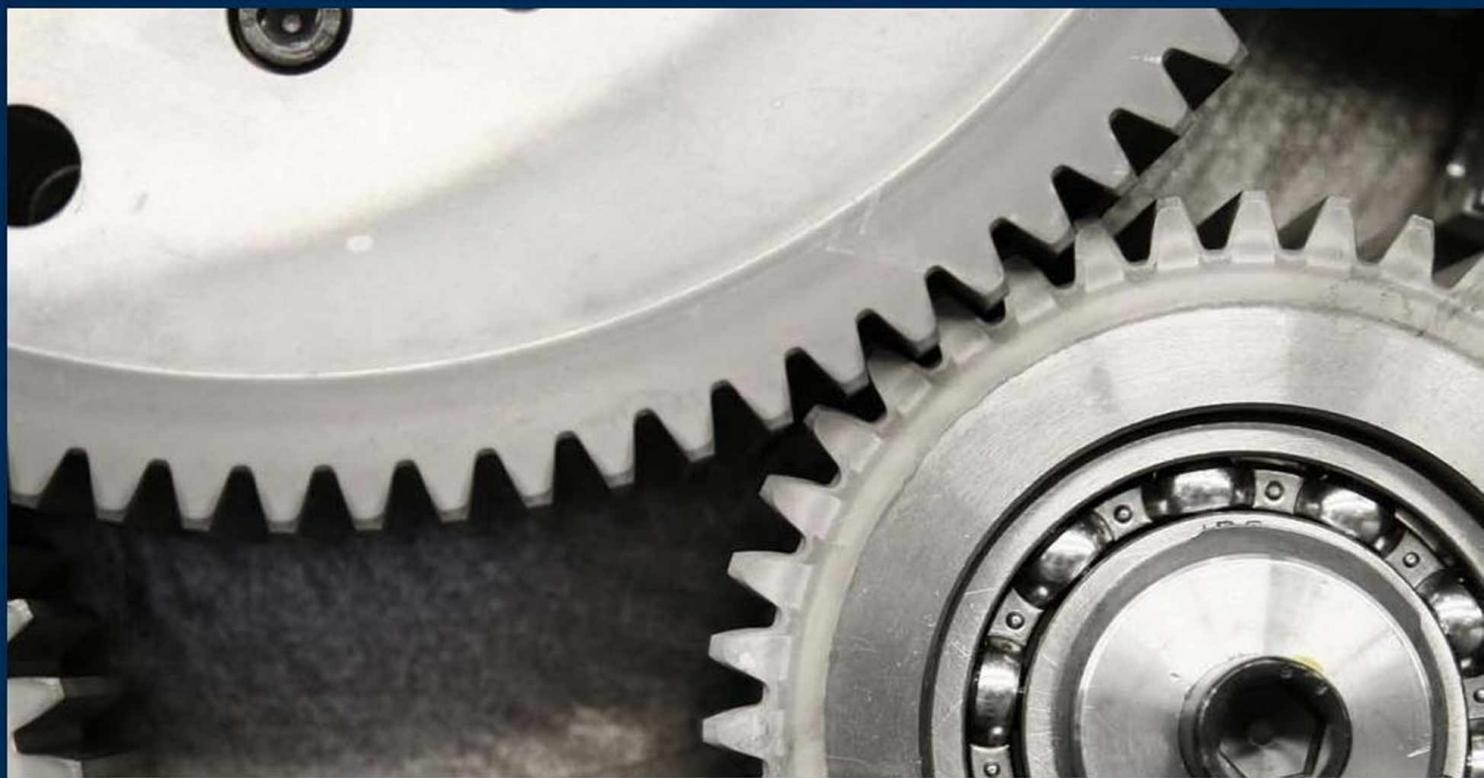




# Ejercicios y problemas de mecanizado



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Miguel Angel Sebastián Pérez



The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a splash or a drop. Below the text, there is a horizontal orange bar that tapers at both ends, giving the impression of a shadow or a base.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ejercicios y problemas de mecanizado

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a splash or a drop. Below the text, there is a horizontal orange bar that tapers at both ends, creating a shadow effect under the text.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Ejercicios y problemas de mecanizado

Eva María Rubio Alvir  
Miguel Ángel Sebastián Pérez

Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación.  
*Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).*

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a map of the city of Cartagena. Below the text, there is a horizontal orange bar with a slight gradient.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Datos de catalogación bibliográfica

**Eva María Rubio Alvir, Miguel Ángel Sebastián Pérez**

*Ejercicios y problemas de mecanizado*

PEARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid, 2011

ISBN: 978-84-8322-765-7

ISBN UNED: 978-84-362-5691-2

Materia: 62, Tecnología en General

Formato: 195 × 250 mm

Páginas: 112

Todos los derechos reservados.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (*arts. 270 y sgts. Código penal*).

Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos: [www.cedro.org](http://www.cedro.org)), si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

DERECHOS RESERVADOS

© 2011, PEARSON EDUCACIÓN, S. A.

C/ Ribera del Loira, 28

28042 Madrid (España)

[www.pearsoneducacion.com](http://www.pearsoneducacion.com)

PRENTICE HALL es un sello editorial autorizado de PEARSON EDUCACIÓN.

ISBN: 978-84-8322-765-7

ISBN UNED: 978-84-362-5691-2

Depósito Legal: M-8322-765-7

**Equipo editorial:**

**Editor:** Miguel Martín-Romo

**Técnico editorial:** Esther Martín

**Equipo de producción:**

**Director:** José Antonio Clares

**Técnico:** Isabel Muñoz

**Diseño de cubierta:** Equipo de Diseño de PEARSON EDUCACIÓN, S. A.

**Composición:** JOSUR TRATAMIENTO DE TEXTOS, S.L.

**Impreso por:**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Índice

<b>Prólogo</b> .....	VII
<b>Presentación</b> .....	IX
<b>Ejercicio 1.</b> Geometría del corte ortogonal .....	1
<b>Ejercicio 2.</b> Fuerza y potencia de corte .....	4
<b>Ejercicio 3.</b> Fuerza y potencia de corte .....	7
<b>Ejercicio 4.</b> Torno: cilindrado.....	10
<b>Ejercicio 5.</b> Torno: cilindrado.....	12
<b>Ejercicio 6.</b> Torno: cilindrado.....	15
<b>Ejercicio 7.</b> Torno: cilindrado.....	17
<b>Ejercicio 8.</b> Fresado frontal.....	21
<b>Ejercicio 9.</b> Fresado frontal.....	23
<b>Ejercicio 10.</b> Fresado frontal.....	25
<b>Ejercicio 11.</b> Fresado periférico .....	27
<b>Ejercicio 12.</b> Taladrado .....	29
<b>Ejercicio 13.</b> Taladrado .....	30
<b>Ejercicio 14.</b> Taladrado .....	32
<b>Ejercicio 15.</b> Taladrado .....	34
<b>Ejercicio 16.</b> Rectificado .....	36
<b>Ejercicio 17.</b> Rectificado .....	38
<b>Ejercicio 18.</b> Rectificado .....	40
<b>Ejercicio 19.</b> Movimiento principal rectilíneo: cepillado .....	42
<b>Ejercicio 20.</b> Movimiento principal rectilíneo: cepillado .....	44
<b>Ejercicio 21.</b> Movimiento principal rectilíneo: brochado .....	46
<b>Ejercicio 22.</b> Movimiento principal rectilíneo: brochado .....	48
<b>Ejercicio 23.</b> Otros procesos: fresado químico .....	49
<b>Ejercicio 24.</b> Vida de la herramienta .....	50
<b>Ejercicio 25.</b> Vida de la herramienta .....	53
<b>Ejercicio 26.</b> Vida de la herramienta: torno.....	56
<b>Ejercicio 27.</b> Vida de la herramienta: torno.....	58

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a splash or a drop. Below the text, there is a horizontal orange bar that tapers at both ends, giving it a ribbon-like appearance.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

---

# Prólogo

---

Los procesos de mecanizado en la fabricación mecánica ocupan puestos de relevancia a la hora de afrontar con calidad y economía la creación de piezas en múltiples materiales, formas, tamaños, precisión, acabado y número.

Por otra parte, el adecuado conocimiento de los principios básicos de los procesos de mecanizado facilita el desarrollo de nuevas tecnologías, ya presentes hoy en día, tales como el mecanizado a alta velocidad, el micromecanizado, la creación de superficies estructuradas, y el mecanizado de los nuevos materiales como, por ejemplo, los nanomateriales. Áreas, todas ellas, de innegable futuro por las que se podrán obtener componentes apropiados para novedosas prestaciones en nuevos campos útiles, tanto en la mecánica tradicional como en los microsistemas electromecánicos.

El presente libro aborda el tratamiento de la planificación práctica de los procesos de mecanizado a través de un repertorio de ejemplos tratados tanto desde la perspectiva práctica de taller como desde la científica en la que se analiza el proceso acorde a su fenomenología. El texto es un complemento apropiado a las tradicionales obras que estudian la materia desde una perspectiva teórica, o meramente descriptiva, y de aquellas otras más orientadas a calculistas que planifican operaciones de taller. También puede ser de gran ayuda para aquellos ingenieros que tengan que desarrollar aplicaciones informáticas de apoyo a los procesos de fabricación.

Los autores han desarrollado una variada y detallada colección de ejercicios resueltos con los que será posible su comprensión y aprehensión para los alumnos que cursan la disciplina tanto a través de la metodología a distancia como para la presencial, y también para ingenieros que deben abordar estas tareas sin haberlas cursado.

El trabajo continuado desde tiempo atrás de los doctores Sebastián y Rubio, garantiza la solvencia del enfoque y tratamiento de los problemas abordados, pues vienen impartiendo este tipo de en-

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a splash or a stylized letter 'C'. Below the text, there is a horizontal orange bar that tapers at both ends, creating a shadow effect.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

---

# Presentación

---

En la enseñanza de materias tecnológicas suele ser común el recurso al empleo de «ejercicios y problemas» considerando ambos términos en sus acepciones específicas, tales como «trabajos prácticos que pueden servir de complemento y comprobación de la enseñanza teórica» y «planteamiento de situaciones cuya respuesta desconocida debe ser obtenida por medios sistemáticos de fundamentación científica»; ahora bien, también cabe resumir y agrupar ambos conceptos en el término genérico de «ejercicios», entendidos éstos como «acción de ejercitar». En la presente obra se ha partido de la consideración de la dualidad «complementos formativos a la enseñanza teórica/soluciones a situaciones técnicas», pero cada vez ha ido tomando más cuerpo el «fomento de acciones para ejercitarse en actividades ingenieriles atinentes al mecanizado». Por ello se ha concluido con la consideración genérica como «ejercicios» a los problemas y ejercicios desarrollados a lo largo de sus páginas.

Por tanto, el libro es un recopilatorio de 29 ejercicios resueltos, en los que se abordan los principales aspectos científico-tecnológicos de los distintos procesos de mecanizado. En particular, se considera el estudio de la geometría y la cinemática de los distintos procesos de conformado por eliminación de material, el cálculo de la fuerza y de la potencia puestas en juego, las condiciones de corte y el análisis de otras cuestiones asociadas a la realización industrial de tales procesos; entre ellas, la vida de la herramienta, la economía del mecanizado y la planificación de procesos.

Incluye, además, tres anexos con material complementario que permiten la resolución de los ejercicios y problemas así como una mejor comprensión de los mismos. Concretamente, se incluyen: un listado con los principales símbolos y unidades empleados, un conjunto de figuras y un formulario asociado en el que se recogen las expresiones básicas, y una serie de tablas con algunas de las principales propiedades de los materiales de las piezas y herramientas más habitualmente usadas en los procesos de mecanizado por arranque de viruta.

El libro, de nivel universitario y diseñado bajo la filosofía del nuevo Espacio Europeo de Educa-

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a splash or a stylized '9'. Below the text, there is a horizontal orange bar that tapers at both ends, giving it a dynamic, arrow-like appearance.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 1

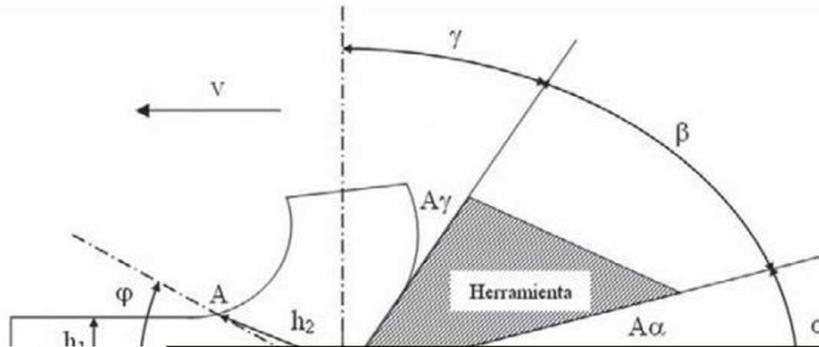
**Geometría del corte ortogonal**

Calcular el ángulo de deslizamiento, el coeficiente de rozamiento y la tensión dinámica de deslizamiento para un proceso de mecanizado en el que se dan las siguientes condiciones:

<i>Material</i>	<i>Acero</i>
Velocidad de corte	$V = 0,5 \text{ m/s}$
Ángulo de desprendimiento	$\gamma = 15^\circ$
Espesor de la viruta no deformada	$h_1 = 0,15 \text{ mm}$
Ancho de corte	$b = 4 \text{ mm}$
Longitud de la viruta no deformada	$l_1 = 250 \text{ mm}$
Longitud de la viruta	$l_2 = 110 \text{ mm}$
Fuerza en el plano normal	$N_c = 50 \text{ daN}$
Fuerza colineal con la velocidad	$F_c = 100 \text{ daN}$

**SOLUCIÓN**

Para la resolución de este ejercicio se va a tomar el modelo de corte ortogonal del plano de deslizamiento propuesto por Pijspanen y recogido esquemáticamente en esta figura:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Donde:

- $A_\gamma$ , *cara de desprendimiento*, es sobre la que desliza la viruta.
- $A_\alpha$ , *cara de incidencia*, es la que queda siempre frente a la superficie mecanizada.
- $\gamma$ , *ángulo de desprendimiento*, es el comprendido entre la *cara de desprendimiento* y el plano normal a la superficie de la pieza que está siendo mecanizada.
- $\alpha$ , *ángulo de incidencia*, es el formado por la *cara de incidencia* con la superficie que ya ha sido mecanizada.
- $\beta$ , *ángulo de filo o de corte*, es el comprendido entre las caras  $A_\gamma$  y  $A_\alpha$ .
- $\varphi$ , *ángulo de deslizamiento*, es el que identifica el plano sobre el que desliza la viruta deformada.

Para hallar el ángulo de rozamiento,  $\rho$ , se aplica la relación geométrica existente entre los ángulos de desprendimiento y de rozamiento y las fuerzas indicadas en el proceso de mecanizado:

$$\operatorname{tg}(\rho - \gamma) = \frac{N_c}{F_c}$$

$$\operatorname{tg}(\rho - \gamma) = \frac{N_c}{F_c} = \frac{50}{100} \Rightarrow \operatorname{tg}(\rho - \gamma) = 0,5 \Rightarrow \operatorname{tg}(\rho - \gamma) = 26,57^\circ \Rightarrow \rho = 41,57^\circ$$

Una vez determinado el ángulo de rozamiento, se puede calcular el coeficiente de rozamiento,  $\mu$ , si se tiene en cuenta la siguiente relación:

$$\mu = \operatorname{tg}\rho = \operatorname{tg}41,57^\circ = 0,88 \approx 0,9$$

Para el cálculo del ángulo de deslizamiento es necesario determinar el factor de recalado con los datos aportados en el enunciado, de acuerdo a la siguiente relación:

$$l_1 \cdot h_1 = l_2 \cdot h_2 \Rightarrow \xi = \frac{h_2}{h_1} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{250}{110} = 2,27$$

Con el valor obtenido del factor de recalado y el dato del ángulo de desprendimiento, se puede calcular el ángulo de deslizamiento:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\cos\gamma}{\xi - \operatorname{sen}\gamma} = \frac{\cos 15^\circ}{2,27 - \operatorname{sen} 15^\circ} = 0,48 \Rightarrow \varphi = 25,65^\circ \approx 26^\circ$$

Para calcular la tensión dinámica de deslizamiento,  $\tau_v$ , se opera de esta forma:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

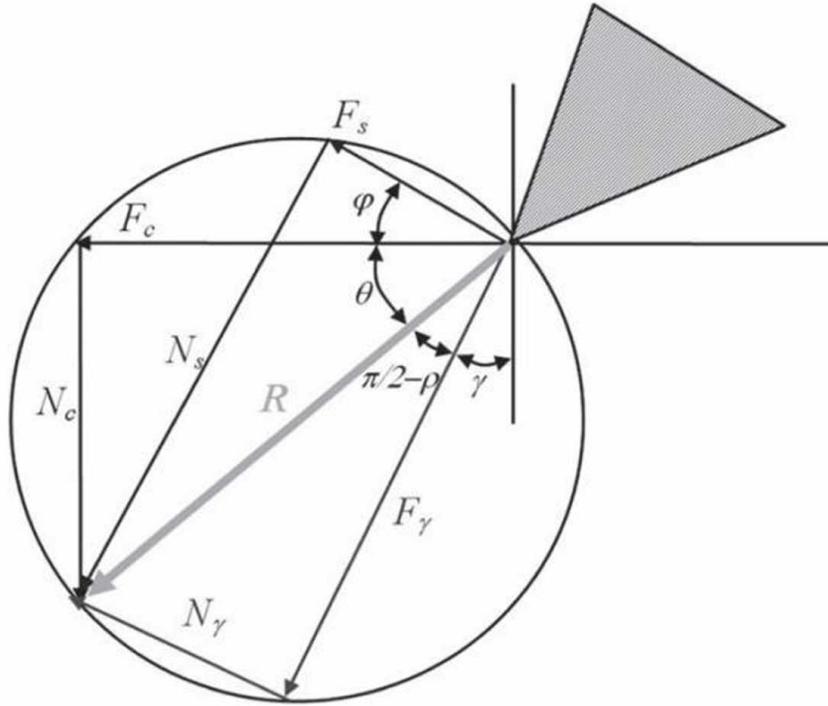
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

$$\tau_s = \frac{68,49}{4 \cdot 0,15} \cdot \text{sen}25,65 = 49,41 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \approx 50 \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2}$$

En la siguiente figura se puede ver la descomposición de las fuerzas en las distintas direcciones. De esta figura se pueden deducir las relaciones anteriormente indicadas entre los distintos ángulos y fuerzas.



