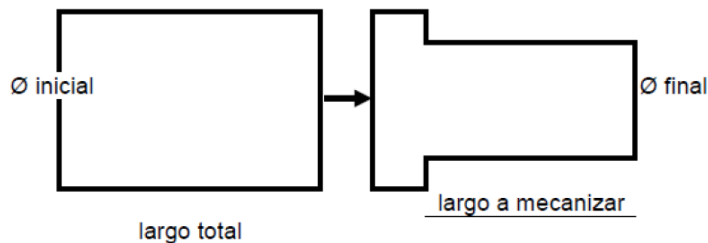
Disponemos de un torno paralelo accionado con motor de 10 HP con 900 rpm máximo, partiendo de una barra de acero con un  $\sigma = 60 \text{ Kg/mm}^2$ , y con dimensiones de: 500 mm de largo y 60 mm de diámetro inicial.

El eje a toronar debe medir un diámetro final de 50,8 mm de diámetro a lo largo de 480 mm, desde uno de los extremos.

De los avances automáticos que tiene la máquina se selecciona el de 0,3 mm/vuelta.

#### SE PIDE DETERMINAR:

- En cuantas pasadas se terminará el eje sin sobrepasar la potencia de la máquina.
- Calcular el tiempo de torneado considerando que el retorno de la herramienta es de 3 mm/vuelta.



#### Formulas útiles:

Velocidad de corte: [m/ min]

$$v = n \times \pi \times D$$

Fuerza de corte:

$$F = NHP \times 4560 / v = F = q \times \sigma$$

Sección de viruta:

$$q = a \times p$$

Profundidad total del material a sacar:

$$P = (D - d) / 2$$

Cantidad de pasadas:

$$m = P / p$$

### Ejercicio 15

Una barra de trabajo de 125 mm de diámetro y 1.200 mm de longitud se monta en un tomo mecánico usando un centro vivo en el extremo opuesto. Una porción de 1.000 mm de longitud se tornea a un diámetro de 118 mm en un paso, a una velocidad de 122 m/min y una velocidad de avance = 0,3 mm/rev. Determine a) la profundidad requerida de corte, b) tiempo de corte y e) velocidad de remoción de corte.

### Ejercicio 16

Una barra de trabajo cuyo diámetro = 100 mm y su longitud = 625 mm se tornea a 88 mm de diámetro en dos pasos, en un tomo mecánico con herramienta de carburo cementado. Las condiciones de corte son las siguientes:  $v = 90 \text{ m/min}$ ,  $f = 4,5 \text{ mm/rev}$  y  $d = 3 \text{ mm}$ . La barra se sostiene en un mandril y se soporta en el extremo opuesto en un centro vivo. Con este montaje de sujeción, un extremo debe de tornearse al diámetro. Posteriormente, la barra debe voltearse para toronar el otro extremo. El tiempo requerido para cargar y descargar la barra, usando una grúa disponible en el tomo, es de 5 minutos y el tiempo para voltear la barra es 3 minutos. Para cada torneado se debe añadir una tolerancia a la longitud del tomo de aproximación y sobreavance. La tolerancia total (aproximación y sobrerecorrido) = 1,25 mm. Determine la duración del ciclo total para completar esta operación de torneado.

### Ejercicio 17

Se usa una operación de taladrado para hacer un agujero de 11 mm de diámetro a cierta profundidad. La ejecución de la operación toma 4,5 min de taladrado, usando un fluido refrigerante a alta presión en la punta de la broca. Las condiciones de corte son  $N = 3.000 \text{ rev/min}$  a un avance  $= 0,025 \text{ mm/rev}$ . Para mejorar el acabado de la superficie en el agujero se ha decidido incrementar la velocidad en 20% y disminuir el avance en 25%. ¿Cuánto tiempo tomará ejecutar la operación en las nuevas condiciones de corte?

### Ejercicio 18

Una herramienta de corte cementado se usa para torneear una parte que tiene 450 mm de largo y 750 mm de diámetro. Los parámetros en la ecuación de Taylor son  $n = 0,27$  y  $C = 1.200$ . La tasa para el operador y la máquina herramienta  $= 100 \text{ \$/hr}$ , el costo de herramientas por filo cortante  $= 6 \text{ \$}$ . Se necesitan 3 min para cargar y descargar la parte de trabajo y 1,50 min para cambiar la herramienta. El avance  $= 0,35 \text{ mm/rev}$ . Determine a) velocidad de corte para máxima velocidad de producción, b) vida de la herramienta en minutos de corte y e) la duración del ciclo y el costo por unidad del producto.

### Ejercicio 19

Resuelva el problema 18, excepto que en la parte a) determine la velocidad de corte para el costo mínimo.

## ANEXO

### Condiciones de corte, tiempos de procesado

1. Una parte de trabajo cilíndrica de 125 mm de diámetro y 900 mm de largo se torneaa en un tomo mecánico. Las condiciones de corte son:  $v = 2,5 \text{ m/seg.}$ ,  $f = 0,3 \text{ mm/rev}$  y  $d = 2,0 \text{ mm}$ . Determine: a) el tiempo de corte y b) la velocidad de remoción de metal.
2. El extremo de una parte grande tubular se carea en una perforadora vertical. La parte tiene un diámetro exterior de 1.125 mm y un diámetro interior  $= 625 \text{ mm}$ . Si la operación de careado se ejecuta a una velocidad de rotación  $= 30 \text{ rev/min}$ , el avance  $= 0,5 \text{ mm/rev}$  y la profundidad  $= 3,75 \text{ mm}$ . Determine a) tiempo de corte para completar la operación de careado y b) las velocidades de corte y de remoción de metal al principio y al final del corte.
3. Resuelva el problema 4, excepto que los controles de la máquina herramienta operan a una velocidad de corte constante, ajustando continuamente la velocidad de rotación para posicionar la herramienta con respecto al eje de rotación. La velocidad de rotación al principio del corte  $= 30 \text{ rev/min}$ , y a partir de este punto se incremento continuamente para mantener una velocidad de corte constante.
4. Se torneaa el diámetro exterior de un rodillo para un molino laminador de acero. En el paso final, el diámetro inicial  $= 656 \text{ mm}$  y la longitud  $= 1.200 \text{ mm}$ . Las condiciones de corte serán: avance  $= 0,3 \text{ mm/rev}$  y profundidad de corte  $= 3 \text{ mm}$ . Se usa una herramienta de corte de carburo cementado, y los parámetros de la ecuación de vida de herramienta de Taylor para este montaje son:  $n = 0,25$  y  $C = 1.300$ . Es conveniente operar a una velocidad de corte, de tal manera que la herramienta no necesite



cambiarse durante la operación. Determine la velocidad de corte que hará que la vida de la herramienta sea igual al tiempo requerido para completar esta operación de torneado.

5. Se tornea el diámetro exterior de un cilindro hecho de aleación de titanio. El diámetro inicial = 500 mm y la longitud = 1.000 mm. Las condiciones de corte son  $f = 0,4$  mm/rev y  $d = 3,0$  mm. El torneado se hará con una herramienta de corte de carburo cementado cuyos parámetros en la ecuación de Taylor son  $n = 0,23$  y  $C = 400$  m/min. Calcule la velocidad de corte que permitirá que la vida de la herramienta sea igual al tiempo de corte para esta parte.

6. Se ejecuta una operación de taladrado con una broca helicoidal de 25 mm de diámetro en una parte de trabajo de acero. El agujero ciego tendrá una profundidad de 50 mm y el ángulo de la punta =  $118^\circ$ . Las condiciones de corte son velocidad = 22,5 m/min y el avance = 0,3 mm/rev. Determine: a) el tiempo de corte para completar la operación de taladrado y b) la velocidad de remoción de metal durante la operación.

7. Un taladro prensa de CN ejecuta una serie de agujeros completos en una placa gruesa de aluminio de 44 mm, que es un componente de un intercambiador de calor. Cada agujero tiene 19 mm de diámetro, hay 100 agujeros en total arreglados en una forma de matriz de 10 x 10, y la distancia entre los centros de los agujeros adyacentes (en cuadro) = 37,5 mm. La velocidad de corte = 90 m/min, el avance de penetración (dirección z) = 0,375 mm/rev, la velocidad de avance entre agujeros (plano x-y) = 375 mm/min. Suponga que los movimientos x-y se hacen a una distancia de 1,25 mm sobre la superficie de trabajo, y que esta distancia debe incluirse en la velocidad de avance de penetración para cada agujero. La velocidad a la cual la broca se retira de cada agujero es dos veces la velocidad de avance de penetración. La broca tiene un ángulo de punta =  $100^\circ$ . Determine el tiempo requerido desde el principio del primer agujero hasta la terminación del último, suponga que se usará la secuencia de taladrado más eficiente para completar el trabajo.

8. Se ejecuta una operación de fresado de plancha para acabar la superficie superior de una pieza rectangular de acero de 250 mm de largo por 75 mm de ancho. Se monta una fresa helicoidal de 62 mm de diámetro con 8 dientes, cuyo ancho de la parte sobresale en ambos lados. Las condiciones de corte son  $v = 30$  m/min,  $f = 0,225$  mm/diente y  $d = 6,25$  mm. Determine a) el tiempo para hacer un paso a través de la superficie y b) la velocidad de remoción de metal durante el corte.

9. Se ejecuta una operación de fresado periférico en la superficie superior de una parte rectangular de 300 mm de largo x 100 mm de ancho. La fresa tiene un diámetro de 75 mm y tiene 4 dientes, y sobrepasa el ancho de la parte en ambos lados. Las condiciones de corte son  $v = 80$  m/min,  $f = 0,2$  mm/diente y  $d = 7,0$  mm. Determine: a) el tiempo para hacer un paso a través de la superficie y b) la velocidad de remoción del material durante el corte.

10. Se ejecuta una operación de fresado de frente para acabar la superficie superior de una pieza rectangular de acero de 300 mm de largo x 50 mm de ancho. La fresa tiene 4 dientes (insertos de carburo cementado) y 75 mm de diámetro. Las condiciones de corte son  $v = 150$  m/min,  $f = 0,25$  mm/diente,  $d = 3,75$  mm. Determine a) el tiempo para hacer un paso a través de la superficie y b) la velocidad de remoción del material durante el corte.

11. Resuelva el problema 13, excepto que la pieza tiene 125 mm de ancho y la fresa sobresale de un lado, y la anchura de corte de la fresa = 25 mm.

12. Se usa una operación de fresado frontal para maquinarse 5 mm de la superficie superior de una pieza rectangular de aluminio de 400 mm de largo x 100 mm de ancho. El cortador tiene 4 dientes (insertos de carburo cementado) y 150 mm de diámetro. Las condiciones de corte son  $v = 3$  m/seg,  $f = 0,27$  mm/diente y  $d = 5,0$  mm. Determine: a) el tiempo para hacer un paso a través de la superficie y b) la velocidad de remoción del material durante el corte.

13. Se usa un cepillo de lado abierto para rectificar la superficie superior de una parte rectangular de 625 mm x 1.000 mm. Las condiciones de corte son  $v = 7,5$  m/min,  $f = 0,5$  mm/paso y  $d = 5$  mm. La longitud de la carrera a través del trabajo debe establecerse de manera que se permitan 250 mm al principio y al final de cada carrera para la aproximación y el recorrido adicional. La carrera de retomo, incluyendo una tolerancia para aceleración y desaceleración, consume el 75% del tiempo para la carrera hacia adelante. ¿Cuánto tiempo tomará completar el trabajo? Suponga que la parte se orienta en determinada forma para minimizar el tiempo.

### **Rugosidad superficial**

14. Una operación de torneado utiliza una herramienta de corte con un radio de nariz de 0,8 mm sobre un acero de maquinado libre con una velocidad de avance = 0,25 mm/rev y una velocidad de corte 90 m/min. Determine la rugosidad superficial para este corte.

15. En una operación de torneado sobre fundición gris, el radio de la nariz de la herramienta = 1,0 mm, la velocidad de avance = 0.2 mm/rev y la velocidad = 2 m/seg. Estime la rugosidad superficial para este corte.

16. Se usa una herramienta de punta sencilla de acero rápido con radio de la nariz = 1,2 mm en una operación de perfilado de una parte de acero dúctil. La velocidad de corte = 30 m/min, el avance = 0,375 mm/paso y la profundidad de corte = 3,2 mm. Determine la rugosidad superficial para esta operación.

17. Una parte que se tornea en un torno mecánico debe tener un acabado superficial de  $2,5 \mu\text{m}$ . La parte está hecha de aleación de aluminio de maquinado libre. La velocidad de corte = 150 m/min y la profundidad de corte 2,5 mm. El radio de la nariz = 0,75 mm. Determine el avance que logre el acabado superficial especificado.

18. Resuelva el problema 20, excepto que la parte está hecha de fundición gris en lugar de aluminio, y la velocidad de corte se reduce a 90 m/min.

19. Una parte que se tornea en un tomo mecánico debe tener un acabado superficial de  $1,6 \mu\text{m}$ . La parte está hecha de un acero de maquinado libre. Las condiciones de corte son  $v = 1,5$  m/seg y  $d = 3,0$  mm. El radio de la nariz de la herramienta = 0,75 mm. Determine el avance que logra el acabado superficial especificado.

20. Se realiza una operación de fresado frontal en una parte de fundición de acero a 120 m/min para un acabado superficial de  $0,8 \mu\text{m}$ . El cortador usa 4 insertos y tiene 75 mm de diámetro. Para obtener el mejor acabado posible se usan insertos de carburo con un radio de nariz = 1,6 mm. Determine la velocidad de avance recorrido en m/min que logre el acabado de  $0,8 \mu\text{m}$ .

21. Una operación de fresado frontal no está rindiendo el acabado superficial requerido sobre el trabajo. El cortador tiene cuatro dientes tipo inserto. El supervisor del taller de maquinado cree que el problema es que el material es demasiado dúctil para el trabajo, pero este parámetro está dentro de los límites de ductilidad del material especificados por el diseñador. Sin conocer más acerca del trabajo, ¿qué cambios sugeriría usted en las condiciones de corte y en las herramientas para mejorar el acabado superficial?

22. Se ejecuta una operación de torneado sobre un acero SAE 1010, el cual es un grado dúctil. Se desea lograr un acabado superficial de  $1,6 \mu\text{m}$ , y al mismo tiempo maximizar la velocidad de remoción del metal. Se ha decidido que la velocidad debe estar en una escala de 60 a 120 m/min y que la profundidad de corte sea de 2 mm. El radio de la nariz de la herramienta = 1,2 mm. Determine la combinación y velocidad de avance que cumple con estos criterios.

23. Se ejecuta una operación de fresado periférico usando una fresa para placa con 4 dientes y un diámetro 62 mm. El avance = 0,4 mm/diente, la velocidad de corte = 45 m/min. Supóngase que los dientes están igualmente espaciados alrededor del cortador y que cada diente proyecta una distancia igual desde el eje de rotación, determine la rugosidad superficial teórica para a) el fresado ascendente y b) el fresado descendente.

24. Para acabar una parte de fundición de hierro antes de recubrirse, se ejecuta un fresado plano. El cortador tiene 4 dientes igualmente espaciados y un diámetro = 60 mm. La carga de viruta  $f = 0.35$  mm/diente, la velocidad de corte  $v = 1$  m/seg. Estime la rugosidad superficial para a) el fresado ascendente y b) el fresado descendente.

### Maquinabilidad

25. Se necesita determinar el índice de maquinabilidad para un nuevo material de trabajo usando la velocidad de corte para una vida de la herramienta de 60 min como base de comparación. Del ensayo para el material base (acero SAE 1112), resultaron los siguientes valores de los parámetros de la ecuación de Taylor:  $n = 0,29$  y  $C = 1.500$ . Para el nuevo material, el valor de los parámetros fue  $n = 0,21$  y  $C = 1.200$ . Estos resultados se obtuvieron usando herramientas de carburo cementado. a) Calcule un índice de maquinabilidad para el nuevo material. b) Suponga que el criterio de maquinabilidad fue la velocidad de corte para una vida de la herramienta de 10 min, en lugar del criterio presente. Calcule el índice de maquinabilidad para este caso. e) ¿Qué demuestran los resultados de los dos cálculos acerca de las dificultades en la medida de la maquinabilidad?