**Figura 1.2.** Descomposición de la fuerza resultante de corte,  $R$ , según las direcciones del corte, del plano de deslizamiento y del plano de desprendimiento.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## EJERCICIO 2

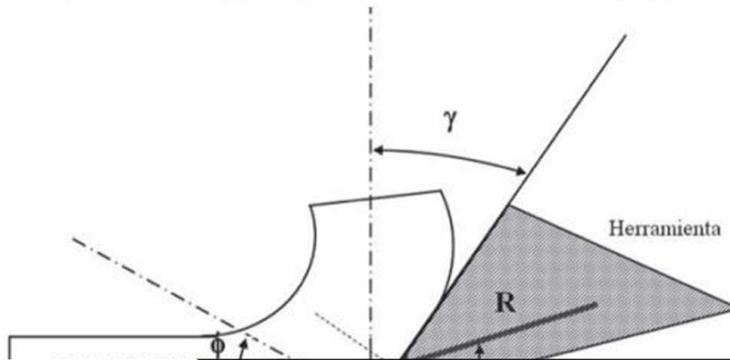
***Fuerza y potencia de corte***

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

Ángulo de desprendimiento	$\gamma = 25^\circ$
Espesor de la viruta no deformada	$h_1 = 0,11 \text{ mm}$
Ancho de corte	$b = 4,25 \text{ mm}$
Tensión dinámica de deslizamiento	$\tau_s = 310 \text{ N/mm}^2$
Longitud de la viruta no deformada	$l_1 = 130 \text{ mm}$
Longitud de la viruta	$l_2 = 20 \text{ mm}$
Coefficiente aparente de rozamiento	$\mu = 0,6$
Velocidad de corte	$V = 40 \text{ m/min}$

**SOLUCIÓN**

Para calcular la fuerza total ejercida sobre la herramienta es necesario conocer el valor de la resultante de fuerzas,  $R$ , que actúan sobre ella (Figura 2.1), así como el de las fuerzas en que puede descomponerse y el de los ángulos que las relacionan con ella (Figura 2.2).

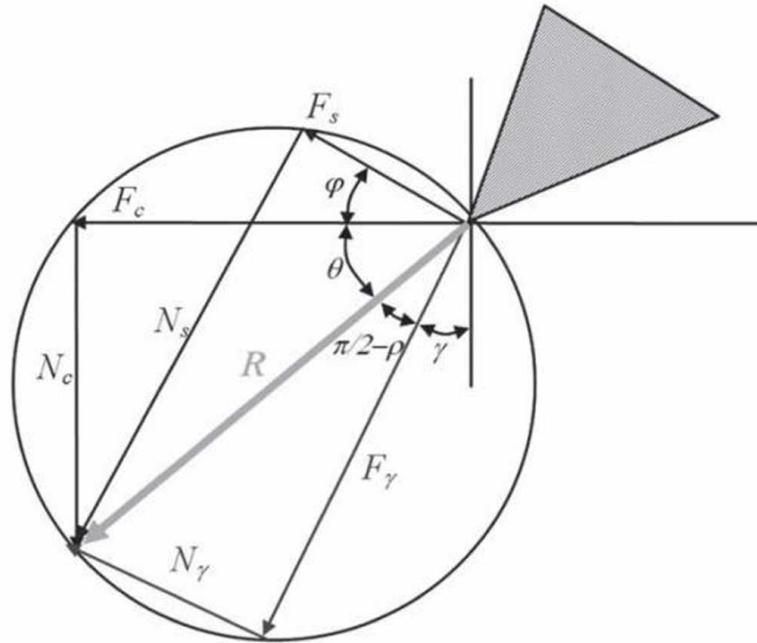


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



**Figura 2.2.** Descomposición de la resultante de fuerzas,  $R$ , que actúan sobre la herramienta de corte según la dirección del corte, del plano de deslizamiento y del plano de desprendimiento.

Como además de la fuerza ejercida sobre la herramienta se pide calcular la potencia necesaria para llevar a cabo el corte de las distintas fuerzas en que puede descomponerse la resultante, es interesante saber cuál es la fuerza de corte,  $F_c$ , puesto que va a permitir calcular la potencia necesaria con tan solo multiplicar su valor por la velocidad de corte  $V$ .

Hay que tener en cuenta los datos de partida  $\gamma$ ,  $h_1$ ,  $b$ ,  $\tau_s$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $\mu$  y  $V$  y las siguientes relaciones:

$$F_s = \tau_s \cdot b \cdot \frac{h_1}{\text{sen}\varphi}$$

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

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

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

siendo:

$$\xi = \frac{l_1}{l_2} = \frac{130}{20} = 6,5$$

Con los valores numéricos de las anteriores expresiones se obtiene:

$$\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{\cos 25^\circ}{6,5 - \operatorname{sen} 25^\circ}\right) = 8,48^\circ$$

$$\rho = \operatorname{arctg} 0,6 = 30,96^\circ$$

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

$$F_c = 310 \cdot 4,25 \cdot 0,11 \cdot \frac{\cos(30,96^\circ - 25^\circ)}{\operatorname{sen} 8,48^\circ \cdot \cos(8,48^\circ + 30,96^\circ - 25^\circ)} = 986,09 \text{ N}$$

$$R = \frac{F_c}{\cos(\rho - \gamma)} = \frac{986,09}{\cos(30,96^\circ - 25^\circ)} = 996,05 \text{ N} \approx 1 \text{ kN}$$

$$\dot{W} = F_c \cdot V = 996,05 \cdot \frac{40}{60} = 664,03 \text{ W} \approx 664 \text{ W}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## EJERCICIO 3

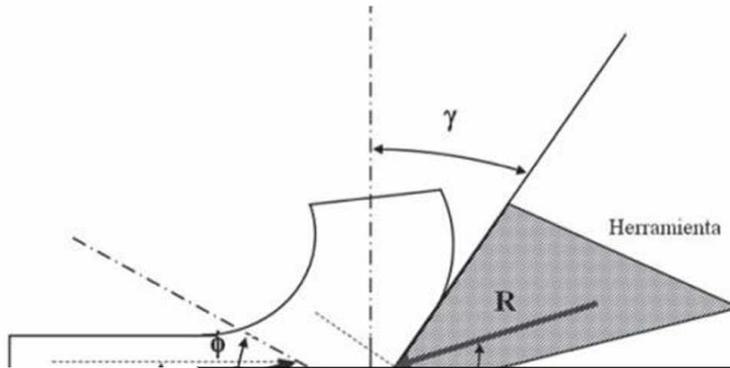
***Fuerza y potencia de corte***

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

Ángulo de desprendimiento	$\gamma = 20^\circ$
Espesor de la viruta no deformada	$h_1 = 0,115 \text{ mm}$
Ancho de corte	$b = 4 \text{ mm}$
Tensión dinámica de deslizamiento	$\tau_s = 310 \text{ N/mm}^2$
Longitud de la viruta no deformada	$l_1 = 125 \text{ mm}$
Longitud de la viruta	$l_2 = 30 \text{ mm}$
Coefficiente aparente de rozamiento	$\mu = 0,6$
Velocidad de corte	$V = 35 \text{ m/min}$

**SOLUCIÓN**

Para calcular la fuerza total ejercida sobre la herramienta es necesario conocer el valor de la resultante de fuerzas,  $R$ , que actúan sobre ella (Figura 3.1), así como el de las fuerzas en que puede descomponerse y el de los ángulos que las relacionan con ella (Figura 3.2).

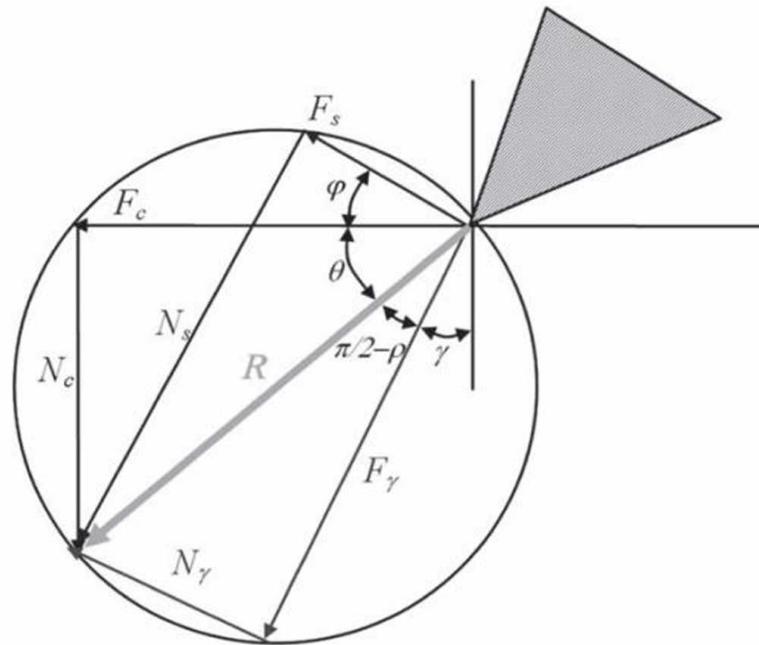


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



**Figura 3.2.** Descomposición de la resultante de fuerzas,  $R$ , que actúan sobre la herramienta de corte según la dirección del corte, del plano de deslizamiento y del plano de desprendimiento.

Como además de la fuerza ejercida sobre la herramienta se pide calcular la potencia necesaria para llevar a cabo el corte de las distintas fuerzas en que puede descomponerse la resultante, es interesante saber cuál es la fuerza de corte,  $F_c$ , puesto que va a permitir calcular la potencia necesaria con tan solo multiplicar su valor por la velocidad de corte  $V$ .

Hay que tener en cuenta los datos de partida  $\gamma$ ,  $h_1$ ,  $b$ ,  $\tau_s$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $\mu$  y  $V$  y las siguientes relaciones:

$$F_s = \tau_s \cdot b \cdot \frac{h_1}{\text{sen}\varphi}$$

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

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

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

siendo:

$$\xi = \frac{h_2}{h_1} = \frac{l_1}{l_2}$$

Con los valores numéricos de las anteriores expresiones se obtiene:

$$\xi = \frac{l_1}{l_2} = \frac{125}{30} = 4,17$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\cos 20^\circ}{4,17 - \text{sen} 20^\circ}\right) = \arctg 0,245 = 13,80^\circ$$

$$\rho = \arctg 0,6 = 30,96^\circ$$

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

$$F_c = 310 \cdot 4 \cdot 0,115 \cdot \frac{\cos(30,96^\circ - 20^\circ)}{\text{sen} 13,80^\circ \cdot \cos(13,80^\circ + 30,96^\circ - 20^\circ)} = 646,33 \text{ N}$$

$$R = \frac{F_c}{\cos(\rho - \gamma)} = \frac{646,33}{\cos(30,96^\circ - 20^\circ)} = 658,34 \text{ N} \approx 658,5 \text{ N}$$

$$\dot{W} = F_c \cdot V = 646,33 \cdot \frac{35}{60} = 377,03 \text{ W} \approx 377 \text{ W}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

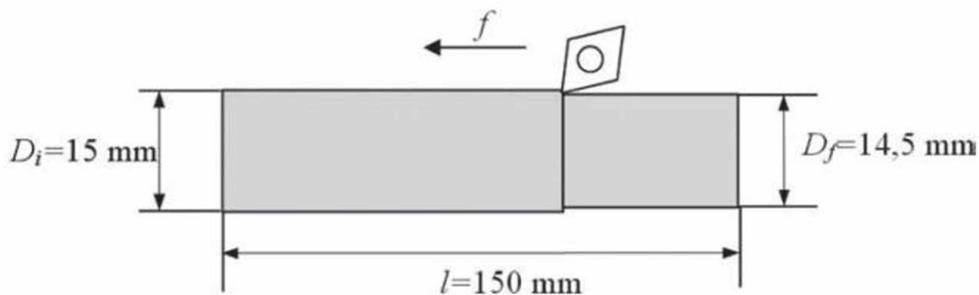
## EJERCICIO 4

**Torno: cilindrado**

Se tiene un redondo de acero inoxidable de 15 mm de diámetro y 150 mm de longitud, cuyo diámetro se reduce hasta 14,5 mm mediante una operación de cilindrado en la que el husillo gira a  $N = 400$  rpm y la velocidad de avance de la herramienta es de  $f = 200$  mm/min.

Calcular la potencia disipada y la fuerza de corte.

Dato: Energía específica  $w = 4,1$  GJ/m<sup>3</sup>.

**SOLUCIÓN**

**Figura 4.1.** Esquema de la operación de cilindrado en el proceso de torneado.

La potencia disipada se puede calcular a partir del valor de la energía específica y del volumen total de material eliminado por unidad de tiempo:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z}$$

siendo:

$$\dot{z} = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot a \cdot N$$

donde:

—  $D_m$  es el diámetro medio que viene dado por:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

—  $a$  es el *avance* en mm/rev, relacionado con la *velocidad de avance*,  $f$ , por:

$$f = a \cdot N$$

$N$  son las revoluciones por minuto a las que gira el husillo.

Por tanto, el volumen de material eliminado por minuto será:

$$\dot{z} = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot a \cdot N = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot f = \pi \cdot 14,75 \cdot 0,25 \cdot 200 = 2.316,92 \text{ mm}^3/\text{min}$$

Con ello, la potencia se obtiene de

$$\dot{W} = 4,1 \cdot \frac{2.316,92}{60} = 158,32 \text{ W} \approx 158,5 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta que la potencia puede expresarse:

$$\dot{W} = T \cdot \omega \quad \text{siendo} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot N \quad \text{y} \quad T = F_c \cdot \frac{D_m}{2}$$

Lo que permite formular la fuerza de corte,  $F_c$ , o fuerza tangencial que ejerce la herramienta:

$$\dot{W} = F_c \cdot \frac{D_m}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot N \Rightarrow F_c = \frac{\dot{W}}{D_m \cdot \pi \cdot N} = \frac{158,32}{14,75 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot \frac{400}{60}} = 512,5 \text{ N}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 5

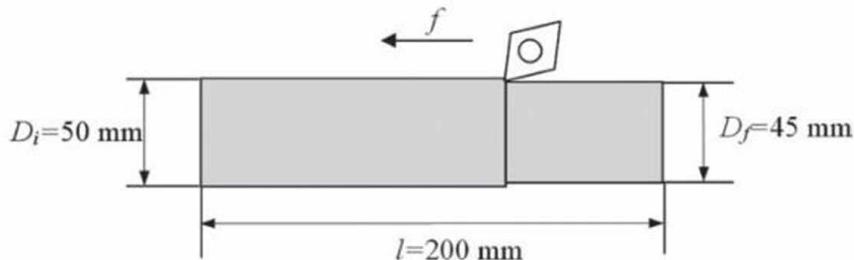
**Torno: cilindrado**

Se dispone de un torno con las siguientes características:

- Gama de velocidades del torno (en rpm): 2.000, 1.500, 750, 500, 250, 125 y 62.
- Potencia máxima: 5 kW.
- Rendimiento global estimado:  $\eta = 0,9$ .