26. Se han realizado ensayos sobre la vida de herramientas de torneado sobre acero SAE 1112 con herramientas de acero de alta velocidad, y los parámetros resultantes de la ecuación de Taylor son  $n = 0,13$  y  $C = 225$ . El avance y la profundidad durante estos ensayos fueron  $f = 0,25$  mm /rev y  $d = 2,5$  mm. Con base en esta información y los datos de maquinabilidad proporcionados en la tabla 1, determine la velocidad de corte que recomendaría usted para los siguientes materiales de trabajo si la vida deseada de la herramienta en operación es 30 min: a) C1008 acero al carbono con dureza 150 Brinell, b) aleación de acero SAE 4130 con dureza Brinell = 190, e) acero SAE 1113 con dureza Brinell = 170. Suponga que se usarán el mismo avance y profundidad de corte.

### Economía del maquinado

27. Calcule: a) las vidas de las herramientas, b) los tiempos de producción y e) los costos por unidad de producción para las dos velocidades de corte calculadas en el ejemplo 3. ¿Son consistentes los tiempos y costos con la velocidad máxima de producción y los objetivos de costo mínimo?

28. Se usa una herramienta de acero de alta velocidad para torneado una parte de acero de 300 mm de largo y 80 mm de diámetro. Los parámetros en la ecuación de Taylor son  $n = 0,13$  y  $C = 75$  m/min para un avance de 0,4 mm/rev. El costo del operador y la máquina herramienta = 90 \$/hr y el costo de herramienta por filo de corte = 12 \$. Toma 2 minutos cargar y descargar la parte de trabajo y 3,5 minutos cambiar las herramientas. Determine a) la velocidad de corte para una velocidad de producción máxima, b) la vida de la herramienta en minutos de corte y e) la duración del ciclo y el costo por unidad de producción.

29. Resuelva el problema 33, excepto que en la parte a) determine la velocidad de corte para el costo mínimo.

30. En este problema se comparan las herramientas desechables y reafilables. El mismo grado de herramientas de carburo cementado está disponible en dos formas para operaciones de torneado en un cierto taller de maquinado: insertos desechables e insertos soldados. Los parámetros en la ecuación de

Taylor para este grado son  $n = 0,25$  y  $C = 1.000$  bajo las condiciones de corte consideradas aquí. El precio de cada inserto desechable = 18 \$, cada inserto tiene 4 bordes cortantes, y el tiempo para cambiar la herramienta = 1 min (.éste es un promedio del tiempo para recorrer el inserto y el tiempo para reemplazarlo cuando se han usado todos los bordes). El precio de la herramienta con insertos soldados = 90 \$, y se estima que se puede usar un total de 15 veces antes de desecharla. El tiempo de cambio de herramienta para la herramienta reafilable = 3 min. El tiempo estándar para afilar o reafilar el borde cortante es 5 min, y el afilado se paga a una tasa = 45 \$/hr. El tiempo de maquinado en el tomo cuesta 72 \$/hr. La parte de trabajo a usar en la comparación tiene 375 mm de largo y 62,5 mm de diámetro, y toma 2.0 min cargar y descargar el trabajo. El avance = 0,3 mm/rev para los dos casos. Compare a) las velocidades de corte para costo mínimo, b) las vidas de la herramienta, e) la duración del ciclo y el costo por unidad de producción. ¿Qué herramienta recomendaría usted?

31. Resuelva el problema 35, excepto que en la parte a) determine las velocidades de corte para la máxima velocidad de producción.

32. Se comparan tres materiales de herramientas para la misma operación de torneado de acabado en un lote de 100 partes de acero: acero de alta velocidad, carburo cementado y cerámica. Para el acero de alta velocidad, los parámetros de la ecuación de Taylor son  $n = 0,125$  y  $C = 200$ . El precio de la herramienta de acero de alta velocidad es de 45 \$ y se estima que puede afilarse y reafilarse 15 veces a un costo de 4,50 \$. El tiempo de cambio de la herramienta = 3 min. Las herramientas de carburo y cerámicas son en forma de insertos y pueden fijarse en la misma portaherramienta mecánica. Los parámetros de la ecuación de Taylor para el carburo cementado son  $n = 0,25$  y  $C = 1.500$ , y para la cerámica  $n = 0,6$  y  $C = 10.000$ . El costo por inserto de carburo = 18 \$ y para la cerámica = 24 \$. En ambos casos, el número de cortes de bordes cortantes por inserto = 6. El tiempo de cambio de la herramienta = 1 min para los dos tipos de herramientas. El tiempo de cambio de las partes de trabajo = 2 min. El avance = 0,25 mm/rev y la profundidad = 1,25 mm. El costo del tiempo de maquinado = 90 \$/hr. Las dimensiones de la parte son diámetro = 56 mm y longitud = 287,5 mm. El tiempo de montaje para el lote es de 2 hr. Compare en los tres casos de herramientas: a) las velocidades de corte para costo mínimo, b) las vidas de la herramienta, e) la duración del ciclo, d) el costo por unidad de producción, e) el tiempo total para completar el lote y la velocidad de producción y f) ¿cuál es la proporción de tiempo que toma realmente el corte de metal para cada herramienta?

33. Resuelva el problema 37, excepto que en las partes a) y b) determine las velocidades de corte y las vidas de la herramienta para la máxima velocidad de producción.

34. Se usa una máquina de perforado vertical para perforar el diámetro interno de un lote grande de partes tubulares. El diámetro = 700 mm y la longitud de la perforación = 350 mm. Las condiciones de corte corriente son: velocidad = 60 m/min, avance = 0,375 mm/rev y profundidad = 3,125 mm. Los parámetros de la ecuación de Taylor para la herramienta de corte en esta operación son  $n = 0,23$  y  $C = 850$ .

El tiempo de cambio de la herramienta = 3 min, y el costo de la herramienta = 10,5 \$ por filo cortante. El tiempo requerido para cargar y descargar las partes = 12 min, y el costo de tiempo de la máquina en esta operación de perforado = 125 \$/hr. La gerencia ha indicado que la velocidad de producción para este trabajo debe incrementarse en un 25%. ¿Es esto posible? Suponga que el avance debe permanecer sin cambio a fin de lograr el acabado superficial requerido. ¿Cuál es la velocidad normal de producción y la máxima velocidad posible para este trabajo?

35. Un tomo de CN hace dos pasos de corte a través de una pieza cilíndrica de trabajo en un ciclo automático. El operador carga y descarga la máquina. El diámetro inicial del trabajo es 75 mm y su

longitud = 250 mm. El ciclo de trabajo consiste en los siguientes pasos (con elementos de tiempo dados entre paréntesis en su caso):

- El operador carga la parte en la máquina, empieza el ciclo (1 min).
- El tomo CN pone las herramientas en posición para el primer paso (0,1 min).
- El tomo CN mecaniza la primera parte (el tiempo depende de v).
- El tomo CN reacomoda en posición la herramienta para el segundo paso (0,4 min).
- El tomo CN mecaniza el segundo paso (el tiempo depende de v).
- El operador descarga la parte y la coloca en la bandeja (1 min).

Además, la herramienta de corte debe cambiarse periódicamente y este cambio de herramienta toma 1 min. La velocidad de avance =  $0,175 \text{ mm /rev}$  y la profundidad de corte para cada paso =  $2,5 \text{ mm}$ . El costo del operador y de la máquina =  $117 \text{ \$/hr}$  y el costo de la herramienta =  $6 \text{ \$/filo cortante}$ . La ecuación de Taylor aplicable para la vida de la herramienta tiene los parámetros  $n = 0,26$  y  $C = 900$ . Determine a) la velocidad de corte para el costo mínimo por pieza, b) el tiempo promedio requerido para completar un ciclo de producción, e) el costo del ciclo de producción y d) si el tiempo total de montaje para este trabajo es de 3 hr y el tamaño del lote es de 300 partes, ¿cuánto tiempo tomará completar el lote?

36. El problema 15 demostró que un efecto posible de un fluido para corte tipo refrigerante es incrementar el valor de C en la ecuación de vida de la herramienta de Taylor. En ese problema el valor de C se incremento de 200 a 225 debido al uso de un fluido para corte. La velocidad de corte usada en esa operación fue  $v = 375 \text{ m/min}$ . El problema demostró que el efecto del fluido para corte pudo ser a través de un incremento en la velocidad de corte (con la misma vida de la herramienta) o un incremento en la vida de la herramienta (a la velocidad de corte original). El avance =  $0,25 \text{ mm /rev}$  y la profundidad =  $2,5 \text{ mm}$ . ¿Qué efecto es mejor económicamente? Si el costo de la herramienta =  $6 \text{ \$ por filo cortante}$ , el tiempo de cambio de la herramienta =  $2,5 \text{ min}$ , y el costo del operador y de la máquina =  $90 \text{ \$/hr}$ . Justifique su respuesta con cálculos, usando el costo por  $\text{mm}^3$  de metal maquinado como un criterio de comparación.

## UNIDAD 2: PROCESOS DE FUNDICIÓN Y MOLDEO

### Tiempo de solidificación

El tiempo total de solidificación (TTS) es el tiempo necesario para que la fundición solidifique después del vaciado. Este tiempo depende del tamaño y la forma de la fundición expresada por una relación empírica conocida como la **regla de Chvorinov** que establece:

$$\text{TTS} = C_m \cdot (V / A)^2$$

Donde:

**TTS: tiempo total de solidificación (minutos).**

**$C_m$ : constante del molde (minutos / cm<sup>2</sup>).**

**V: volumen de la fundición (cm<sup>3</sup>).**

**A: área superficial de la fundición (cm<sup>2</sup>).**

El valor de  $C_m$  para una operación se puede basar en datos experimentales de operaciones previas con el mismo material del molde, metal y temperatura de vaciado, aunque las formas sean diferentes.

Esta regla indica que una fundición con una relación de volumen – área superficial, se enfriará y solidificará más lentamente que otra con una relación mas baja.

En otras palabras, el TTS para la mazarota debe exceder el TTS de la fundición o pieza principal. Como las condiciones del molde para la mazarota y la fundición o pieza son las mismas, la constante del molde será igual.

Si el diseño de la mazarota incluye una relación de volumen – área más grande, podremos estar seguros que la fundición principal solidificará primero y se reducirán los efectos de la contracción.

**Ejemplo N°1:**

Diseñar una mazarota de forma cilíndrica cuya relación diámetro – altura sea uno ( $D/H = 1$ ), para lograr la siguiente pieza fundida: 7,5cm x 12,5cm x 2,5cm ( $V = 234,375 \text{ cm}^3$  y  $A = 287,5 \text{ cm}^2$ ) cuyo TTS es 1,6 min., para ello calcular las dimensiones de la mazarota, de manera que su TTS sea de 2 minutos.

Para la pieza fundida tenemos:

$$C_m = \frac{TTS_F}{(V/A)^2} = 1,6 / 0,81522 = 1,963 \text{ min./ cm}^2$$

Para la mazarota tenemos:

$$V = \pi D^2 / 4 \times H = \pi D^3 / 4$$

$$A = \pi D \times H + 2 \times \pi D^2 / 4 = \pi D^2 + \pi D^2 / 2 = 1,5 \pi D^2$$

$$V / A = D / 6$$

Entonces:

$$TTS_M = 2 \text{ min.} = 1,963 (D/6)^2 = D^2 / 18,3424$$

$$D = (2 \cdot 18,3424)^{1/2} = 6 \text{ cm}$$

$$H = 6 \text{ cm}$$

$V = 174,5 \text{ cm}^3$  que es el 74 % del volumen de la pieza, y a pesar de ello se solidifica en un tiempo mayor.

**Ejemplo N°2:**

Comparar el tiempo total de solidificación (TTS) de tres formas: 1) una esfera de  $\varnothing 12 \text{ cm}$ , 2) un cilindro con diámetro y longitud iguales a 12 cm y 3) un cubo de 12 cm por lado.

Considerando que se usa la misma aleación, determinar:

a) Si la constante del molde es  $C_m = 3 \text{ min. / cm}^2$ , calcular el tiempo total de solidificación para cada forma geométrica.

$$V_1 = 4 \cdot \pi \cdot R^3 / 3$$

$$A_1 = 4 \cdot \pi \cdot R^2$$

$$V_1 / A_1 = R / 3 = 2$$

$$TTS_1 = C_m \cdot (V_1 / A_1)^2 = 3 \cdot (2)^2 = 12 \text{ min.}$$

$$V_2 = \pi \cdot D^3 / 4$$

$$A_2 = 1,5 \cdot \pi \cdot D^2$$

$$V_2 / A_2 = D / 6 = 2$$

$$TTS_2 = C_m \cdot (V_2 / A_2)^2 = 3 \cdot (2)^2 = 12 \text{ min.}$$

$$V_3 = L^3$$

$$A_3 = 6.L^2$$

$$V_3 / A_3 = L / 6 = 2$$

$$TTS_3 = C_m \cdot (V_3 / A_3)^2 = 3 \cdot (2)^2 = 12 \text{ min.}$$

b) En base a los resultados anteriores, ¿cual de los 3 elementos geométricos constituye la mejor mazarota?,

La mejor forma para ser usada como mazarota es la cilíndrica por su facilidad constructiva.

### Ejemplo N°3:

Considerando en el ejemplo anterior, que los volúmenes de los 3 casos son iguales a los del cubo, calcular los tres nuevos tiempos totales de solidificación.

Esfera:

$$V_1 = 4.\pi.R^3 / 3 = 12^3 = 1.728 \text{ cm}^3$$

O sea:

$$R_1 = (3 \times 1.728 / 4.\pi)^{1/3} = 7,44420589 \text{ cm}$$

$$A_1 = 696,380524 \text{ cm}^2$$

$$TTS_1 = 3 \cdot (1.728 / 696,380524)^2 = 18,5 \text{ min.}$$

Cilindro:

$$V_2 = \pi.D^3 / 4 = 12^3 = 1.728 \text{ cm}^3$$

O sea:

$$D_2 = (4 \times 1.728 / \pi)^{1/3} = 13,00622568 \text{ cm}$$

$$A_2 = 797,1567041 \text{ cm}^2$$

$$TTS_2 = 3 \cdot (1.728 / 797,1567041)^2 = 14,1 \text{ min.}$$

Cubo:

$$V_3 = L^3 = 12^3 = 1.728 \text{ cm}^3$$

O sea:

$$L_3 = (1.728)^{1/3} = 12 \text{ cm}$$

$$A_3 = 864 \text{ cm}^2$$

$$TTS_2 = 3 \cdot (1.728 / 864)^2 = 12 \text{ min.}$$

A igualdad de volumen la esfera es la forma que tarda más tiempo en solidificarse.



**Ejemplo N°4:**

Diseñar una mazarota de forma esférica para un molde de fundición de acero, siendo la pieza una placa rectangular de 20x10x2 cm. Siendo el tiempo total de solidificación de la pieza 4 min., calcular el diámetro de la mazarota para que la misma tarde en solidificar un 25% más de tiempo que la pieza.

$$TTSp = Cm ( Vp / Ap )^2 = 4 \text{ min.}$$

$$TTSm = Cm ( Vm / Am )^2 = 5 \text{ min.}$$

$$Cm = 4 ( Ap / Vp )^2 = 5 ( Am / Vm )^2$$

Donde:

$$Ap = 520 \text{ cm}^2$$

$$Vp = 400 \text{ cm}^3$$

Como en una esfera se cumple que:

$$Vm = Am.Rm / 3$$

$$4 ( 520 / 400 )^2 = 5 ( 3 / Rm )^2$$

Despejando:

$$Rm = ( 45 / 6,76 )^{1/2} = 2,58 \text{ cm , o sinó}$$

$$Dm = 5,16 \text{ cm}$$

**PROBLEMAS SOBRE: Tiempo de solidificación y diseño de mazarotas**

**Ejercicio1.**

Se sabe que en la fundición de acero bajo ciertas condiciones, la constante del molde para la regla de Chvorinov es  $C_m = 15 \text{ min/mm}^2$ , según experiencias previas. La fundición es una placa plana cuya longitud = 300 mm, ancho = 100 mm y espesor = 20 mm. Determinar cuánto tiempo tardará la fundición para solidificar.

**Ejercicio 2**

Resolver el problema 1 para tiempo de solidificación total, pero utilice un valor de  $n = 1,9$  en la regla de Chvorinov. ¿Qué ajustes deben hacerse en las unidades de  $C_m$ ?

**Ejercicio 3**

Se va a fundir en aluminio una parte en forma de disco. El diámetro del disco = 500 mm y su espesor = 20 mm. Si  $C_m = 2.0 \text{ seg/mm}^2$  en la regla de Chvorinov, ¿cuánto tiempo tardará la fundición en solidificar?