En él se van a mecanizar piezas de acero al carbono con una herramienta de acero rápido. Se cilindran en desbaste preformas de 200 mm de longitud y 50 mm de diámetro hasta que el diámetro final sea 45 mm. Se tiene en cuenta que la velocidad de corte recomendada por el fabricante de la herramienta es 40 m/min para el proceso y el material elegidos, y que la presión de corte del acero al carbono es  $p_c = 500 \text{ MN/m}^2$ .

Determinar las condiciones de corte (velocidad de corte,  $V$ ; avance,  $a$ , y profundidad de pasada,  $d$ ) en condiciones de potencia máxima, y el tiempo necesario para llevar a cabo el mecanizado.

**SOLUCIÓN**

**Figura 5.1.** Esquema de la operación de cilindrado en el proceso de torneado.

Se parte de una geometría concreta de la preforma y de una velocidad de corte recomendada por el fabricante de la herramienta. Otros datos de partida son: la presión de corte del material que se va a mecanizar así como la potencia que se tiene disponible para poder eliminar el material. Con estos datos, se obtiene una velocidad de rotación  $N^*$  del torno a partir de la fórmula:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

$$N^* = \frac{1.000 \cdot 40}{\pi \cdot 50} = 254,64 \text{ rpm}$$

Ahora bien, en general el valor de  $N^*$  no va a coincidir con ninguno de los valores disponibles en el torno que se esté usando, por lo que es necesario elegir un valor de  $N$  dentro de la gama de velocidades de rotación del torno lo más próximo posible a  $N^*$ . Por lo general, se elige por defecto, aunque se puede usar un valor por exceso, siempre y cuando el valor resultante de la velocidad de corte no supere demasiado al valor de la velocidad de corte recomendado,  $V^*$ . En este caso se toma  $N = 250$  rpm.

Una vez fijado  $N$ , se obtiene  $V$ , de la expresión:

$$V = \frac{\pi \cdot D_m \cdot N}{1.000} = \frac{\pi \cdot 47,5 \cdot 250}{1.000} = 37,3 \text{ m/min}$$

donde  $D_m = \frac{D_i + D_f}{2}$  y las unidades son las ya indicadas.

Para este valor de  $V$ , y con los datos de  $p_c$  y la potencia de corte  $\dot{W}$ , es posible determinar el valor de la sección de viruta  $A_1$  y los valores de avance y profundidad de pasada en función de los criterios establecidos para desbaste y acabado. Hay que ajustar el valor del avance obtenido a un valor disponible en la gama de avances del torno, quedando finalmente establecidos los valores de las condiciones de corte.

$$F_c = \frac{\dot{W}}{V} = \eta \cdot \frac{\dot{W}_m}{V} = 0,9 \cdot \frac{5.000}{(37,3 / 60)} = 7.238,6 \text{ N}$$

$$A_1 = \frac{F_c}{p_c} = \frac{7.238,6}{500 \cdot 10^6} = 1,447 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 = 14,47 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_1}{d} = \frac{14,47}{2,5} = 5,8 \text{ mm/rev}$$

La potencia necesaria para realizar el corte  $\dot{W}$  debe ser menor que la potencia disponible para llevar a cabo el mecanizado, también llamada potencia útil  $\dot{W}_u$ . Esta potencia se obtiene multiplicando el valor de la potencia del motor o accionamiento de la máquina-herramienta  $\dot{W}_m$  por un rendimiento  $\eta$  que recoge las pérdidas de potencia en las transmisiones de los accionamientos:

$$\dot{W} < \dot{W}_u$$

$$\dot{W}_u = \eta \dot{W}_m$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

El tiempo empleado en el corte viene dado por la ecuación:

$$t = \frac{l}{f}$$

siendo  $l$  la longitud de la barra que hay que mecanizar y  $f$  la velocidad de avance:

$$f = a \cdot N$$

$$f = 5,8 \cdot 250 = 1.447 \text{ mm/min}$$

$$t = \frac{l}{f} = \frac{200}{1.375} = 0,138 \text{ min} = 8,29 \text{ s} \approx 8 \text{ s}$$

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part. The text is set against a light blue background with a subtle gradient and a soft shadow effect.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

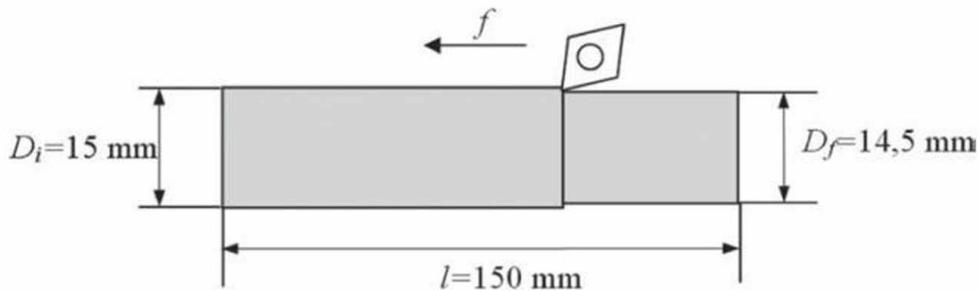
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 6

**Torno: cilindrado**

Se tiene una barra cilíndrica de acero inoxidable de 15 mm de diámetro y 150 mm de longitud. Su diámetro se reduce hasta 14,5 mm mediante una operación de cilindrado en la que el husillo gira a  $N = 400$  rpm, y la velocidad de avance de la herramienta es de  $f = 200$  mm/min.

Calcular la velocidad de corte, el volumen de material eliminado por minuto o caudal de material eliminado y el tiempo de corte.

**SOLUCIÓN**

**Figura 6.1.** Esquema de la operación de cilindrado en el proceso de torneado.

La velocidad de corte,  $V$ , viene dada por la expresión:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1.000}$$

donde  $V$  se da en metros por minuto cuando  $D$  se da en milímetros y  $N$  en revoluciones por minuto.

Para el cálculo de  $V$ , es habitual emplear el valor del diámetro medio de cada pasada:

$$D_m = \frac{D_i + D_f}{2}$$

En este caso, dado que la profundidad de pasada es pequeña, el valor de la velocidad de corte se

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

$$V = \frac{\pi \cdot D_m \cdot N}{1.000} = \frac{\pi \cdot 14,5 \cdot 400}{1.000} = 18,54 \text{ m/min}$$

El volumen de material eliminado por minuto viene dado por:

$$\dot{z} = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot a \cdot N = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot f$$

donde:

—  $D_m$  es el diámetro medio:

$$D_m = \frac{D_i + D_f}{2} = \frac{15 + 14,5}{2} = 14,75 \text{ mm}$$

—  $d$  es la profundidad de corte o profundidad de pasada:

$$d = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{15 - 14,5}{2} = 0,25 \text{ mm}$$

—  $a$  es el avance en milímetros por revolución, relacionado con la velocidad de avance,  $f$ , por  $N$ :

$$f = a \cdot N$$

—  $N$  son las revoluciones por minuto a las que gira el husillo.

Por tanto, el volumen de material eliminado por minuto es:

$$\dot{z} = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot f = \pi \cdot 14,75 \cdot 0,25 \cdot 200 = 2.316,92 \text{ mm}^3/\text{min}$$

El tiempo empleado en el corte viene dado por la ecuación:

$$t = \frac{l}{f} = \frac{150}{200} = 0,75 \text{ min} = 45 \text{ s}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

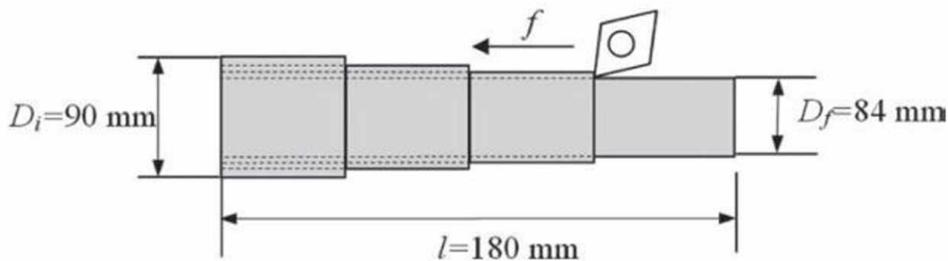
## EJERCICIO 7

**Torno: cilindrado**

En un torno que tiene una gama de regímenes de giro con un escalonamiento de 100 rpm, se mecaniza un redondo de 90 mm de diámetro y 180 mm de longitud hasta un diámetro de 84 mm mediante tres pasadas de 1 mm de profundidad. El torno se pone a girar a 300 rpm y la velocidad de avance es de 0,15 mm/rev.

Calcular:

- La velocidad de corte en cada pasada.
- El tiempo total empleado en el mecanizado.
- El volumen de material eliminado.
- Los cálculos anteriores si el torno se pone a girar a 500 rpm.
- Las revoluciones por minuto que habría que seleccionar en el torno para trabajar a velocidades de corte de valor próximo a 100 m/min.

**SOLUCIÓN**

**Figura 7.1.** Esquema de la operación de cilindrado en el proceso de torneado.

**Apartado A**

Para determinar la velocidad de corte en cada pasada se utiliza la siguiente expresión:

$$v_c = \pi \cdot D_m \cdot N$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

donde:

$$— D_f = D_i - 2 \cdot d.$$

—  $d$  es la profundidad de corte o profundidad de pasada.

Aplicando la expresión para el cálculo de la velocidad de corte, considerando los datos indicados en el enunciado,  $N = 300$  rpm,  $d = 1$  mm y conociendo el total de pasadas, se calcula la velocidad de corte en cada pasada:

Pasada 1:

$$D_f = 90 - 2 \cdot 1 = 88 \text{ mm} ; D_m = \frac{90 + 88}{2} = 89 \text{ mm} ; V = \frac{\pi \cdot 89 \cdot 300}{1.000} = 83,88 \text{ mm/min}$$

Pasada 2:

$$D_f = 88 - 2 \cdot 1 = 86 \text{ mm} ; D_m = \frac{88 + 86}{2} = 87 \text{ mm} ; V = \frac{\pi \cdot 87 \cdot 300}{1.000} = 81,99 \text{ mm/min}$$

Pasada 3:

$$D_f = 86 - 2 \cdot 1 = 84 \text{ mm} ; D_m = \frac{86 + 84}{2} = 85 \text{ mm} ; V = \frac{\pi \cdot 85 \cdot 300}{1.000} = 80,11 \text{ mm/min}$$

### Apartado B

Para determinar el tiempo empleado en el mecanizado se aplica la siguiente expresión:

$$t = \frac{l}{f}$$

donde:

—  $l$  es la longitud a mecanizar. En este caso es un dato conocido:  $l = 180$  mm.

—  $f$  es la velocidad de avance. Se puede calcular con:  $f = a \cdot N$ .

$$f = 0,15 \cdot 300 = 45 \text{ mm/min}$$

por lo que:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

**Apartado C**

Se determina el volumen eliminado a partir de la expresión que permite el cálculo del volumen de un cilindro:

$$Vol = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot l$$

Por tanto, el material total eliminado es el volumen inicial menos el volumen final:

$$Vol = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - D_f^2) \cdot l = \frac{\pi}{4} (90^2 - 84^2) \cdot 180 = 147.592,02 \text{ mm}^3 \approx 1,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

**Apartado D**

La resolución de este apartado consiste en repetir los cálculos realizados aplicando el valor de las revoluciones de giro del husillo,  $N$ , indicadas. Por tanto, tomando  $N = 500$  rpm, se calcula la velocidad de corte en cada pasada:

Pasada 1:

$$D_f = 90 - 2 \cdot 1 = 88 \text{ mm} ; D_m = \frac{90 + 88}{2} = 89 \text{ mm} ; V = \frac{\pi \cdot 89 \cdot 500}{1.000} = 139,80 \text{ mm/min}$$

Pasada 2:

$$D_f = 88 - 2 \cdot 1 = 86 \text{ mm} ; D_m = \frac{88 + 86}{2} = 87 \text{ mm} ; V = \frac{\pi \cdot 87 \cdot 500}{1.000} = 136,66 \text{ mm/min}$$

Pasada 3:

$$D_f = 86 - 2 \cdot 1 = 84 \text{ mm} ; D_m = \frac{86 + 84}{2} = 85 \text{ mm} ; V = \frac{\pi \cdot 85 \cdot 500}{1.000} = 133,52 \text{ mm/min}$$

La velocidad de avance que se debe considerar es:

$$f = 0,15 \cdot 500 = 75 \text{ mm/min}$$

por lo que:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

**Apartado E**

Considerando la velocidad de corte  $V = 100$  m/min, se despeja  $N$  en la fórmula:

$$V = \frac{\pi \cdot D_m \cdot N}{1.000}$$

Pasada 1:

$$100 = \frac{\pi \cdot 89 \cdot N}{1.000} ; N = \frac{100 \cdot 1.000}{\pi \cdot 89} = 357,65 \text{ rpm}$$

Pasada 2:

$$100 = \frac{\pi \cdot 87 \cdot N}{1.000} ; N = \frac{100 \cdot 1.000}{\pi \cdot 87} = 365,87 \text{ rpm}$$

Pasada 3:

$$100 = \frac{\pi \cdot 85 \cdot N}{1.000} ; N = \frac{100 \cdot 1.000}{\pi \cdot 85} = 374,48 \text{ rpm}$$

Se toma el valor inferior más cercano a la gama de revoluciones, en este caso se tiene un escalonamiento de 100 rpm, por tanto,  $N = 300$  rpm, similar al caso anterior, en el que se puede ver que las velocidades de corte están en torno a 80 m/min, por lo que no llegan a los 100 m/min que se piden en este apartado.

Por esto, se toma el siguiente valor de la gama de revoluciones,  $N = 400$  rpm. Volviendo a realizar los cálculos, se obtienen las siguientes velocidades de corte:

Pasada 1:

$$V = \frac{\pi \cdot 89 \cdot 400}{1.000} = 111,84 \text{ m/min}$$

Pasada 2:

$$V = \frac{\pi \cdot 87 \cdot 400}{1.000} = 109,33 \text{ m/min}$$

Pasada 3:

$$V = \frac{\pi \cdot 85 \cdot 400}{1.000} = 106,81 \text{ m/min}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## EJERCICIO 8

### *Fresado frontal*

Sobre un bloque de una aleación de aluminio de alta resistencia de 600 mm de longitud y 70 mm de ancho, se realiza una operación de planeado con una fresa de 10 dientes y 100 mm de diámetro. Las condiciones de corte empleadas en la operación son  $N = 150$  rpm, una velocidad de avance  $f = 500$  mm/min y una profundidad de corte de 2,5 mm.

Calcular la potencia requerida en la operación, el par y la fuerza de corte.

Dato: Energía específica  $w = 0,75$  GJ/m<sup>3</sup>.

### SOLUCIÓN

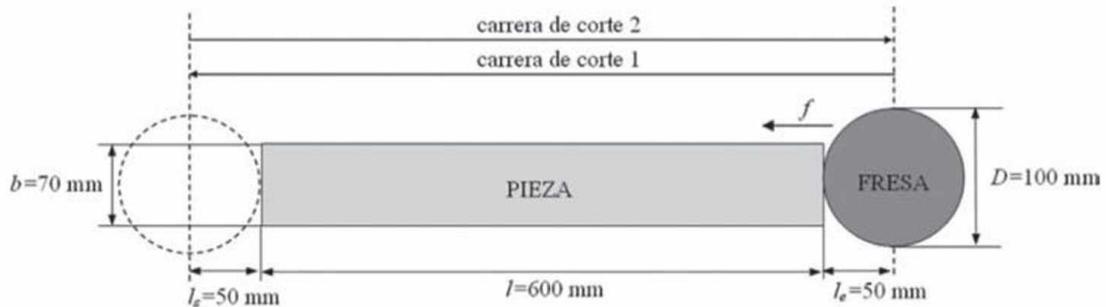


Figura 8.1. Esquema del proceso de mecanizado: fresado frontal.

La potencia consumida se puede calcular como el producto de la energía específica por el volumen total de material eliminado en la unidad de tiempo.