**Ejercicio 4**

En los experimentos de fundición realizados con una cierta aleación y tipo de molde de arena, una pieza en forma de cubo tardó 155 seg en solidificar. El cubo tenía 50 mm por lado. Determine a) el valor de la constante del molde  $C_m$  en la regla de Chvorinov, b) encuentre el tiempo total de solidificación para una fundición cilíndrica con diámetro = 30 mm y longitud = 50 mm con la misma aleación y tipo de molde.

**Ejercicio 5**

Una fundición de acero tiene forma cilíndrica con 100 mm de diámetro y pesa 9 Kg. Esta fundición tarda 6 minutos en solidificar completamente. Otra fundición de forma cilíndrica con la misma relación de diámetro a longitud pesa 4,5 Kg. y está hecha del mismo acero y bajo las mismas condiciones de vaciado y molde. Determine a) la constante del molde en la regla de Chvorinov, b) las dimensiones y c) el tiempo total de solidificación de la fundición más ligera. La densidad del acero es  $7,2 \text{ Kg/dm}^3$ .

**Flotación en la fundición en arena**

Esto se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$F_f = P_m - P_n$$

Donde

$F_f$  = fuerza de flotación;

$P_m$  = peso del metal fundido desplazado; y

$P_n$  = peso del noyo.

Los pesos se determinan al multiplicar el volumen del noyo por las densidades respectivas del material del noyo (típicamente arena) y del metal que se funde. La densidad de un noyo de arena es aproximadamente  $1,6 \text{ g/cm}^3$ . Las densidades de varias aleaciones comunes en fundición se dan en la tabla 1.

Material	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Aluminio (99% puro)	2,70
Aleación aluminio - silicio	2,65
Aleación aluminio-cobre (92% Al)	2,81
Latón	8,62
Fundición de hierro gris	7,16
Cobre (99% puro)	8,73
Plomo (puro)	11,30
Acero	7,82

TABLA 1.- Densidades de aleaciones seleccionadas para fundición

Al continuar con la solidificación y el enfriamiento, el molde de arena se rompe para recuperar la parte de fundición. Ésta se enfría, el sistema de vaciado y mazarota se separan, y la arena se remueve. Finalmente se inspecciona la fundición.

Un noyo de arena tiene un volumen  $V_N = 774 \text{ cm}^3$ , y está localizado dentro de la cavidad de un molde de arena. Determine la fuerza de flotación que tiende a levantar el noyo durante el vaciado de plomo fundido en el molde.

**Solución:**

La densidad del noyo de arena es  $1,6 \text{ gr/cm}^3$ , el peso del noyo es  $P_N = V_N \cdot \gamma_N = 774 \cdot 1,6 = 1.238 \text{ gr}$ . La densidad del plomo, es  $11,3 \text{ gr/cm}^3$ . El peso del plomo desplazado por el noyo es  $P_{Pb} = V_N \cdot \gamma_{Pb} = 774 \cdot 11,3 = 8.746 \text{ gr}$ . La fuerza de flotación es por lo tanto:

$$F_f = P_{Pb} - P_N$$

$$F_f = 8.746 - 1.238 = 7,508 \text{ gr} = 7,5 \text{ Kg aproximadamente.}$$

**Flotación:** Se utiliza la siguiente expresión:

$$F_f = P_m - P_n = \gamma_m \cdot V_n - \gamma_n \cdot V_n$$

Donde:

$P_m$ : volumen del noyo por la densidad del material de la fundición. Peso del volumen del noyo en material fundido.  
 $P_n$ : volumen del noyo por la densidad del material del noyo. Peso del volumen del noyo en arena.

<i>Material</i>	Densidad $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> o Kgr/dm <sup>3</sup> )
Noyo de arana	1,60
Acero	7,82
Fundición gris	7,16
Aluminio	2,70
Aluminio-Silicio	2,65
Aluminio-Cobre	2,81
Cobre	8,73

Latón	8,62
Plomo	11,30

**Ejemplo N°1:**

Para fundir una carcasa de bomba de agua en fundición gris, en la cavidad del molde se usa un noyo de arena que tiene un volumen de 2.500 cm<sup>3</sup>, calcular la fuerza de flotación que someterá al noyo en el momento de llenado del molde.

$$F_f = \gamma_m \cdot V_n - \gamma_n \cdot V_n = (7,16 - 1,60) \cdot 2.500 = 13.900 \text{ gr} = 13,9 \text{ Kg}$$

**Ejemplo N°2:**

Dentro de la cavidad de un molde de arena se usan sujetadores para soportar un noyo. El diseño de los mismos y su ubicación en la cavidad, les permiten soportar cada uno una fuerza de 5 Kg, antes y después del llenado del molde. Si el volumen del noyo es de 5 dm<sup>3</sup> y el material de llenado es bronce, calcular el número mínimo necesario de sujetadores antes del llenado debajo del noyo, y después del llenado encima del noyo.

La fuerza a soportar antes del llenado es:

$$P_n = \gamma_n \cdot V_n = 1,60 \times 5 = 8 \text{ Kg}$$

Entonces:

$$N^\circ \text{antes} = 8 / 5 = \text{aprox. } 2 \text{ en la parte inferior del noyo.}$$

Además:

$$P_m = \gamma_m \cdot V_n = 8,65 \times 5 = 13,84 \text{ Kg}$$

*Entonces:*

$$N^\circ \text{después} = 13,84 / 5 = \text{aprox. } 3 \text{ en la parte superior del noyo.}$$

O sea que el total de sujetadores a utilizar será de 5 unidades.

**Ejemplo N°3:**

El noyo de arena que se usa para formar las superficies internas de una pieza fundida en acero, soporta una fuerza de flotación de 25 Kg, si el volumen externo de la cavidad del molde es de 6 dm<sup>3</sup>, cual es el peso de la fundición total despreciando la contracción?.

$$F_f = P_m - P_n = \gamma_m \cdot V_n - \gamma_n \cdot V_n = (\gamma_m - \gamma_n) V_n = 25 \text{ Kg}$$

O sea que:

$$V_n = 25 / (\gamma_m - \gamma_n) = 25 / (7,82 - 1,60) = 4 \text{ dm}^3$$

Entonces:

$$V_{\text{pieza}} = V_m - V_n = 6 - 4 = 2 \text{ dm}^3$$

Por lo tanto el peso de la pieza será:

$$W_{\text{pieza}} = \gamma_m \cdot V_{\text{pieza}} = 7,82 \times 4 = 31,3 \text{ Kg}$$

## PROBLEMAS SOBRE: Fuerza de flotación

### Ejercicio 10

Un corazón de arena en la cavidad de un molde que se usa en la fundición de una caja para una bomba de hierro fundido tiene un volumen de 1.000 cm<sup>3</sup>. Determine la fuerza de flotación que tenderá a levantar el corazón durante el vaciado.

### Ejercicio 11

Se usan sujetadores para soportar un corazón de arena dentro de la cavidad de un molde de arena. El diseño de los sujetadores y la manera en como colocan en la cavidad del molde permiten que cada sujetador soporte una fuerza de 3,5 Kg. Varios sujetadores se localizan debajo del corazón para soportarlo antes de vaciar, y otros se colocan arriba del corazón para resistir la fuerza de flotación durante el vaciado. Si el volumen del corazón = 2.100 cm<sup>3</sup>, y el metal que se vacía es bronce. Determine el número mínimo de sujetadores que deben colocarse: a) debajo del corazón y b) arriba del corazón.

### Fundición centrífuga

#### *Fundición centrífuga real*

La orientación del eje de rotación del molde puede ser horizontal o vertical, pero esta última es la más común. Para que el proceso trabaje satisfactoriamente se calcula la velocidad de rotación del molde. La fuerza centrífuga en *la fundición centrífuga horizontal* está definida por la ecuación:

$$(2) \quad F = \frac{mv^2}{R}$$

Donde:

F = fuerza en Kg; m = masa en kg.seg<sup>2</sup>/m; v = velocidad en m/seg y R = radio interior del molde en cm. La fuerza de gravedad es su peso W = m.g, donde W está dada en Kg y g = aceleración de la gravedad m/seg<sup>2</sup>. El factor -G, GF es la relación de fuerza centrífuga dividida por el peso

$$(3) \quad GF = \frac{F}{W} = \frac{mv^2}{Rmg} = \frac{v^2}{Rg}$$

La velocidad v puede expresarse como  $2\pi R \square / 60 = \pi RN / 30$ , donde N = velocidad rotacional rev/min. Al sustituir esta expresión en la ecuación (3) obtenemos

$$(4) \quad GF = \frac{R \left(\frac{\pi N}{30}\right)^2}{g}$$

Despejando la velocidad rotacional N y us:  $N = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gGF}{D}}$  y D en lugar del radio, tenemos

(5)

Donde:

D = diámetro interior del molde, en m. Si el factor -G es demasiado bajo en la fundición centrífuga, el metal líquido no quedará pegado a la pared del molde durante la mitad superior de la ruta circular sino que "lloverá" dentro de la cavidad. Ocurren deslizamientos entre el metal fundido y la pared del molde, lo cual significa que la velocidad rotacional del metal es menor que la del molde.

Empíricamente, los valores de **GF = 60 a 80** son apropiados para la fundición centrífuga horizontal, aunque esto depende hasta cierto punto del metal que se funde.

### Ejemplo N°1:

En un proceso de fundición centrífuga de eje horizontal se fabrican tubos de hierro fundido de: 110 cm de longitud por 20 cm de diámetro externo y 1,3 cm de espesor de pared. Si la velocidad de rotación es de 500 rpm, calcular el factor -G (GF) y observar si esta operación tiene posibilidades de éxito.

La expresión es:

$$N = \left( \frac{30}{\pi} \sqrt{2 \cdot g \cdot GF / D} \right)^2 = 42,3 \left( GF / D \right)^{1/2}$$

Despejando:

$$GF = D \cdot \left( N / 42,3 \right)^2 = 0,20 \cdot \left( 500 / 42,3 \right)^2 = 28$$

En esta expresión las unidades son.

N: rpm

D: m

G: m/seg<sup>2</sup>

Conclusión: los valores normales de GF deben estar entre 60 y 80, o sea que las posibilidades de lograr esta operación con buenos resultados para un GF = 28 no serán buenas.

### Ejemplo N°2:

Para lograr tramos de tubos de cobre de 1 m de largo, 25 cm de diámetro externo y 15 mm de espesor, se realiza un proceso de fundición centrífuga horizontal a una velocidad de 700 rpm. Calcular el factor-G en el metal fundido.

En este caso resulta:

$$GF = D \left( N / 42,3 \right)^2 = 0,25 \left( 700 / 42,3 \right)^2 = 68,5$$

Este es un buen valor de GF.

### Ejemplo N°3:

En un proceso de fundición centrífuga vertical se hacen secciones de tubos de aluminio de longitud 25 cm, diámetro externo 15 cm, el diámetro interno superior es de 14 cm y el diámetro interno inferior es 13 cm . Calcular el número de revoluciones por minuto para generar un factor-G de 60.

Entonces aplicamos:

$$N = 42,3 (L / R^2s - R^2i)^{1/2} = 42,3 (0,25 / 0,14^2 - 0,13^2)^{1/2} = 407 \text{ rpm}$$

*PROBLEMAS SOBRE: Fundición centrífuga real (horizontal)*

### **Ejercicio 12**

Una operación de fundición centrífuga se realiza en una configuración horizontal para hacer secciones de tubos de hierro fundido. La sección tiene una longitud = 110 cm, el diámetro exterior es de 20 cm y el espesor de la pared es 1,3 cm. Si la velocidad de rotación del tubo es 500 rev/min, determinar el factor -G y explicar si esta operación tiene probabilidades de éxito.

### **Ejercicio 13**

Un proceso de fundición centrífuga horizontal se usa para hacer bujes de latón con las siguientes dimensiones: longitud = 100 mm, diámetro externo = 150 mm y diámetro interno = 110 mm. a) determinar la velocidad de rotación requerida para lograr un factor -G = 70; b) cuando se opera a esta velocidad, ¿cuál es la fuerza centrífuga por mm<sup>2</sup> que impuesta el metal fundido sobre la pared interior del molde?

## **Fundición semicentrífuga (Vertical)**

En este método se usa la fuerza centrífuga para producir fundiciones sólidas en lugar de partes tubulares. La velocidad de rotación se ajusta generalmente para un factor-G alrededor de 15, y los moldes se diseñan con mazarotas que alimenten metal fundido desde el centro. La densidad del metal en la fundición final es más grande en la sección externa que en el centro de rotación. El proceso se usa frecuentemente para producir fundiciones en las que se elimina el centro mediante maquinado, excluyendo así la porción de más baja calidad. Los volantes y las poleas son ejemplos de fundiciones que pueden hacerse por este proceso. Se usan frecuentemente moldes consumibles o desechables en la fundición semicentrífuga, como sugiere nuestra ilustración del proceso.

*PROBLEMAS SOBRE: Fundición semicentrífuga (Vertical)*

### **Ejercicio 14**

Un proceso de fundición centrífuga vertical se usa para hacer secciones de tubos cuyas longitudes son de 250 mm y su diámetro exterior es de 154 mm. El diámetro interior del tubo es de 140 mm en la parte superior y 130 mm en la parte del fondo. ¿A qué velocidad debe girar el tubo durante la operación para lograr estas especificaciones?

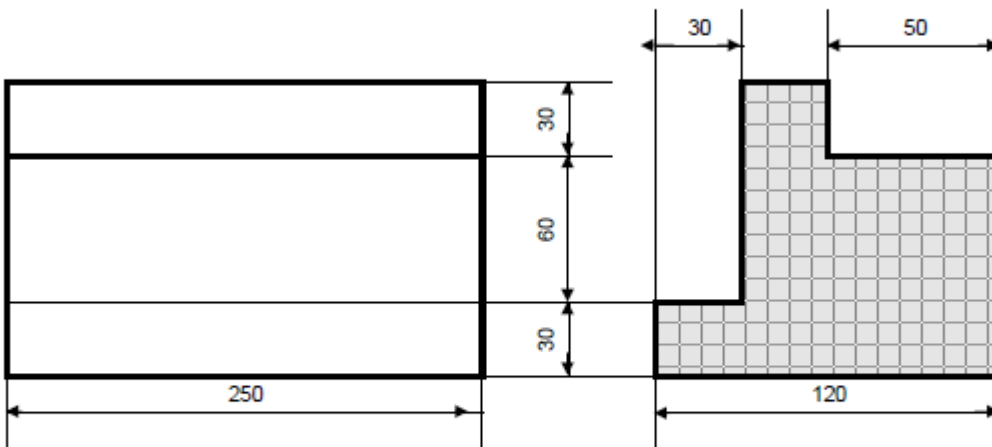
determinar los diámetros interiores en la parte superior y en el fondo del tubo si el peso total de la fundición final = 28 Kg.

**Ejercicio 15**

1. Determinar la cantidad de material de fundición para la fabricación de 150 piezas por día, según el croquis indicado en la figura, adicionando el 5% de material para los canales de colada de la pieza y canales de mazarota, sabiendo que el  $\rho$  es = 7,85 Kg/dm<sup>3</sup>, y sabiendo que la Constante del molde es = a la Constante de pieza = Constante de mazarota: sabiendo que se diseña una mazarota cilíndrica de base D y de altura H,

**PIEZA:**

medidas en mm



Mazarota en forma cilíndrica  $H = 1,2 D$   
 $T_{spza} = 2min$   $T_{smz} = 2,6min$

**Calcular:**

- ✓ Área de la pieza.
- ✓ Volumen de la pieza.
- ✓ Relación cuadrática volumen área de la pieza.
- ✓ Relación cuadrática volumen área de la mazarota.
- ✓ Constante de molde.
- ✓ Diámetro y altura de la mazarota
- ✓ Área de la mazarota.
- ✓ Volumen de la mazarota.
- ✓ Peso de la Pieza.
- ✓ Peso de la mazarota.
- ✓ Peso final por pieza.
- ✓ Cantidad de material de fundición para la fabricación de 150 piezas por turno.



### Ejercicio 16

Con los resultados de los ejercicios N° 15, calcular la cantidad de energía total empleada para realizar el proceso de fundición de la pieza en cuestión, en Joule.

$$Q = \rho V [C_{ps}(T_f - T_0) + \Delta H_f + C_{pl}(T_v - T_f)]$$

Sabiendo que:

Q=energía total(Joule);  $\rho$ =densidad(kg/m<sup>3</sup>); V=volumen(m<sup>3</sup>); Cpl=calor específico(J/kg-°C); Tf=Temp. de fusión(°C); T0=Temperatura inicial(°C);  $\Delta H_f$ =Entalpía de fusión(J/kg); Tv=Temp. de vaciado.