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z} = w \cdot b \cdot d \cdot f$$

donde:

- $b$  es el ancho del corte de valor  $b = 70$  mm. (No se emplea el diámetro de la fresa en el cálculo ya que solo trabaja en una anchura igual al de la pieza.)
- $d$  es la profundidad de corte o profundidad de pasada de valor  $d = 2,5$  mm.
- $f$  es la velocidad de avance de la pieza de valor 500 mm/min.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Teniendo en cuenta que la potencia está relacionada con el par mediante la expresión:

$$\dot{W} = T \cdot \omega$$

donde  $\omega = 2\pi N$ , el par se puede calcular a partir de:

$$T = \frac{\dot{W}}{\omega} = \frac{1.093,75}{2 \cdot \pi \cdot \frac{150}{60}} = 69,63 \text{ Nm} \approx 70 \text{ Nm}$$

Sabiendo que el par es la función de la fuerza de corte,  $F_c$ , y está relacionado con ella a través de la siguiente expresión:

$$T = F_c \cdot \frac{D}{2} \Rightarrow F_c = \frac{2 \cdot T}{D}$$

Se obtiene el siguiente valor para la fuerza de corte,  $F_c$ :

$$F_c = \frac{2 \cdot 69,63}{100 \cdot 10^{-3}} = 1.392,6 \text{ N} \approx 1.393 \text{ N}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

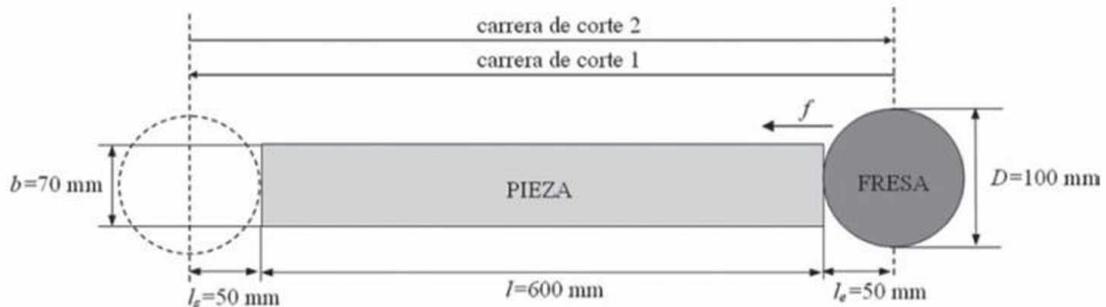
## EJERCICIO 9

### *Fresado frontal*

Sobre un bloque de una aleación de aluminio de alta resistencia de 600 mm de longitud y 70 mm de ancho, se realiza una operación de planeado con una fresa de 10 dientes y 100 mm de diámetro. Las condiciones de corte empleadas en la operación son  $N = 150$  rpm, una velocidad de avance  $f = 500$  mm/min y una profundidad de corte de 2,5 mm.

Calcular el volumen de material eliminado por minuto, el tiempo de corte y el avance por diente.

### SOLUCIÓN



**Figura 9.1.** Esquema del proceso de mecanizado: fresado frontal.

Teniendo en cuenta que el volumen de material eliminado por minuto viene dado por la siguiente expresión:

$$\dot{z} = b \cdot d \cdot f$$

donde:

- $b$  es el ancho del corte de valor  $b = 70$  mm. (No se emplea el diámetro de la fresa en el cálculo ya que solo trabaja en una anchura igual al de la pieza.)
- $d$  es la profundidad de corte o profundidad de pasada de valor  $d = 2,5$  mm.
- $f$  es la velocidad de avance de la pieza de valor 500 mm/min.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

donde:

- $l$  es la longitud de corte.
- $l_c$  es la longitud hasta que la fresa toma contacto con la pieza. Dada aproximadamente por:

$$l_c = \frac{D}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

Luego el tiempo es:

$$t = \frac{l + 2 \cdot l_c}{f} = \frac{600 + 100}{500} = 1,40 \text{ min} = 84 \text{ s}$$

El avance por diente se calcula teniendo en cuenta la fórmula:

$$f = a_z \cdot N \cdot n_z$$

donde:

$$a_z = \frac{f}{N \cdot n_z} = \frac{500}{150 \cdot 10} = 0,33 \text{ mm/diente}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## EJERCICIO 10

### Fresado frontal

Un proceso de fresado frontal se realiza con una herramienta de acero rápido de 180 mm de diámetro y 12 dientes; la profundidad de pasada es de 3 mm, el avance 0,15 mm/diente y la velocidad de rotación de la fresa 150 rpm.

Calcular la velocidad de corte en metros por segundo; el tiempo que tardaría en planificar una superficie rectangular de 2.000 mm de longitud y 300 mm de anchura y la potencia necesaria en el accionamiento principal si la presión de corte del material en las condiciones del proceso es de 3 GN/m<sup>2</sup> y el rendimiento global de la transmisión del movimiento principal se estima en el 80%.

### SOLUCIÓN

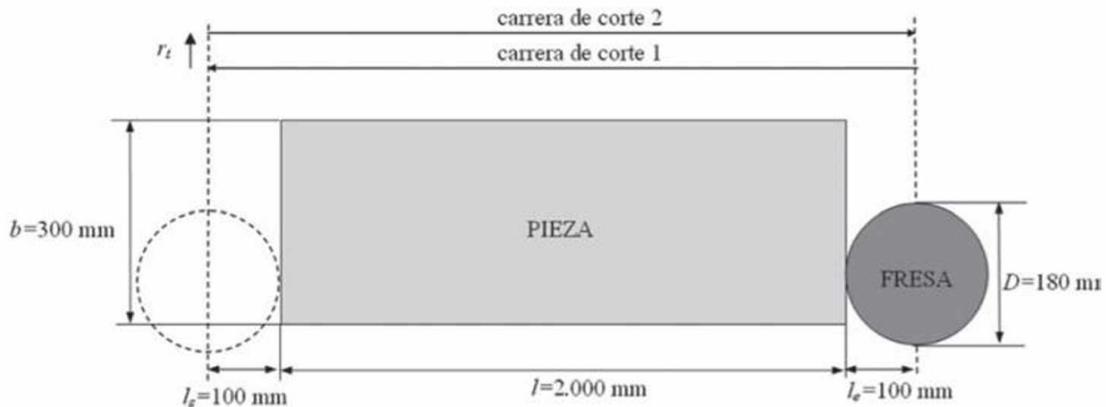


Figura 10.1. Esquema del proceso de mecanizado: fresado frontal.

La velocidad de corte se calcula:

$$V = \frac{\pi \cdot N \cdot D}{1.000} = \frac{\pi \cdot 150 \cdot 180}{1.000} = 84,82 \text{ m/min} = 1,41 \text{ m/s}$$

El proceso se realiza mediante dos únicas carreras de corte (1 y 2) dado que el diámetro de la fresa es mayor que la mitad del ancho de la superficie que hay que mecanizar. Además, se tiene un

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

La velocidad de avance de la fresa resulta:

$$f = a_z \cdot n_z \cdot N = 0,15 \cdot 12 \cdot 150 = 270 \text{ mm/min} = 4,50 \text{ mm/s}$$

El tiempo empleado en el proceso hace:

$$t_c = \frac{l_t}{f} = \frac{2 \cdot l_c + r_t}{f} = \frac{2 \cdot 2.200 + 180}{4,50} = 1.017,78 \text{ s} \approx 16 \text{ min } 58 \text{ s}$$

siendo  $l_t$  la longitud total que hay que mecanizar.

La potencia total es el resultado de multiplicar el valor de la presión de corte por el volumen total de material eliminado en la unidad de tiempo:

$$\dot{W} = p_c \cdot \dot{z} = p_c \cdot d \cdot b \cdot f = 3 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 4,50 \cdot 10^{-3} = 6.075 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta que el rendimiento global de la transmisión del movimiento principal se estima en el 80%, la potencia total necesaria es:

$$\dot{W}_T = \frac{\dot{W}}{\eta} = \frac{6.075}{0,80} = 7.593,75 \text{ W} \approx 7,6 \text{ kW}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

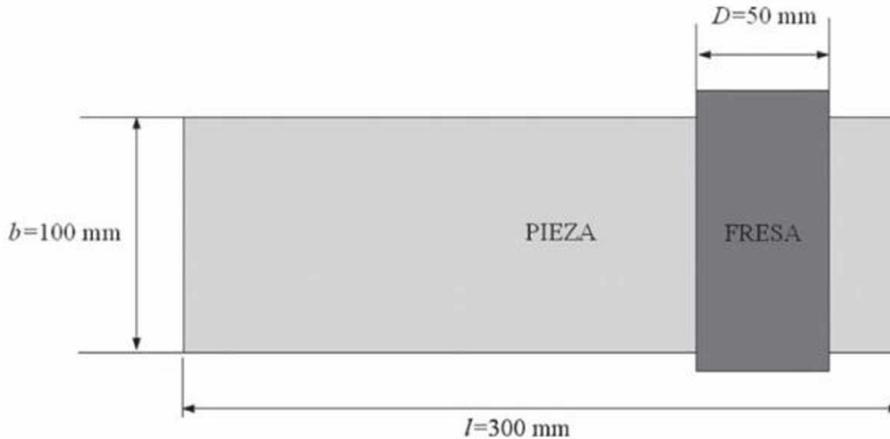
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 11

***Fresado periférico***

Sobre un bloque de acero inoxidable de 300 mm de longitud y 100 mm de ancho se realiza un fresado periférico con un avance  $a_z = 0,25$  mm/diente y una profundidad de corte de 3 mm. La fresa empleada tiene un diámetro  $D = 50$  mm, 20 dientes y es más ancha que el bloque que se va a fresar. Calcular la potencia que requiere la operación, el par y la fuerza de corte, si la fresa gira a  $N = 100$  rpm.

Dato: Energía específica del acero inoxidable  $w = 3$  GJ/m<sup>3</sup>.

**SOLUCIÓN**

**Figura 11.1.** Esquema del proceso de mecanizado: fresado periférico.

La potencia total es el resultado de multiplicar el valor de la energía específica por el volumen total de material eliminado en la unidad de tiempo:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z}$$

Teniendo en cuenta que el volumen de material eliminado por minuto viene dado por la expresión:

$$\dot{z} = b \cdot d \cdot f$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Por tanto, el caudal eliminado es:

$$\dot{z} = b \cdot d \cdot f = 100 \cdot 3 \cdot 500 = 150.000 \text{ mm}^3/\text{min}$$

y la potencia:

$$\dot{W} = 3 \cdot \frac{150.000}{60} = 7.500 \text{ W} = 7,5 \text{ kW}$$

El par se puede calcular de la siguiente manera:

$$T = \frac{\dot{W}}{\omega}$$

siendo  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot N$ .

luego:

$$T = \frac{7.500}{2 \cdot \pi \cdot \frac{100}{600}} = 716,2 \text{ Nm}$$

Pudiéndose calcular la fuerza de corte:

$$T = F_c \cdot \frac{D}{2} \Rightarrow F_c = \frac{2 \cdot T}{D} = \frac{2 \cdot 716,20}{50 \cdot 10^{-3}} = 28.648 \text{ N} \approx 28,6 \text{ kN}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 12

**Taladrado**

Sobre un bloque de una aleación de aluminio se realiza un agujero con una broca de 8 mm y un avance de 0,15 mm/rev con el husillo girando a  $N = 1.000$  rpm.

Calcular el volumen de material eliminado en la unidad de tiempo y el par de torsión sobre la broca.

Dato: Energía específica  $w = 0,9$  GJ/m<sup>3</sup>.

**SOLUCIÓN**

El volumen de material eliminado en la unidad de tiempo en el caso del taladrado viene dado por la ecuación:

$$\dot{z} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot a \cdot N$$

Luego, con los datos aportados en el enunciado resulta:

$$\dot{z} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot a \cdot N = \left[ \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \right] \cdot 0,15 \cdot \frac{1.000}{60} = 125,66 \text{ mm}^3/\text{s}$$

La potencia total es el resultado de multiplicar el valor de la energía específica por el volumen total de material eliminado en la unidad de tiempo:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z} = 0,9 \cdot 125,66 = 113,09 \text{ W} \approx 113,1 \text{ W}$$

Como la potencia se puede calcular también como el par de torsión sobre la broca por la velocidad de rotación, se tiene:

$$T = \frac{\dot{W}}{\omega}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

**EJERCICIO 13*****Taladrado***

Sobre un bloque de acero con una energía específica  $w = 1,9 \text{ GJ/m}^3$  se quiere realizar un agujero con una taladradora de 500 W de potencia en la que la velocidad de giro del husillo es  $N = 300 \text{ rpm}$ . El avance es de 0,20 mm/rev y el rendimiento de la máquina es del 90%.

Calcular el par de torsión y el diámetro máximo de la broca que se puede emplear con la máquina indicada.

**SOLUCIÓN**

La potencia efectiva de la máquina se obtiene a partir de la potencia total y el rendimiento:

$$\dot{W} = \dot{W}_T \cdot \eta = 500 \cdot 0,9 = 450 \text{ W}$$

El par de torsión sobre la broca se puede calcular a partir de la potencia y de la velocidad de rotación, por lo que se tiene:

$$T = \frac{\dot{W}}{\omega}$$

siendo  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot N$

luego:

$$T = \frac{450}{2 \cdot \pi \cdot \frac{300}{60}} = 14,32 \text{ Nm}$$

Para obtener el diámetro de la broca primero se calcula el volumen de material eliminado en el proceso como en la siguiente ecuación:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z} \Rightarrow 450 = 1,9 \cdot 10^9 \cdot \dot{z}$$

450

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

- - -

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

Con los datos aportados y obtenidos, se puede calcular el diámetro:

$$\dot{z} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot a \cdot N \Rightarrow 236,84 = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot 0,20 \cdot \frac{300}{60}$$

$$D = \sqrt{\frac{236,84 \cdot 4 \cdot 60}{\pi \cdot 0,20 \cdot 300}} = 17,37 \text{ mm} \approx 17 \text{ mm}$$

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part. The text is set against a light blue, abstract background that resembles a stylized map or a splash of water. Below the text, there is a horizontal orange and yellow gradient bar.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

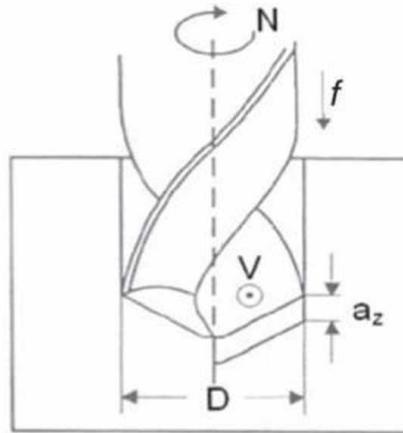
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 14

**Taladrado**

En una aleación de magnesio con una energía específica  $w = 0,5 \text{ GJ/m}^3$  se quiere realizar un taladro con una broca de 10 mm de diámetro. La velocidad de corte que recomienda el fabricante para la broca es de 25 m/min con un avance de 0,10 mm/filo. La taladradora posee un escalonamiento de la velocidad de giro de 10 rpm y tiene un rendimiento del 85%.

Calcular la velocidad de corte en metros por minuto, la velocidad de avance en milímetros por segundo y la potencia consumida en la realización del taladro.

**SOLUCIÓN**

**Figura 14.1.** Esquema del proceso de taladrado.

Partiendo de los datos aportados y de la velocidad de corte recomendada se obtiene una frecuencia rotacional a partir de la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1.000} \Rightarrow N = \frac{V \cdot 1.000}{\pi \cdot D} = \frac{25 \cdot 1.000}{\pi \cdot 10} = 795,77 \text{ rpm}$$

Este valor de  $N$  no va a coincidir con ninguno de los valores disponibles en la taladradora empleada, por lo que será necesario elegir un valor  $N$  dentro de la gama de velocidades de rotación del

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Para calcular la velocidad de avance se tiene que tener en cuenta que los datos aportados en el enunciado hacen referencia al avance por filo y que la broca tiene dos, por lo que:

$$f = a_z \cdot n_z \cdot N = 0,10 \cdot 2 \cdot 790 = 158 \text{ mm/min} = 2,63 \text{ mm/s} \approx 2,6 \text{ mm/s}$$

La potencia empleada en el proceso de taladrado es el resultado de multiplicar la energía específica por el volumen de material eliminado en la unidad de tiempo:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z}$$

El volumen de material eliminado en la unidad de tiempo en el caso del taladrado viene dado por la expresión:

$$\dot{z} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot a \cdot N = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot f$$

Por tanto, aplicando los datos del enunciado y los obtenidos en cálculos anteriores se obtiene:

$$\dot{z} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot f = \left[ \frac{\pi \cdot 10^2}{4} \right] \cdot 2,63 = 206,56 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Con lo que ya se puede realizar el cálculo de la potencia:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z} = 0,5 \cdot 206,56 = 103,28 \text{ W}$$

Esta potencia obtenida es la que se necesita en el proceso de taladrado, pero la potencia total que consumirá la máquina, teniendo en cuenta el rendimiento indicado, es:

$$\dot{W} = \dot{W}_T \cdot \eta \Rightarrow \dot{W}_T = \frac{\dot{W}}{\eta} = \frac{103,28}{0,85} = 121,51 \text{ W} \approx 122 \text{ W}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

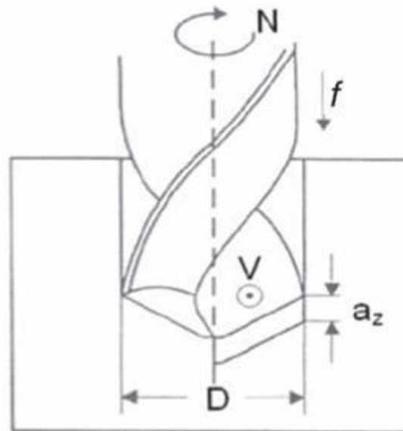
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 15

***Taladrado***

Sobre una placa de acero con un valor de la energía específica  $w = 8,5 \text{ GJ/m}^3$  se quiere realizar un agujero con una taladradora de 1.500 W de potencia y una broca de 4 mm de diámetro. El avance es de 0,20 mm/rev y el rendimiento de la máquina es del 85%.