Símbolo: **Fe (acero de fundición) ejercicios n°3, y n°5**

Clasificación: Metales de transición Grupo 8

Número Atómico: 26

Masa Atómica: 55,845

Energía de ionización (kJ.mol<sup>-1</sup>): 759

Afinidad electrónica (kJ.mol<sup>-1</sup>): 16

Radio atómico (pm): 128

**Entalpía de fusión (kJ.mol<sup>-1</sup>): 14,9**

Entalpía de vaporización (kJ.mol<sup>-1</sup>): 351

Punto de Fusión (°C): 1538

Punto de Ebullición (°C): 2861

**Densidad (kg/m<sup>3</sup>): 7850; (20 °C)**

Volumen atómico (cm<sup>3</sup>/mol): 7,09

**°K = °C + 273.15**

**Tv (fundición) = 1580 °C**

**Tf (fundición) = 1538 °C**

**To (fundición) = 150 °C**

**Calor específico (capacidad calorífica específica) (25 °C, 1 atm=101 325 Pa) = 452 J/(Kg.°K).**

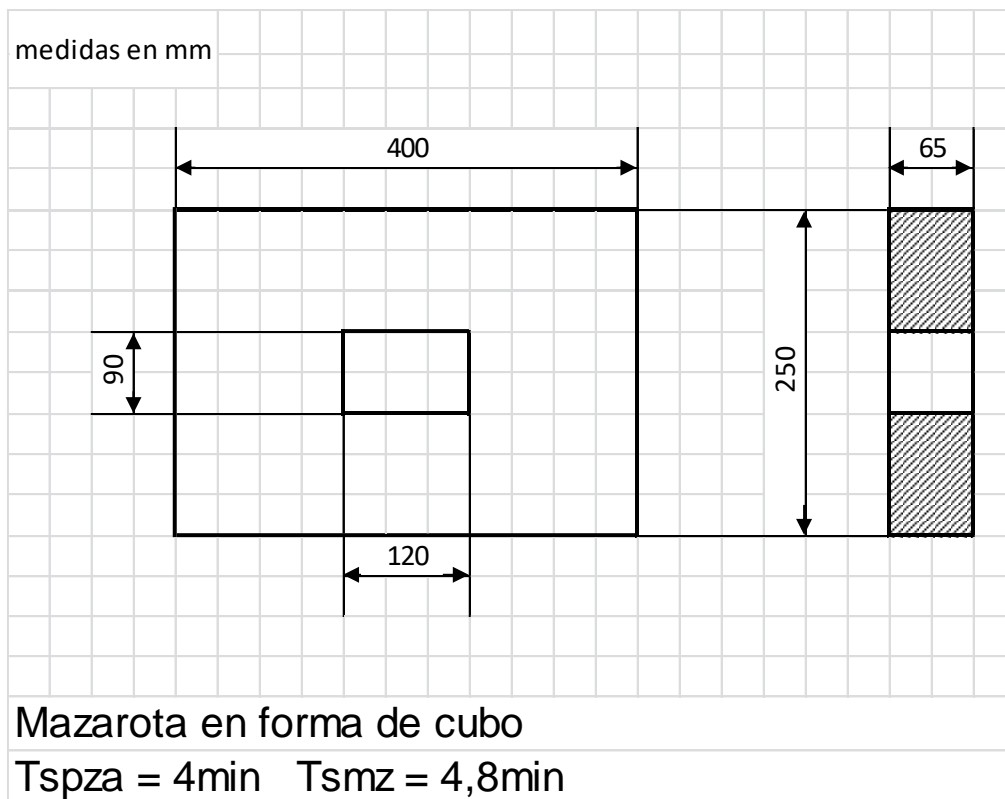
NOTA:

Para pasar de KJ a J simplemente multiplicar por mil. Para pasar de Kg a moles depende de la sustancia. n (n° moles) = m (masa en gramos) / u (unidades de masa atómica o molecular).

**Ejercicio 17**

1. Determinar la cantidad de material de fundición para la fabricación de 200 piezas por día, según el croquis indicado en la figura, adicionando el 7% de material para los canales de colada de la pieza y canales de mazarota, sabiendo que el material es Aluminio y tiene una densidad  $\rho$  es =  $2,7 \text{ Kg/dm}^3$ , Sabiendo que se diseña una mazarota cubica.

**PIEZA:**



**Calcular:**

- ✓ Área de la pieza.
- ✓ Volumen de la pieza.
- ✓ Relación cuadrática volumen área de la pieza.
- ✓ Constante de molde.
- ✓ Dimensión del lado del cubo de la mazarota
- ✓ Área de la mazarota.
- ✓ Volumen de la mazarota.
- ✓ Peso de la Pieza.
- ✓ Peso de la mazarota.
- ✓ Peso final por pieza.
- ✓ Cantidad de material de fundición para la fabricación de 200 piezas por turno.

### Ejercicio 18

Con los resultados de los ejercicios N° 17, calcular la cantidad de energía total empleada para realizar el proceso de fundición de las piezas en cuestión, en Joule.

$$Q = \rho V [C_{ps}(T_f - T_0) + \Delta H_f + C_{pl}(T_v - T_f)]$$

Sabiendo que:

Q=energía total(Joule);  $\rho$ =densidad(kg/m<sup>3</sup>); V=volumen(m<sup>3</sup>); Cpl=calor específico(J/kg-°C); Tf=Temp. de fusión(°C); T0=Temperatura inicial(°C);  $\Delta H_f$ =Entalpía de fusión(J/kg); Tv=Temp. de vaciado.

**Símbolo: Al (Aluminio) ejercicios n°4**

**Clasificación:** Elementos térreos Grupo 13 Otros Metales

**Número Atómico:** 13

**Masa Atómica:** 26,9815

**Energía de ionización (kJ.mol-1):** 577

**Afinidad electrónica (kJ.mol-1):** 43

**Radio atómico (pm):** 143

**Radio iónico (pm) (carga del ion):** 53 (+3)

**Entalpía de fusión (kJ.mol-1):** 10,67

**Entalpía de vaporización (kJ.mol-1):** 293,72

**Punto de Fusión (°C):** 660,32

**Punto de Ebullición (°C):** 2519

**Densidad (kg/m<sup>3</sup>):** 2698,4; (20 °C)

**Volumen atómico (cm<sup>3</sup>/mol):** 9,999

**°K = °C + 273.15**

**Tv (fundición de aluminio) =** 950 °C

**Tf (fundición de aluminio) =** 933 °C

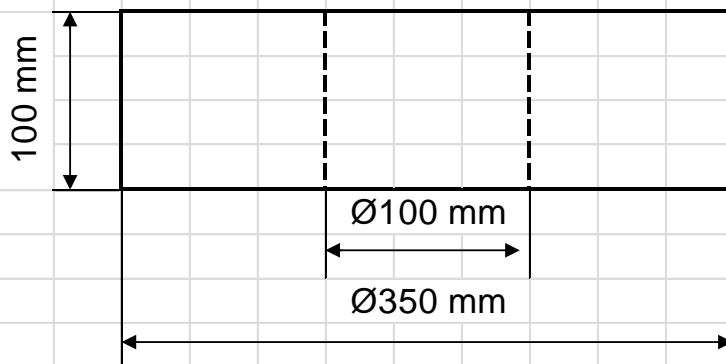
**To (aluminio) =** 50 °C

**Calor específico (capacidad calorífica específica) (25 °C, 1 atm=101 325 Pa) =** 897 J/(Kg.°K).

**Ejercicio 19**

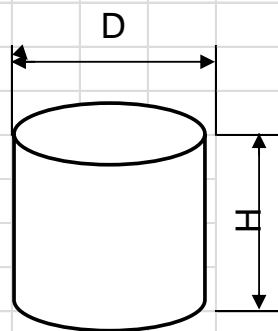
Determinar la cantidad de material de fundición para la fabricación de 1000 piezas por día, según indica la figura.

Pieza



$T_{sp} = 3 \text{ min.}$   
 $T_{sm} = 3,75 \text{ min.}$   
 $\rho = 7,85 \text{ Kg/dm}^3$   
 Adicionar 5% por canales de colada y mazarota.

Mazarota

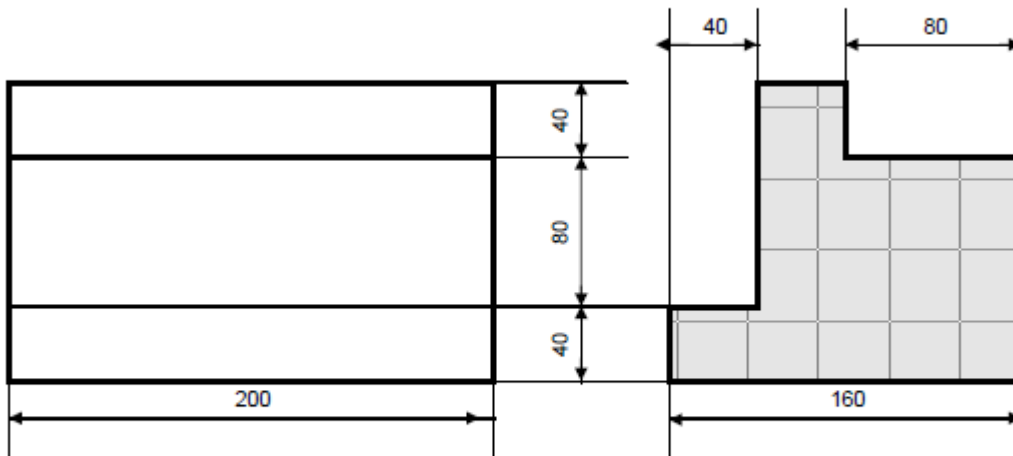


$H = 1,3 D$

**Ejercicio 20**

Determinar la cantidad de material de fundición para la fabricación de 500 piezas por día, según el croquis indicado en la figura, adicionando el 6 % de material para los canales de colada de la pieza y canales de mazarota, sabiendo que el  $\rho$  es = 5,35 Kg/dm<sup>3</sup>, y sabiendo que la Constante del molde es = a la Constante de pieza = Constante de mazarota, sabiendo además que se diseña una mazarota cónica/cilíndrica de base D.max., de altura H, y con orificio de D.min igual a 10 mm

medidas en mm



Mazarota en forma conica cilíndrica  $H = 2 \cdot D_{max}$ ;  $D_{min} = 10 \text{ mm}$ ;  $D_{max} = ?$

$T_s. pza = 4 \text{ min}$   $T_s. mz = 6 \text{ min}$

**Calcular:**

- ✓ Área de la pieza.
- ✓ Volumen de la pieza.
- ✓ Relación cuadrática volumen área de la pieza.
- ✓ Constante de molde.
- ✓ Dimensión del diámetro máximo ( $D_{max}$ ) del cono cilíndrico de la mazarota
- ✓ Área de la mazarota.
- ✓ Volumen de la mazarota.
- ✓ Peso de la Pieza.
- ✓ Peso de la mazarota.
- ✓ Peso final por pieza.
- ✓ Cantidad de material de fundición para la fabricación de 500 piezas por turno.

**ANEXO:****Ejercicio 21**

Se compara el tiempo total de solidificación de tres formas: 1) una esfera con diámetro de 2,5 cm 2) un cilindro con diámetro y longitud iguales a 2,5 cm y 3) un cubo de 2,5 cm por lado. En los tres casos se usa la misma aleación. Determine: a) los tiempos relativos de solidificación para cada forma geométrica; b) en base en los resultados de a) ¿cuál de los tres elementos geométricos constituyen la mejor mazarota?; c) si  $C_m = 3 \text{ min/cm}^2$  en la regla de Chvorinov, calcule el tiempo total de solidificación para cada fundición.

**Ejercicio 22**

Ésta es una variación del ejercicio 6 donde se comparan los tiempos totales de solidificación de tres formas de fundición: 1) una esfera, 2) un cilindro en el cual  $L/D = 1$  y 3) un cubo. Para las tres formas geométricas, el volumen  $V = 2,5 \text{ cm}^3$ . Usando la misma aleación en los tres casos: a) determine el tiempo relativo de solidificación para cada forma geométrica. b) Con base en los resultados de a), ¿qué elemento geométrico constituiría la mejor mazarota? c) Si  $C_m = 3 \text{ min/cm}^2$  en la regla de Chvorinov, calcule el tiempo total de solidificación para cada fundición.

**Ejercicio 23**

Se va a usar una mazarota cilíndrica en un molde de fundición en arena. Determine la relación de diámetro a longitud que maximiza el tiempo de solidificación para un volumen dado del cilindro.

**Ejercicio 24**

Se diseña una mazarota cilíndrica para un molde de fundición en arena. La longitud del cilindro es 1,25 veces su diámetro. La fundición es una plancha cuadrada que mide 25 cm por lado, y su espesor = 2 cm. Si el metal es hierro fundido y  $C_m = 2,6 \text{ min/cm}^2$  en la regla de Chvorinov, determine las dimensiones de la mazarota de manera que tome 30% más del tiempo establecido para solidificarse.

**Ejercicio 25**

Se va a diseñar una mazarota cilíndrica con una relación de altura a diámetro = 1 para un molde de fundición en arena. La forma geométrica de la fundición se ilustra en la figura. Si  $C_m = 3,2 \text{ min/cm}^2$  en la regla de Chvorinov, determine las dimensiones de la mazarota de manera que se solidifique 0.5 minutos después que la fundición.

**Ejercicio 26**

Una fundición de aleación de aluminio y cobre se hace en un molde de arena usando un corazón de arena que pesa 20 kg. Determine la fuerza de flotación en Kg que tiende a levantar el corazón durante el vaciado.

**Ejercicio 27**

Un corazón de arena, que se usa para formar las superficies internas de una fundición de acero, experimenta una fuerza de flotación de 18 Kg. El volumen de la cavidad del molde que forma la superficie externa de la fundición =  $5.250 \text{ cm}^3$ . ¿Cuál es el peso de la fundición final? Ignore la contracción.

**Ejercicio 28**

Una operación de fundición centrífuga horizontal se utiliza para hacer secciones de tubo de cobre de diámetros grandes. Los tubos tienen una longitud = 1 m, el diámetro exterior es = 25 cm y el espesor de la pared = 15 mm. Si la velocidad de rotación del tubo es de 700 rev/min: a) determinar el factor -G en el metal fundido. b) ¿Es suficiente la velocidad de rotación para evitar la "lluvia". e) Si se tiene en cuenta la contracción por solidificación y la contracción después de la solidificación, ¿qué volumen de metal fundido debe vaciarse en el molde para lograr la pieza fundida?

**Ejercicio 29**

Si una operación de fundición centrífuga horizontal se realizara en una estación espacial orbitando la Tierra, ¿cómo afectaría la ausencia de peso al proceso?

**Ejercicio 30**

Un proceso de fundición centrífuga vertical se usa para hacer anillos de aluminio con las siguientes dimensiones: longitud = 50 mm, diámetro externo = 660 mm y diámetro interno = 610 mm. Determinar la velocidad de rotación que genere un factor -G = 60.

**Ejercicio 31**

Supongamos en el problema 5 que el anillo se hiciera de acero en lugar de aluminio. Si la velocidad de rotación calculada en el problema 5 se usara en la operación de fundición del acero, determinar: a) el factor -G y b) la fuerza centrífuga por cm sobre la pared del molde. e) ¿Se tendrá una operación exitosa con esta velocidad de rotación?

**Ejercicio 32**

Para el anillo de acero del problema 6, determinar el volumen de metal fundido que debe vaciarse en el molde, dado que la contracción del líquido es de 0,5%. La contracción por solidificación y la del sólido después de la solidificación es 7,2 %.

**Ejercicio 33**

Una fundición centrífuga horizontal se usa en la manufactura de tubos de plomo para una planta química. El tubo tiene una longitud = 500 mm, el diámetro exterior = 70 mm y el espesor = 6 mm. Determinar la velocidad de rotación que proporcione un factor-G = 60.

**Ejercicio 34**

Un proceso de fundición centrífuga vertical se usa para producir bujes que tienen 200 mm de longitud y 200 mm de diámetro exterior, si la velocidad de rotación durante la solidificación es de 500 RPM, determinar el diámetro interior en la parte superior del buje, si el diámetro en el fondo es de 150 mm.

**Ejercicio 35**

Un proceso de fundición centrífuga vertical se usa para fundir tubería de latón que tiene 38 cm de longitud con un diámetro exterior de 20 cm. Si la velocidad de rotación durante la solidificación es 1.000 RPM,