Calcular la velocidad de giro del husillo en revoluciones por minuto.

**SOLUCIÓN**

**Figura 15.1.** Esquema del proceso de taladrado.

La potencia efectiva de la máquina se obtiene a partir de la potencia total y el rendimiento:

$$\dot{W} = \dot{W}_T \cdot \eta = 1.500 \cdot 0,85 = 1.275 \text{ W}$$

Para calcular la velocidad de giro del husillo se debe partir de los datos indicados en el enunciado y el volumen de material eliminado en el proceso, según la expresión:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z} \Rightarrow 1.275 = 1.500 \cdot 10^6 \cdot \dot{z}$$

$$\dot{z} = \frac{1.275}{1.500 \cdot 10^6}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Con los datos aportados y los obtenidos se puede realizar el cálculo de la velocidad de giro del husillo:

$$\dot{z} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot a \cdot N \Rightarrow 150 = \left[ \frac{\pi \cdot 4^2}{4} \right] \cdot 0,20 \cdot N$$

$$N = \frac{150 \cdot 4}{\pi \cdot 4^2 \cdot 0,2} = 59,68 \frac{rev}{s} = 59,68 \frac{rev}{s} \cdot \frac{60s}{min} = 3.580,97 \text{ rpm} \simeq 3.580 \text{ rpm}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 16

**Rectificado**

Sobre una pieza de acero al carbono se realiza una operación de rectificado plano. Se emplea una muela de 250 mm de diámetro que gira a 3.000 rpm. El ancho de corte es  $b = 25$  mm, la profundidad de corte es  $d = 0,05$  mm y la velocidad de avance de la pieza es  $f = 1.500$  mm/min.

Calcular la fuerza de corte (tangencial a la pieza),  $F_c$ , y la fuerza de empuje (normal a la superficie),  $F_n$ .

Dato: Energía específica  $w = 41$  GJ/m<sup>3</sup>.

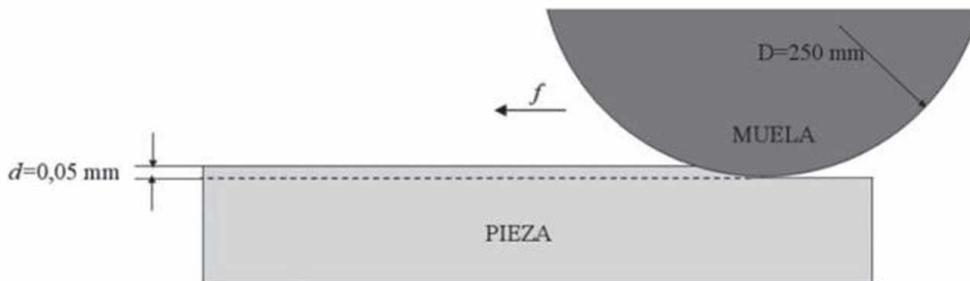
**SOLUCIÓN**

Figura 16.1. Esquema del proceso de rectificado.

La potencia consumida se puede calcular como el producto de la energía específica por el volumen total de material eliminado:

$$\dot{W} = w \cdot \dot{z}$$

La cantidad de material eliminado por minuto viene dada por:

$$\dot{z} = d \cdot b \cdot f = 0,05 \cdot 25 \cdot 1.500 = 1.875 \text{ mm}^3/\text{min}$$

donde:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Teniendo en cuenta que la potencia está relacionada con el par mediante la expresión:

$$\dot{W} = T \cdot \omega$$

donde:  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot N$  y  $T = F_c \frac{D}{2}$

$F_c$  se puede expresar del siguiente modo:

$$\dot{W} = F_c \frac{D}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot N \Rightarrow F_c = \frac{\dot{W}}{D \cdot \pi \cdot N} = \frac{1.281,25}{250 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot \frac{3.000}{60}} = 32,63 \text{ N} \approx 32,6 \text{ N}$$

La fuerza de empuje  $F_n$  se puede calcular teniendo en cuenta que, según datos experimentales en las publicaciones técnicas, suele ser un 30% mayor que la fuerza de corte,  $F_c$ ; en consecuencia:

$$F_n = 1,30 \cdot F_c = 1,30 \cdot 32,63 = 42,42 \text{ N} \approx 42,4 \text{ N}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

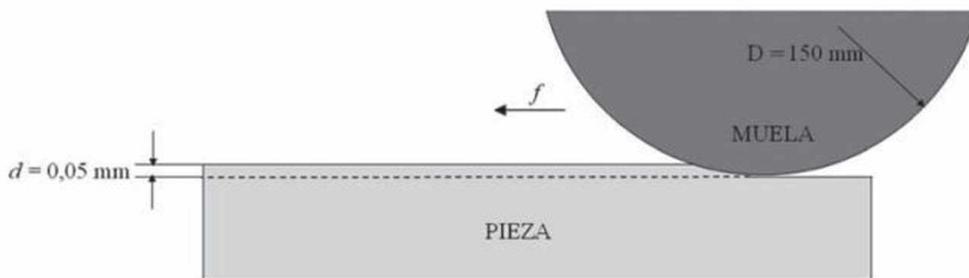
## EJERCICIO 17

**Rectificado**

Con una muela de 150 mm de diámetro que cuenta con una cantidad de puntas de corte por unidad de área de la periferia de la piedra entre 0,1 y 10 por cada milímetro cuadrado, se realiza una operación de rectificado plano con una profundidad de pasada  $d = 0,05$  mm, una velocidad de avance  $f = 25$  m/min y una velocidad de corte  $V = 1.800$  m/min.

Calcular el espesor y la longitud de la viruta.

*Nota:* Considérese que  $r$ , relación entre el ancho de viruta y el espesor promedio no deformado de viruta, tiene un valor aproximado entre 10 y 20.

**SOLUCIÓN**

**Figura 17.1.** Esquema del proceso de rectificado.

Se puede demostrar, a partir de consideraciones geométricas, que la longitud no deformada  $l$  de la viruta, en el rectificado plano, se calcula de forma aproximada con la expresión:

$$l = \sqrt{D \cdot d}$$

donde:

- $D$  es el diámetro de la muela.
- $d$  es la profundidad de pasada.

Por tanto, en este caso da como resultado:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

donde:

- $f$  es la velocidad de avance.
- $V$  es la velocidad de corte.
- $C$  es la cantidad de puntas de corte por unidad de área de la periferia de la piedra, comprendida entre 0,1 y 10 por cada milímetro cuadrado. En este caso se toma  $C = 2$ .
- $r$  es la relación entre el ancho de viruta y el espesor promedio no deformado de viruta. Su valor aproximado se encuentra entre 10 y 20. En este caso se toma  $r = 15$ .

Resultando, por tanto:

$$h = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot f}{V \cdot C \cdot r}\right) \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 25}{1.800 \cdot 2 \cdot 15}\right) \cdot \sqrt{\frac{0,05}{150}}} = 5,81 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \approx 0,006 \text{ mm}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

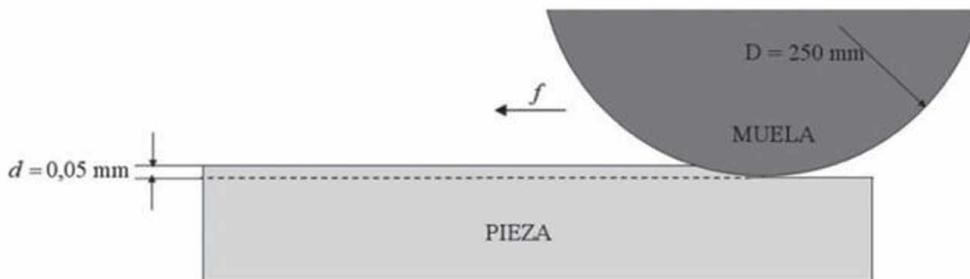
## EJERCICIO 18

**Rectificado**

En una operación de rectificado se emplean: una muela de 250 mm de diámetro, una velocidad de avance  $f = 30$  m/min y una velocidad de corte  $V = 1.500$  m/min. Se requiere que las virutas no excedan de 3 mm de longitud y 0,007 mm de espesor.

Calcular la profundidad máxima de pasada que se podrá efectuar y la cantidad de puntos de corte por unidad de área de la periferia de la piedra.

*Nota:* Considérese que  $r$ , relación entre el ancho de viruta y el espesor promedio no deformado de viruta, tiene un valor aproximado de 12.

**SOLUCIÓN**

**Figura 18.1.** Esquema del proceso de rectificado.

Se puede demostrar, a partir de consideraciones geométricas, que la longitud no deformada  $l$  de la viruta, en el rectificado plano, se calcula en forma aproximada con la expresión:

$$l = \sqrt{D \cdot d}$$

donde:

- $D$  es el diámetro de la muela.
- $d$  es la profundidad de pasada.

Por tanto, en este caso da como resultado:

32

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

donde:

- $f$  es la velocidad de avance.
- $V$  es la velocidad de corte.
- $C$  es la cantidad de puntos de corte por unidad de área de la periferia de la piedra.
- $r$  es la relación entre el ancho de viruta y el espesor promedio no deformado de viruta.

Obteniéndose un valor de  $C$  de unos 5 o 6 puntos de corte por milímetro cuadrado.

$$h = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot f}{V \cdot C \cdot r}\right) \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}} \Rightarrow 7 \cdot 10^{-3} = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot 30}{1.500 \cdot C \cdot 12}\right) \cdot \sqrt{\frac{0,036}{250}}}$$

$$C = 5,87$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

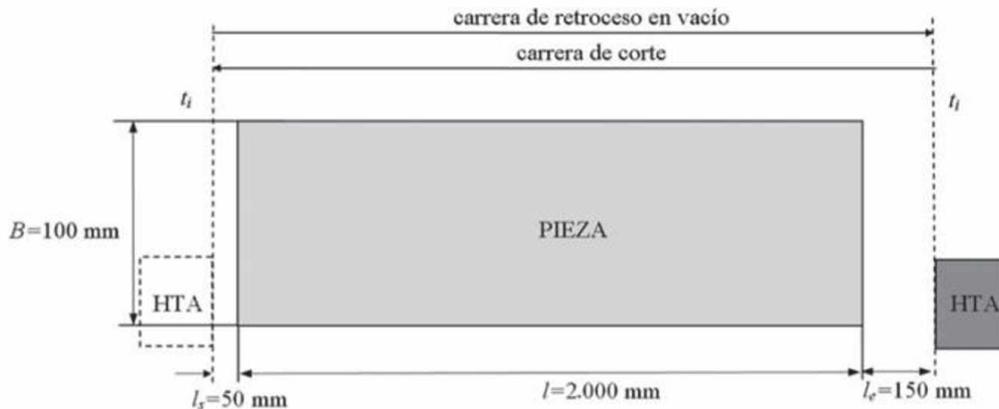
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## EJERCICIO 19

***Movimiento principal rectilíneo: cepillado***

Un proceso de cepillado tiene lugar en una máquina-herramienta cepilladora con velocidad de corte aproximadamente constante de valor  $V = 10$  m/min y una velocidad de retroceso, también constante de  $V_r = 25$  m/min. Dicho proceso consiste en planificar en una única pasada la superficie superior de una pieza con forma de paralelepípedo de 2.000 mm de longitud, 300 mm de ancho y 200 mm de alto. El material para mecanizar es acero al carbono, la profundidad de pasada es de 4 mm y el avance de 0,3 mm. La carrera complementaria de entrada es de 150 mm y la de salida de 50 mm, y los tiempos de inversión son de  $t_i = 2$  s.

Calcular el tiempo necesario para el mecanizado de la pieza y la potencia de cepillado si la presión de corte del material en las condiciones del proceso es de  $2 \cdot 10^9$  Pa.

**SOLUCIÓN**

**Figura 19.1.** Esquema de un proceso de cepillado.

La longitud de cada carrera,  $l_c$ , viene dada por:

$$l_c = l_e + l + l_s = 150 + 2.000 + 50 = 2.200 \text{ mm}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

El número de dobles carreras,  $N_{dc}$ , necesarias para el planificado de la superficie de la pieza se obtiene de:

$$N_{dc} = \frac{300}{a} = \frac{300}{0,3} = 1.000$$

El tiempo total de mecanizado de la pieza,  $t_m$ , es:

$$t_m = N_{dc} \cdot t_{dc} = 1.000 \cdot 22,20 = 22.200 \text{ s} = 370 \text{ min} = 6 \text{ h } 10 \text{ min}$$

La expresión de la potencia de mecanizado en función de la presión de corte, siendo  $\dot{z}$  el volumen de material eliminado por unidad de tiempo, tiene como resultado:

$$\dot{W} = p_c \cdot \dot{z} = p_c \cdot d \cdot a \cdot V = 2 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10}{60} = 400 \text{ W}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

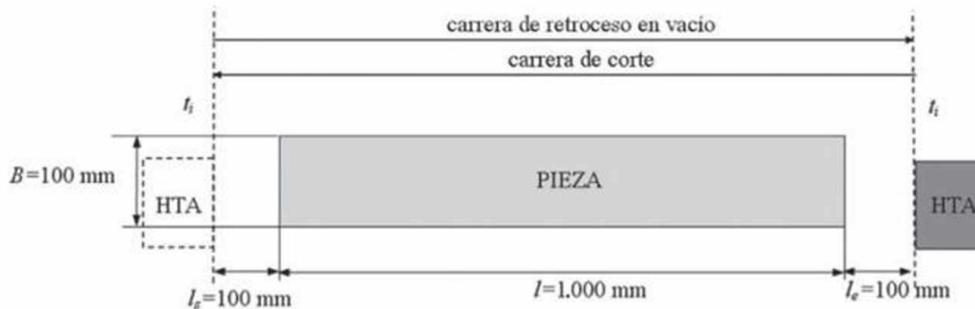
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 20

***Movimiento principal rectilíneo: cepillado***

Un proceso de cepillado tiene lugar en una cepilladora con velocidad de corte aproximadamente constante de valor  $V = 15 \text{ m/min}$  y una velocidad de retroceso, también constante de  $V_r = 30 \text{ m/min}$ . Dicho proceso consiste en planificar, en una única pasada, la superficie superior de una pieza con forma de paralelepípedo de 1.000 mm de longitud, 100 mm de ancho y 100 mm de alto. El material para mecanizar es acero al carbono con una presión de corte de  $250 \text{ daN/mm}^2$ . El proceso se realiza con un avance de 0,2 mm por doble carrera; las carreras complementarias de entrada y salida son de 100 mm cada una, y los tiempos de inversión son de  $t_i = 3 \text{ s}$ .

Calcular la máxima profundidad de pasada si la potencia es de 500 W y el rendimiento del 85%, y el tiempo necesario para el mecanizado de la pieza.

**SOLUCIÓN**

**Figura 20.1.** Esquema de un proceso de cepillado.

La potencia efectiva de la máquina se obtiene a partir de la potencia total y el rendimiento indicado:

$$\dot{W} = \dot{W}_T \cdot \eta = 500 \cdot 0,85 = 425 \text{ W}$$

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

Y con este valor y el resto de los datos disponibles, es posible obtener la profundidad de pasada máxima:

$$\dot{z} = d \cdot a \cdot V \Rightarrow d = \frac{\dot{z}}{a \cdot V} = \frac{170}{0,2 \cdot \frac{15 \cdot 10^3}{60}} = 3,4 \text{ mm}$$

Para calcular el tiempo empleado en el proceso hay que conocer la longitud de cada carrera,  $l_c$ :

$$l_c = l_e + l + l_s = 100 + 1.000 + 100 = 1.200 \text{ mm}$$

así como el tiempo empleado en la doble carrera (dc):

$$t_{dc} = \frac{l_c}{V} + \frac{l_c}{V_r} + 2 \cdot t_i = \frac{1,2}{15} + \frac{1,2}{30} + 2 \cdot \frac{3}{60} = 0,22 \text{ min} = 13,2 \text{ s}$$

Y el número de dobles carreras necesarias para el planificado de la superficie de la pieza:

$$N_{dc} = \frac{B}{a} = \frac{100}{0,2} = 500$$

Con estos valores se puede calcular el tiempo total de mecanizado,  $t_m$ , de la pieza:

$$t_m = N_{dc} \cdot t_{dc} = 500 \cdot 13,20 = 6.600 \text{ s} = 110 \text{ min} = 1 \text{ h } 50 \text{ min}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## EJERCICIO 21

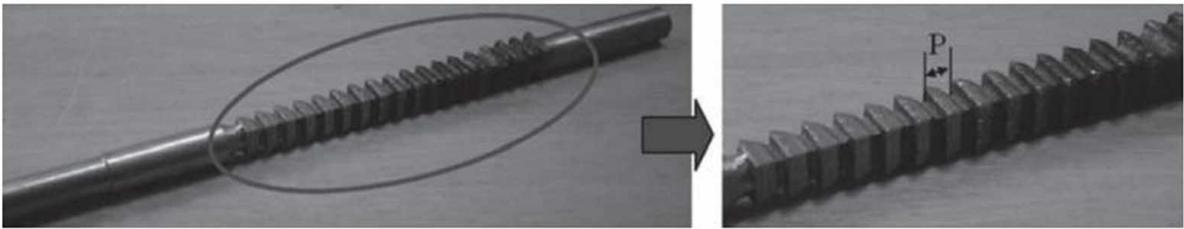
***Movimiento principal rectilíneo: brochado***

Se quiere seleccionar una brocha de tracción para realizar el acabado interno de un agujero previamente realizado en una operación de taladrado. El espesor de la pieza es de 10 mm, el diámetro del taladro inicial es de 8 mm y el diámetro final que se pretende es de 9 mm.

Calcular el paso de la brocha y la longitud que debe tener considerando un incremento estándar por diente.

**SOLUCIÓN**

La longitud  $P$  o paso es la dimensión que controla el tamaño del hueco entre los dientes, cuya misión fundamental es la de servir de alojamiento a la totalidad de la viruta generada en la carrera de trabajo.



**Figura 21.1.** Detalle de una brocha.

Para un trabajo de acabado el cálculo se realiza de acuerdo a la siguiente relación y teniendo en cuenta la longitud que hay que mecanizar,  $l$ :

$$P = 0,6 \cdot \sqrt{3 \cdot l}$$

En este caso, aplicando los datos indicados en el enunciado, se obtiene:

$$P = 0,6 \cdot \sqrt{3 \cdot 10} = 3,28 \text{ mm}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

donde:

- $d$  es la profundidad de pasada total.
- $i$  es el incremento estándar por diente.

En este caso, se contempla un incremento estándar por diente para acabado de valor  $i = 0,05$  mm se pretende pasar de un diámetro de 8 mm a uno de 9 mm.

Se tiene una profundidad de pasada total de:

$$d = \frac{D_f - D_i}{2} = \frac{9 - 8}{2} = 0,50 \text{ mm}$$

Y su número de dientes es:

$$n_d = \frac{d}{i} = \frac{0,50}{0,05} = 10 \text{ dientes}$$

Por tanto, la longitud de la brocha,  $L$ , considerando el número de dientes necesarios para la realización del brochado en las condiciones indicadas y el paso,  $P$ , entre dientes ya calculado es:

$$L = n_d \cdot P = 10 \cdot 3,28 = 32,8 \text{ mm}$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## EJERCICIO 22

***Movimiento principal rectilíneo: brochado***

Se quiere seleccionar una brocha de tracción para mecanizar un agujero previamente realizado en una operación de taladrado. La longitud a mecanizar,  $l$ , es de 10 mm, el diámetro del taladro inicial es de 9 mm y el diámetro final es de 10 mm.

Calcular el paso de la brocha y la longitud de la parte activa de la misma,  $L$ , que debe tener si el incremento por diente,  $i$ , es igual a 0,25 mm en la zona de desbaste y a 0,05 mm en la zona de acabado.

**SOLUCIÓN**

Si es  $l$  la longitud a mecanizar, el paso,  $P$ , se puede calcular para la zona de desbaste,  $P_d$ , y para la zona de acabado,  $P_a$ , por las siguientes expresiones:

$$P_d = \sqrt{3 \cdot l}$$

$$P_a = 0,6 \cdot \sqrt{3 \cdot l}$$

Aplicando los datos indicados en el enunciado se obtiene:

$$P_d = \sqrt{3 \cdot 10} = 5,48 \text{ mm}$$

$$P_a = 0,6 \cdot \sqrt{3 \cdot 10} = 3,28 \text{ mm}$$

Conocido los pasos  $P_d$  y  $P_a$ , la longitud de la brocha,  $L$ , se calcula a través de la siguiente expresión:

$$L = L_d + L_a = n_{dd} \cdot P_d + n_{da} \cdot P_a$$

siendo  $n_{dd}$  y  $n_{da}$  el número de dientes para el desbaste y para el acabado respectivamente. Cada uno de ellos puede calcularse mediante la siguiente expresión general:

$$n_d = \frac{d}{i}$$

donde:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

## EJERCICIO 23

**Otros procesos: fresado químico**

Una placa de una aleación de aluminio de 1.000 mm de largo, 500 mm de ancho y 40 mm de espesor se mecaniza mediante fresado químico durante 4 h en el 40% de su área.

Calcular el espesor rebajado en el proceso suponiendo una eliminación de material media y el tiempo necesario para rebajar el 100% de la superficie en 15 mm.

Dato: La velocidad de ataque en este tipo de procesos oscila entre 0,012 y 0,07 mm/min.

**SOLUCIÓN**

La eliminación de material, según se indica en el enunciado, se realiza a velocidad media. Por ello, se toma como velocidad de ataque el valor medio de los valores límites dados:

$$\frac{0,012 + 0,07}{2} = 0,041 \text{ mm/min}$$

Teniendo en cuenta el tiempo del proceso indicado y la velocidad de ataque media calculada, el espesor del rebaje que hay que conseguir se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$t = \frac{h}{f}$$

donde:

- $t$  es el tiempo empleado en el proceso.
- $h$  es el espesor del rebaje que se debe conseguir.
- $f$  es la velocidad de ataque.

por lo que el rebaje obtenido en el tiempo indicado es:

$$t = \frac{h}{f} \Rightarrow 4 \cdot 60 = \frac{h}{0,041} \Rightarrow h = 240 \cdot 0,041 = 9,84 \text{ mm}$$

El tiempo empleado en realizar un determinado rebaje es independiente del tanto por ciento de la

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

**EJERCICIO 24*****Vida de la herramienta***

Con la intención de determinar la vida de una herramienta se ha realizado un ensayo para el que se han empleado dos velocidades distintas, 40 m/min y 110 m/min, pero se han mantenido invariables el resto de parámetros. Para cada uno de los casos, se ha tomado el valor que presenta el ancho de la franja de desgaste,  $VB$ , a intervalos de 5 min; obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tiempo $t$ (min)	$VB_{40}$ (mm)	$VB_{110}$ (mm)
0	0	0
5	0,200	0,400
10	0,325	0,575
15	0,450	0,750
20	0,575	0,925
25	0,700	1,100

Calcular la vida de la herramienta cuando se trabaja en condiciones semejantes a las del ensayo pero con una velocidad de corte de 65 m/min y tomando como criterio de inutilidad un valor de  $VB = 0,600$  mm.

**SOLUCIÓN**

La solución a este problema se puede abordar de dos formas: analítica y gráfica.

**SOLUCIÓN ANALÍTICA**

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

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

$$\frac{T_{40} - 20}{25 - 20} = \frac{0,600 - 0,575}{0,700 - 0,575} \Rightarrow T_{40} = 21 \text{ min}$$

$$\frac{T_{110} - 10}{15 - 10} = \frac{0,600 - 0,575}{0,750 - 0,575} \Rightarrow T_{110} = 10,71 \text{ min}$$

Luego:

$$40 \cdot 21^n = K \quad \text{y} \quad 110 \cdot 10,71^n = K$$

$$\left( \frac{21}{10,71} \right)^n = \frac{110}{40} \Rightarrow n = 1,502 \approx 1,50 \Rightarrow K = 40 \cdot 21^{1,50} = 3.872,87$$

Una vez obtenidas las constantes se puede calcular la vida de la herramienta para la velocidad indicada con tan solo aplicar la ecuación de Taylor:

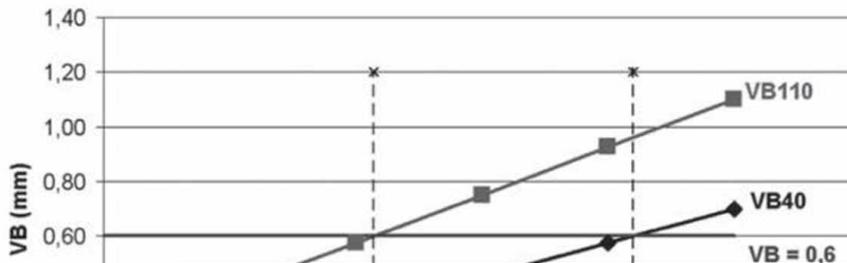
$$V \cdot T^n = K \Rightarrow T^n = \frac{K}{V} \Rightarrow T^{1,50} = \frac{3.872,87}{65} \Rightarrow T = 15,20 \text{ min} = 912 \text{ s}$$

### SOLUCIÓN GRÁFICA

Otra forma de solucionar el ejercicio es mediante una representación gráfica de los datos.

Primero se construye una gráfica con los valores aportados en el enunciado.

Una vez dibujada se localizan los puntos de intersección del valor que se da como criterio de inutilidad ( $VB = 0,600 \text{ mm}$ ) y los valores de las velocidades. Estas intersecciones, llevadas a las abscisas, aportan el tiempo de vida de la herramienta para cada una de las velocidades ensayadas.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

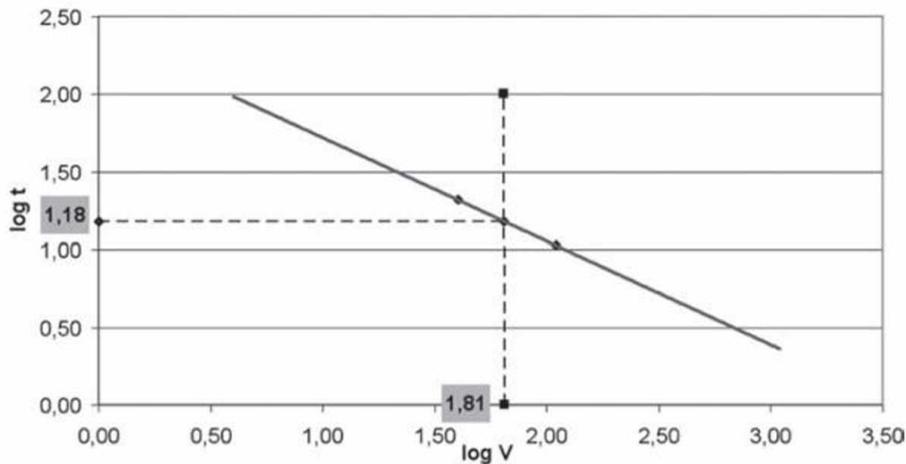
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Con el par de valores  $(V;t)$  obtenidos  $(40;21)$  y  $(110;10,71)$ , se realiza una nueva gráfica en escala logarítmica y se localiza el punto de intersección de la misma con el valor del logaritmo de la velocidad de corte para la que se quiere calcular la vida de la herramienta, es decir,  $V = 65\text{m/min}$  ( $\log 65 = 1,81$ ). El valor que se obtiene en ordenadas es el valor del logaritmo del tiempo de vida de la herramienta (1,18) para esa velocidad. Despejando en la expresión:

$$\log T = 1,18 \Rightarrow T = 15,20 \text{ min} = 912 \text{ s}$$

se obtiene el valor solicitado.



**Figura 24.2.** Vida de la herramienta frente a la velocidad de corte,  $V$ , en escala logarítmica.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## EJERCICIO 25

***Vida de la herramienta***

Con la intención de determinar la vida de una herramienta se ha realizado un ensayo para el que se han empleado dos velocidades distintas, 35 m/min y 120 m/min, pero se han mantenido invariables el resto de parámetros. Para cada uno de los casos, se ha tomado el valor que presenta el ancho de la franja de desgaste,  $VB$ , a intervalos de 5 min; obteniéndose los resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Tiempo $t$ (min)	$VB_{35}$ (mm)	$VB_{120}$ (mm)
0	0	0
5	0,180	0,300
10	0,355	0,500
15	0,530	0,700
20	0,705	0,900
25	0,880	1,100

Calcular la vida de la herramienta cuando se trabaja en condiciones semejantes a las del ensayo pero con una velocidad de corte de 50 m/min y tomando como criterio de inutilidad un valor de  $VB = 0,600$  mm.

**SOLUCIÓN**

La solución a este problema se puede abordar de dos formas: analítica y gráfica.

**SOLUCIÓN ANALÍTICA**

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

$$\frac{T_{35} - 15}{20 - 15} = \frac{0,600 - 0,530}{0,700 - 0,530} \Rightarrow T_{35} = 17 \text{ min}$$

$$\frac{T_{120} - 10}{15 - 10} = \frac{0,600 - 0,500}{0,700 - 0,500} \Rightarrow T_{120} = 12,5 \text{ min}$$

Luego:

$$35 \cdot 17^n = K \quad \text{y} \quad 120 \cdot 12,5^n = K$$

$$\left( \frac{17}{12,5} \right)^n = \frac{120}{35} \Rightarrow n = 4,007 \approx 4,01 \Rightarrow K = 35 \cdot 17^{4,01} = 3.007.240$$

Una vez obtenidas las constantes se puede calcular la vida de la herramienta para la velocidad indicada con tan solo aplicar la ecuación de Taylor:

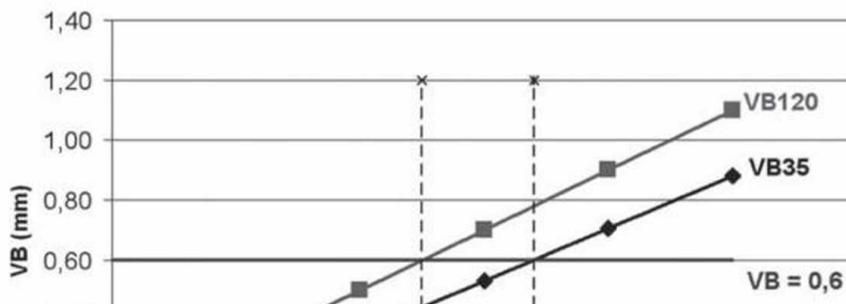
$$V \cdot T^n = K \Rightarrow T^n = \frac{K}{V} \Rightarrow T^{4,01} = \frac{3.007.240}{50} \Rightarrow T = 15,55 \text{ min} = 933 \text{ s}$$

### SOLUCIÓN GRÁFICA

Otra forma de solucionar el ejercicio es mediante una representación gráfica de los datos.

Primero se construye una gráfica con los valores aportados en el enunciado.

Un vez dibujada se localizan los puntos de intersección del valor que se da como criterio de inutilidad (dato del problema:  $VB = 0,600 \text{ mm}$ ) y los valores de las velocidades. Estas intersecciones, llevadas a las abscisas, aportan el tiempo de vida de la herramienta para cada una de las velocidades ensayadas.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

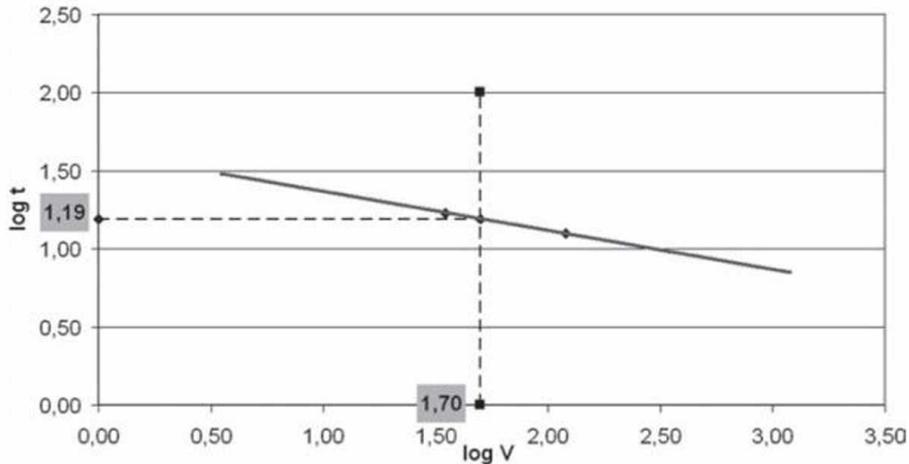
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Con el par de valores  $(V;t)$  obtenidos  $(35;17)$  y  $(120;12,50)$ , se realiza una nueva gráfica en escala logarítmica y se localiza el punto de intersección de la misma con el valor del logaritmo de la velocidad de corte para la que se quiere calcular la vida de la herramienta, es decir,  $V = 50$  m/min ( $\log 50 = 1,70$ ). El valor que se obtiene en ordenadas es el valor del logaritmo del tiempo de vida de la herramienta  $(1,19)$  para esa velocidad. Despejando la expresión:

$$\log T = 1,19 \Rightarrow T = 15,55 \text{ min} = 933 \text{ s}$$

se obtiene el valor solicitado.



**Figura 25.2.** Vida de la herramienta frente a la velocidad de corte,  $V$ , en escala logarítmica.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## EJERCICIO 26

***Vida de la herramienta: torno***

Ensayos realizados en un proceso de cilindrado con una herramienta de metal duro recubierto, con avance y profundidad de pasada constante, permiten apreciar que el criterio de inutilidad de la parte activa de la herramienta empleada se alcanza a los 10 min de funcionamiento, cuando la velocidad de corte es de 300 m/min, y a los 20 min cuando dicha velocidad es de 200 m/min.

Calcular la velocidad de corte para una vida de herramienta de 15 min, valor que es usual en catálogos de herramientas de este tipo, e indicar cuál ha de ser la velocidad de giro seleccionada en el torno para cilindrar con una vida de herramienta igual o lo más próxima posible, pero en todo caso superior, a 15 min, si se mecanizan, bajo condiciones análogas, piezas cilíndricas desde un diámetro inicial de 54 mm a uno final de 50 mm.

*Nota:* El torno tiene una gama de regímenes de giro con un escalonamiento de 100 rpm.

**SOLUCIÓN**

La expresión de la ecuación de Taylor es:

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

y aplicando los valores de los ensayos se obtiene:

$$300 \cdot 10^n = K$$

$$200 \cdot 20^n = K$$

luego:

$$30 \cdot 10^n = 200 \cdot 200^n$$

donde:

$$n \cdot \log 0,50 = \log 0,67 \Rightarrow n = 0,58$$

y de las ecuaciones anteriores, se extrae:

$$300 \cdot 10^{0,58} = K = 1.140,57$$

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

- - -

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

Para conseguir alcanzar 237,13 m/min con un diámetro medio de 52 mm, el cabezal del torno debe girar a:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1.000} \Rightarrow N = \frac{V \cdot 1.000}{\pi \cdot D} = \frac{237,13 \cdot 1.000}{\pi \cdot 52} = 1.451,55 \text{ rpm}$$

Por tanto, para cumplir la condición impuesta en el enunciado se toma  $N = 1.400$  rpm.

Para el cálculo de la vida de la herramienta se necesita conocer la velocidad de trabajo para el giro del torno calculado:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1.000} = \frac{\pi \cdot 52 \cdot 1.400}{1.000} = 228,71 \text{ m/min}$$

Y en este caso, la vida de la herramienta es:

$$V \cdot T^{0,58} = 1.140,57 \Rightarrow 228,71 \cdot T^{0,58} = 1.140,57 \Rightarrow T = \left( \frac{1.140,57}{228,71} \right)^{1/0,58} = 15,96 \text{ min}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 27

***Vida de la herramienta: torno***

Mediante la realización de diversos ensayos de cilindrado en una pasada, con una herramienta de acero rápido, con un avance de 0,2 mm/vuelta y una profundidad de pasada de 2 mm, se obtiene la siguiente ecuación de vida de la herramienta:

$$V(\text{m/min}) \cdot T(\text{min})^{0,15} = 515$$

Para un proceso de cilindrado en condiciones operativas análogas, calcular:

- ¿Cuál debe ser la velocidad de corte para que la vida de la herramienta sea de 15 min?
- ¿Qué régimen de giro se debe emplear para que la vida de la herramienta sea la máxima posible, pero inferior a 15 min, si el diámetro de la pieza de partida es de 150 mm y los regímenes de giro del cabezal del torno, que pueden ser seleccionados, han de ser múltiplos de 5 rpm? ¿Qué velocidad de corte se estará empleando entonces?
- ¿Cuál es el caudal de material eliminado? ¿Cuál es el volumen total de material eliminado en el proceso?

*Nota:* Se han de hacer las hipótesis complementarias que se consideren necesarias para la resolución de estos apartados siempre que se justifiquen adecuadamente.

**SOLUCIÓN****Apartado A**

Con la ecuación de Taylor y el tiempo solicitado, se calcula la velocidad de corte:

$$V \cdot 15^{0,15} = 515 \Rightarrow V = \frac{515}{15^{0,15}} = 343,08 \text{ m/min} = 5,72 \text{ m/s}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

La velocidad de corte para el régimen de giro seleccionado es:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1.000} = \frac{\pi \cdot 150 \cdot 730}{1.000} = 344 \text{ m/min}$$

Y, en este caso, la vida de la herramienta es:

$$V \cdot T^{0,15} = 515 \Rightarrow 344 \cdot T^{0,15} = 515 \Rightarrow T = \left( \frac{515}{344} \right)^{\frac{1}{0,15}} = 14,73 \text{ min} < 15 \text{ min}$$

### Apartado C

El volumen de material eliminado por minuto viene dado por:

$$\dot{z} = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot a \cdot N = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot f$$

donde:

—  $D_m$  es el diámetro medio que se calcula de la siguiente manera:

$$D_m = \frac{D_i + D_f}{2}$$

—  $D_f$  es el diámetro final:

$$\Rightarrow D_f = D_i - 2d = 150 - 2 \cdot 2 = 146 \text{ mm}$$

$$D_m = \frac{D_i + D_f}{2} = \frac{150 + 146}{2} = 148 \text{ mm}$$

Por tanto, el volumen de material eliminado por minuto es:

$$\dot{z} = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot a \cdot N = \pi \cdot 148 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 730 = 135.767,07 \text{ mm}^3/\text{min} = 2.262,78 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Para calcular el material total eliminado en el proceso se pueden realizar varias hipótesis, que deben explicarse y justificarse adecuadamente.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

cálculo se puede realizar por consideraciones geométricas, como la diferencia entre los volúmenes de las preformas inicial y final, por lo que la expresión que se debe utilizar es:

$$Vol = \frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2 - D_f^2) \cdot l = \frac{\pi}{4} \cdot (150^2 - 146^2) \cdot 1.000 = 929.911,43 \text{ mm}^3 \approx 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

### **Opción 2**

Si se considera volumen total de material eliminado aquel que se elimina mientras que una herramienta está operativa (calculada anteriormente,  $T=14,73$  min), se debe tener en cuenta el volumen de material eliminado por minuto y el tiempo de vida de la herramienta:

$$Vol = \dot{z} \cdot T = 135.767,07 \cdot 14,73 = 1.999.848,94 \text{ mm}^3 \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## EJERCICIO 28

**Costes en el mecanizado**

Se realiza una operación de cilindrado con una herramienta monofilo de acero de alta velocidad sobre un redondo de acero suave que tiene una longitud de 600 mm y un diámetro de 150 mm. El proceso se realiza con un avance de 0,20 mm/rev y una profundidad de pasada constante de 2 mm, considerando un tiempo no productivo de 4 min y un tiempo de reposición de filo de 3 min. El costo de la máquina y operador se ha estimado en 20 €/h y el costo de la herramienta en 2 € por filo de corte.

Calcular la vida de la herramienta y la velocidad de corte tanto para un mínimo coste como para una máxima producción.

*Nota:* Los parámetros de la ecuación de Taylor generalizada son:  $K = 65$ ,  $n = 0,13$  y  $n_1 = 0,09$ .

**SOLUCIÓN**

La relación entre costes, velocidad de corte, avance y vida de la herramienta para un mínimo coste, viene dada por la expresión:

$$T_{mc} \left( \frac{1}{n} - 1 \right) \cdot \left( t_{rf} + \frac{C_{hf}}{\dot{c}} \right) = \frac{K}{V^{1/n} \cdot a^{1/n_1}}$$

donde:

- $T_{mc}$  es la vida de la herramienta para un mínimo coste.
- $t_{rf}$  es el tiempo de reposición de filo.
- $C_{hf}$  es el coste de la herramienta por filo.
- $\dot{c}$  es el coste por unidad de tiempo de operación de la máquina.
- $V$  es la velocidad de corte.
- $a$  es el avance.
- $K$ ,  $n$  y  $n_1$  son los parámetros de la ecuación de Taylor generalizada.

Por tanto, para calcular la vida de la herramienta solicitada, se aplica la expresión:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

$$T_{mc} = \frac{K}{V^{1/n} \cdot a^{1/n_1}} \Rightarrow 60,64 = \frac{65}{V^{1/0,13} \cdot a^{1/0,09}} \Rightarrow V = 10,32 \text{ m/min}$$

La relación entre costes, velocidad de corte, avance y vida de la herramienta para una máxima producción, viene dada por la expresión:

$$T_{mp} = \left( \frac{1}{n} - 1 \right) \cdot t_{rf} = \frac{K}{V^{1/n} \cdot a^{1/n_1}}$$

donde:

- $T_{mp}$  es la vida de la herramienta para una máxima producción.
- $t_{rf}$  es el tiempo de reposición de filo.
- $V$  es la velocidad de corte.
- $a$  es el avance.
- $K, n$  y  $n_1$  son los parámetros de la ecuación de Taylor generalizada.

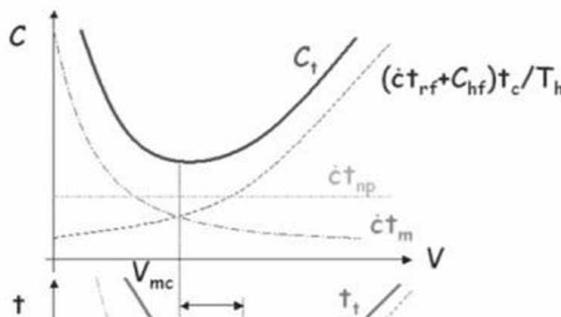
Por tanto, para calcular la vida de la herramienta solicitada, se aplica la expresión:

$$T_{mp} = \left( \frac{1}{n} - 1 \right) \cdot t_{rf} = \left( \frac{1}{0,13} - 1 \right) \cdot 3 = 20,08 \text{ min} \approx 20 \text{ min}$$

Para obtener la velocidad de corte, se formula la ecuación de Taylor generalizada para una profundidad de pasada,  $d$ , constante:

$$T_{mp} = \frac{K}{V^{1/n} \cdot a^{1/n_1}} \Rightarrow 20,08 = \frac{65}{V^{1/0,13} \cdot 0,20^{1/0,09}} \Rightarrow V = 11,91 \text{ m/min}$$

Como se puede ver, los resultados obtenidos  $T_{mp} < T_{mc}$  y  $V_{mp} > V_{mc}$  son los que cabía esperar (Figura 28.1)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

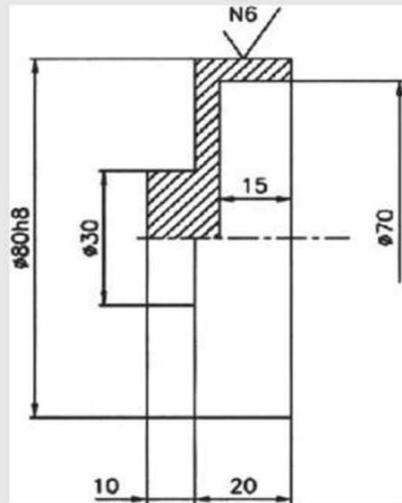
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## EJERCICIO 29

**Planificación de procesos**

Enumerar la secuencia de operaciones que hay que realizar para obtener la pieza representada en la Figura 29.1, en acero de resistencia  $R = 60 \text{ daN/mm}^2$  convencional y cuyas características están recogidas en la Tabla 29.1, sabiendo que se dispone de herramientas de acero rápido. Las tolerancias no indicadas en el plano de la pieza se tomarán del intervalo IT-13 reunidas en la Tabla 29.2, basada en la norma UNE-EN 20286-1:1996.



**Figura 29.1.** Pieza que mecanizar.

*Notas:*

1. La velocidad de giro del husillo principal,  $N$ , viene dada para cilindrado y refrentado por las siguientes expresiones:

a) Cilindrado:

$$T = \frac{1.000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

b) Refrentado:

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

donde:

- $r_i$  es el radio interior.
- $r_e$  es el radio exterior.
- $n$  es un coeficiente que depende del material de la herramienta. Para aceros rápidos,  $n = 1/6$ .

2. La velocidad de corte recomendada por el fabricante, en función del material para mecanizar y del material de la herramienta, puede tomarse de la Tabla 29.3.

**Tabla 29.1. Características del torno empleado en el mecanizado**

**Velocidades del torno (rpm):** 56 - 71 - 90 - 112 - 140 - 180 - 224 - 400 - 500 - 630 - 800 - 1.000 - 1.250 - 1.600

**Potencia de accionamiento:** 1,5 kW

**Avances de cilindrado y refrentado (mm/rev)**

N.º de dientes por rueda		1	2	3	4	5	6	7	8	9
30-120	Cilindrado	0,032	0,035	0,037	0,410	0,044	0,049	0,051	0,054	0,061
	Refrentado	0,022	0,024	0,026	0,028	0,031	0,034	0,035	0,037	0,042
30-120	Cilindrado	0,065	0,070	0,075	0,082	0,088	0,098	0,102	0,108	0,122
	Refrentado	0,044	0,048	0,052	0,056	0,062	0,068	0,070	0,074	0,084
60-60	Cilindrado	0,130	0,140	0,150	0,160	0,176	0,196	0,204	0,216	0,244
	Refrentado	0,088	0,096	0,104	0,112	0,124	0,136	0,140	0,148	0,168
60-60	Cilindrado	0,260	0,280	0,300	0,320	0,350	0,390	0,400	0,430	0,480
	Refrentado	0,176	0,192	0,208	0,024	0,248	0,270	0,280	0,290	0,330
90-45	Cilindrado	0,520	0,460	0,600	0,640	0,700	0,780	0,800	0,860	0,960
	Refrentado	0,350	0,380	0,400	0,440	0,490	0,540	0,560	0,580	0,660
90-45	Cilindrado	0,260	0,280	0,300	0,320	0,350	0,390	0,400	0,430	0,480
	Refrentado	0,176	0,192	0,208	0,022	0,248	0,270	0,280	0,290	0,330

**Tabla 29.2. Calidades de tolerancias para ejes y agujeros (UNE-EN 20286-1:1996)**

Grupos de diámetros (mm)	Calidades																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
0 < 3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

**Tabla 29.2.** Calidades de tolerancias para ejes y agujeros (UNE-EN 20286-1:1996). (Cont.)

Grupos de diámetros (mm)	Calidades																	
	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
80 < d ≤ 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1.400	2.200
120 < d ≤ 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1.000	1.600	2.500
180 < d ≤ 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1.150	1.850	2.900
250 < d ≤ 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1.300	2.100	3.200
315 < d ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1.400	2.300	3.600
400 < d ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1.550	2.500	4.000
	Ultraprecisión					Calibre y piezas de gran precisión					Piezas o elementos para ajustar					Piezas o elementos que no se han de ajustar		

**Tabla 29.3.** Velocidades de corte recomendadas por el fabricante en función de los materiales de la pieza, de la herramienta y el tipo de operación

Velocidad de corte en el torneado (m/min)					
Material para mecanizar		Herramientas de acero rápido		Herramientas de carburo metálico	
		Desbaste	Acabado	Desbaste	Acabado
Aceros al carbono	R = 50 daN/mm <sup>2</sup>	35	45	165	210
	R = 60 daN/mm <sup>2</sup>	30	40	135	160
	R = 70 daN/mm <sup>2</sup>	25	35	110	135
	R = 80 daN/mm <sup>2</sup>	20	30	90	110
Acero moldeado	R = 40 daN/mm <sup>2</sup>	25	35	120	145
	R = 50 daN/mm <sup>2</sup>	12	20	95	110
	R = 60 daN/mm <sup>2</sup>	10	15	65	75
Aceros aleados	R = 70-90 daN/mm <sup>2</sup>	20	30	65	80
Aceros inoxidables	R = 70-90 daN/mm <sup>2</sup>	10	15	35	50
Aceros de herramienta	R = 100-150 daN/mm <sup>2</sup>	5	8	30	45

## SOLUCIÓN

La resolución de este tipo de problemas en los que se parte del plano de la pieza y hay que definir el proceso de fabricación de la misma, consiste en especificar todos los elementos que intervienen (máquinas, formas, utillajes y herramientas), las operaciones necesarias para fabricar la pieza (re-

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

preforma de partida de 38 mm de longitud y 85 mm de diámetro; pero serían posibles otras preformas de dimensiones cercanas. En cuanto a los utillajes, no ha sido necesario definir ninguno específico ya que los propios dispositivos de la máquina, plato de garras, han sido suficientes para su sujeción. Lo mismo ha ocurrido con las herramientas, para lo que no ha hecho falta seleccionar ninguna en concreto. Las operaciones de mecanizado realizadas han sido de refrentado, cilindrado, punteado y taladrado. A continuación se va a indicar cómo se han definido las condiciones de corte y se va a mostrar un ejemplo de aplicación con la primera operación realizada. Para el resto de las operaciones se dan los resultados obtenidos de forma esquemática.

## SELECCIÓN Y CÁLCULO DE PARÁMETROS EN OPERACIONES DE TORNEADO

### *Elección de la velocidad de corte*

A la hora de tomar la velocidad de corte para una determinada operación de mecanizado, se pueden considerar distintos criterios. Los más extendidos son: el coste de producción mínimo, el tiempo de producción mínimo (máxima producción en la unidad de tiempo) y el máximo beneficio.

Generalmente, no es un ejercicio sencillo y, en la práctica, se suelen emplear valores, avalados por la experiencia, que proporcionan buen rendimiento y que cubren los tres criterios, aunque no se optimice ninguno de ellos en particular. Por otra parte, según se ha podido comprobar en la práctica, no existen grandes diferencias entre las velocidades óptimas encontradas para cada criterio.

En este caso, tratándose de un acero al carbono cuya resistencia a rotura es  $R = 60 \text{ kg/mm}^2$ , puede verse en la Tabla 29.3 que las velocidades de corte en el torneado en desbaste y en acabado han de estar en torno a 30 y 40 m/min, respectivamente.

Las dos operaciones fundamentales que se desarrollan en un proceso de mecanizado con torno son: cilindrado y refrentado. En cada uno de ellas, las velocidades de corte antes señaladas, permiten calcular la velocidad de rotación del husillo principal de la máquina-herramienta.

Así, en el cilindrado, se tiene la siguiente expresión para calcular la velocidad de giro del husillo a partir de la velocidad de corte recomendada por el fabricante:

$$N = \frac{1.000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (1)$$

expresión en la que la velocidad de corte,  $V$ , se mide en metros por minutos y el diámetro de la pieza,  $D$ , en milímetros.  $D$  es conocido y depende de la geometría de la pieza y el valor de  $V$  se busca

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

En las operaciones de refrentado, aunque la velocidad de rotación del husillo principal del torno es constante, la velocidad de corte,  $V$ , es variable. Si se supone un caso general de refrentado de una superficie con forma de corona circular, de radios exterior e interior dados respectivamente por  $r_e$  y  $r_i$ , la velocidad de corte variará desde un valor mínimo,  $V_{min}$ , en la superficie exterior caracterizada por  $r_e$ , hasta un valor máximo,  $V_{max}$ , en la superficie interior dada por  $r_i$ .

En este caso, la velocidad de rotación del husillo viene dada por:

$$N = \frac{1.000 \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot r_e} \cdot \left( \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \cdot \frac{1 - \left( \frac{r_i}{r_e} \right)}{1 - \left( \frac{r_i}{r_e} \right)^{\left( 1 + \frac{1}{n} \right)}} \right)^n \quad (2)$$

donde  $n$  depende del material de la herramienta. Para el caso de herramientas de acero rápido,  $n = 1/6$ .

De forma análoga al cilindrado, se toma la expresión (2) con una velocidad de corte de 30 o 40 m/min, según se trate de desbaste o acabado, se calcula el  $N_{cal}$  y se toma el  $N$  inferior más cercano que da la máquina. Con este valor y la expresión (2) se obtiene la velocidad de corte,  $V$ .

### *Elección del avance*

Para elegir el avance, hay que distinguir entre operaciones de desbaste y acabado. En las operaciones de desbaste, la elección del avance está condicionada por criterios de máxima producción y vida de la herramienta.

Para conseguir eliminar mayor volumen de material en la unidad de tiempo y, por tanto, aumentar la producción, es preferible incrementar el avance a la velocidad de corte ya que los incrementos en la velocidad de corte reducen más la vida de la herramienta que los incrementos en el avance. Ahora bien, estos incrementos en el avance estarán limitados por las posibilidades de la máquina-herramienta, pues un aumento del avance supone un aumento de la fuerza de corte, mientras que un incremento de la velocidad de corte apenas influye en dicha fuerza.

Como resumen, en desbaste se debe seleccionar, siempre que se pueda, el avance máximo posible procurando que sea inferior a 0,5 mm/rev, para evitar problemas de desgaste de las herramientas.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Generalmente es adecuado tomar valores de  $r_e = 0,2$  mm ya que valores más altos, aunque mejoran el acabado, aumentan mucho el rozamiento entre la pieza y la herramienta, y pueden aparecer retemblados, fácilmente detectables con rugosímetro.

En este ejercicio se toma  $R_a = 1,6$   $\mu\text{m}$  para todas las superficies, salvo para la que requiere un acabado superficial N6, en la cual  $R_a = 0,8$   $\mu\text{m}$ , según indica la norma UNE-EN ISO 1302:2002.

A partir de la expresión (3) se obtiene el avance,  $a$ ; valor a partir del cual se elige el avance definitivo del cuadro de características del torno (Tabla 29.1), teniendo en cuenta una reducción del orden del 15%, conveniente para conseguir un mecanizado óptimo, ya que interesa utilizar un avance pequeño.

En cuanto a las limitaciones de la máquina-herramienta referidas más arriba y que vienen impuestas, principalmente, por la potencia de corte que es necesaria para realizar las distintas operaciones, en particular, las de desbaste, cabe hacer las siguientes consideraciones:

Durante el proceso de torneado, aparece una interacción entre pieza y herramienta, que da lugar a una fuerza resultante,  $\vec{R}$ , que puede ser descompuesta según diferentes direcciones. De ellas, la que suele interesar es la proyección en la dirección de la velocidad de corte, denominada fuerza de corte,  $F_c$ , por permitir calcular la potencia necesaria,  $\dot{W}$ , con tan solo multiplicar por la velocidad de corte,  $V$ . Es decir:

$$\dot{W} = F_c \cdot V \quad (4)$$

Con la fuerza de corte dada por:

$$F_c = p_c A_1 \quad (5)$$

donde  $A_1$  es la sección de viruta sin deformar y,  $p_c$ , la presión de corte.

La presión de corte,  $p_c$ , en general no es constante, y depende de factores como el material de la pieza, el material y la geometría de la herramienta, la sección de viruta, la velocidad de corte, las condiciones de lubricación y refrigeración, y el desgaste de la herramienta, por citar solo los más relevantes. Por ello, se han desarrollado métodos experimentales y semiexperimentales para su determinación, como son el método de Kronenberg, según el cual  $p_c$  viene dada a través de tablas y el método de corte ortogonal que da la dependencia de  $p_c$  respecto al material y a la posición del plano de deslizamiento.

Sin embargo, se ha podido comprobar que la presión de corte es casi constante para pequeñas variaciones de las condiciones de corte y viene dada, para el caso de los aceros, por:

$n = 5, R = 0,6$  (6)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Si se llama  $\dot{W}_m$  a la potencia del motor que proporciona el movimiento principal de corte y los movimientos de las transmisiones mecánicas de la máquina, hay que tener en cuenta que, de la potencia motor, solo será útil,  $\dot{W}_u$ , la que resulta de descontar la que se emplea en los movimientos de las transmisiones mecánicas de la máquina. Esto es:

$$\dot{W}_u = \eta \cdot \dot{W}_m \quad (7)$$

Donde  $\eta$  es el rendimiento de las transmisiones mecánicas de la máquina y suele estar comprendido entre  $0,6 < \eta < 0,9$ .

Como en este caso  $\dot{W}_m = 1,5$  kW, si se toma el rendimiento  $\eta = 0,9$ , se tendrá una potencia útil de  $\dot{W}_u = 1,3$  kW.

### *Elección de la profundidad de pasada*

La profundidad de pasada viene definida, en muchos casos, por las creces de mecanizado y, en otros, por la anchura máxima permisible del filo de la herramienta en contacto con la pieza que se va a mecanizar.

La solución de compromiso que se tiene que adoptar a lo largo de todas las operaciones, lleva a la selección, en desbaste, de avances lo más grandes posibles ( $a \cong 0,5$  mm/rev) y profundidades de pasada de, aproximadamente, 4 mm; de manera que la potencia disponible sea menor o igual a 1,3 kW; y, en acabado, a la selección de avances pequeños ( $a \leq 0,2$  mm/rev) y profundidades de pasada inferiores a 0,6 mm.

### SELECCIÓN Y CÁLCULO DE PARÁMETROS EN OPERACIONES DE TALADRADO

Antes de mecanizar la parte interior de la pieza, hay que realizar un taladro de unos 16 mm de diámetro con el fin de poder introducir la herramienta de cilindrar interiores.

La potencia de corte no debe superar el valor de 1,3 kW por lo que la operación de taladrado se realizará en tres fases, partiendo de una broca de 6 mm de diámetro, y aumentando posteriormente a otras de 12 mm y 16 mm.

Las brocas poseen dos filos, valor que hay que tener en cuenta al evaluar el avance de la herra-

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

$$\dot{W}_u = \frac{p_c \cdot \pi \cdot D^2 \cdot N \cdot f}{4} \quad (8)$$

Según esto, se elige la broca inicial de  $D = 6$  mm y a partir de ahí se toman las siguientes con diámetros de 12 mm y 16 mm respectivamente.

### **Cálculo de los tiempos de mecanizado**

Para calcular los tiempos de mecanizado correspondientes a una operación dada hay que distinguir entre operaciones de cilindrado y refrentado. Así, en las operaciones de cilindrado se tiene la siguiente expresión:

$$t_m = \frac{l_m}{f} = \frac{l_e + d \cdot \cotg \chi_r + l + l_s}{a \cdot N} \quad (9)$$

donde:

- $l_e$  es la longitud de entrada o distancia de seguridad que desplaza el operario la herramienta respecto a la pieza para que no haya penetración. Para evitar que el tiempo de mecanizado aumente excesivamente se le da un valor de 3 mm.
- $l_s$  es la longitud de salida o distancia que deja el operario entre la herramienta y la pieza una vez que se ha terminado de efectuar la operación de cilindrado. Se suele tomar de valor 3 mm siempre que la geometría de la pieza lo permita.
- $l$  es la longitud total que hay que mecanizar,
- $\chi_r$  es el ángulo de posición, esto es, el que forma la arista de corte con la dirección de la velocidad de corte. Se toma  $12^\circ$  en el caso de desbaste y  $20^\circ$  en el de acabado.

Para operaciones de refrentado se utiliza la siguiente expresión:

$$t_m = \frac{l_m}{f} = \frac{l_e + d \cdot \cotg \chi_r + r_e - r_i + l_s}{a \cdot N} \quad (10)$$

donde  $l_e$ ,  $l_s$  y  $\chi_r$  tienen el mismo significado que para operaciones de cilindrado, siendo ahora el valor  $\chi_r$  igual a  $25^\circ$ , y  $r_e$  y  $r_i$  los radios exterior e interior del refrentado realizado.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$N = \frac{1.000 \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot r_e} \cdot \left( \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \cdot \frac{1 - \left( \frac{r_i}{r_e} \right)}{1 - \left( \frac{r_i}{r_e} \right)^{\left( 1 + \frac{1}{n} \right)}} \right)^n = \frac{1.000 \cdot 30}{2 \cdot \pi \cdot 85/2} \cdot \left( \left( 1 + \frac{1}{1/6} \right) \cdot \frac{1 - \left( \frac{0}{85/2} \right)}{1 - \left( \frac{0}{85/2} \right)^{\left( 1 + \frac{1}{1/6} \right)}} \right)^{1/6} = 155,38 \text{ rpm}$$

De la gama de velocidades del torno (Tabla 29.1) se toma 140 rpm y se calcula la velocidad de corte real a la que se realiza el proceso:

$$N = \frac{1.000 \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot r_e} \cdot \left( \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \cdot \frac{1 - \left( \frac{r_i}{r_e} \right)}{1 - \left( \frac{r_i}{r_e} \right)^{\left( 1 + \frac{1}{n} \right)}} \right)^n = \frac{1.000 \cdot V}{2 \cdot \pi \cdot r_e} \cdot \left( 1 + \frac{1}{n} \right)^n$$

$$V = \frac{N}{\left( 1 + \frac{1}{n} \right)^n} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r_e}{1.000} = \frac{140}{\left( 1 + \frac{1}{1/6} \right)^{1/6}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 85/2}{1.000} = 27,03 \text{ m/min}$$

Como se ha indicado anteriormente, la potencia del torno es 1,5 kW luego, suponiendo que el rendimiento de la máquina por pérdidas en las transmisiones es del 90% ( $\eta = 0,9$ ), la potencia útil disponible es igual a:

$$\dot{W}_u = \eta \cdot \dot{W}_m = 0,9 \cdot 1,5 = 1,3 \text{ kW}$$

Con la potencia y la velocidad obtenidas, se puede calcular la fuerza de corte:

$$F_c = \frac{\dot{W}}{V} = \frac{1,3 \cdot 1.000}{27,03/60} = 2.944 \text{ N}$$

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

$$a = \frac{A_1}{d} = \frac{1}{4} = 0,250 \text{ mm/rev}$$

que es el avance para la operación de refrentado en desbaste.

Para la pasada de acabado se obtiene el avance,  $a$ , a partir de la expresión (3). Al valor obtenido hay que aplicarle una reducción del orden del 15%, para conseguir un mecanizado óptimo (ya que interesa utilizar avances pequeños):

$$a = \sqrt[r_{\varepsilon}]{\frac{R_{\text{ideal}}}{0,032}} = \sqrt[0,2]{\frac{1,6 \cdot 10^{-3}}{0,032}} = 0,1 \text{ mm/rev}$$

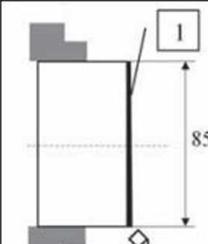
que con la reducción del 15 % da como resultado:

$$a = 0,085 \text{ mm/rev}$$

La profundidad de pasada en acabado es  $d = 0,5 \text{ mm}$ .

Si se unen los valores del avance para refrentado en desbaste y en acabado que se han calculado, a la tabla de características del torno (Tabla 29.1), y teniendo en cuenta que una vez seleccionada la cinemática del torno lo mejor es no tener que volver a cambiarla para evitar pérdidas de tiempo innecesarias, se ve que se pueden obtener valores similares a los calculados seleccionando el rango 60-60 y tomando para el avance en refrentado de desbaste un valor igual a 0,248 mm/rev y para el refrentado en acabado 0,088 mm/rev.

Para el resto de las operaciones se propone seguir la metodología planteada dando, seguidamente, una posible solución a todas ellas.

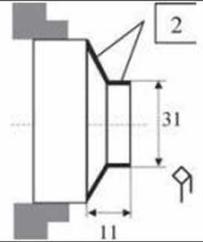
Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		$a$ mm/rev	$V$ m/min	Htas. <sup>1</sup>
			$N$	$d$ (mm)			
1		<b>Refrentar en desbaste 1.</b> En el plato universal se monta la preforma de dimensiones; 85 mm de diámetro y 38 mm de longitud, para limpiar el corte mediante una pasada.	1	4	0,248	27,03	T1
		<b>Refrentar en acabado 1.</b> Con la misma sujeción se da una pasada de acabado.	1	0,5	0,088	36,44	T2

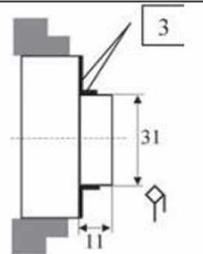
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

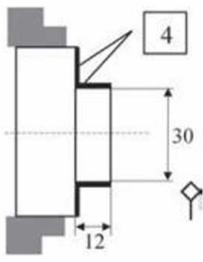
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		$a$ mm/rev	$V$ m/min	Htas.
			$N$	$d$ (mm)			
2		<b>Cilindrar en desbaste 2.</b> Se mecaniza para pasar de un diámetro de 85 mm a 31 mm, en una longitud de 11 mm. Se hace parte en forma de chaflán para dar salida la herramienta y que en la siguiente operación el desbaste no sea excesivo.	10	2,7	0,216	29,90	T1

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		$a$ mm/rev	$V$ m/min	Htas.
			$N$	$d$ (mm)			
3		<b>Refrentar en desbaste 3.</b> Con la misma sujeción que en la operación 2 se mecanizan los chaflanes hasta alcanzar una longitud de 11 mm.	1	1	0,248	29,50	T2

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		$a$ mm/rev	$V$ m/min	Htas.
			$N$	$d$ (mm)			
4		<b>Cilindrar en acabado 4.</b> Manteniendo el mismo sistema de sujeción se reduce el diámetro 1 mm (de 31 a 30 mm) mediante una operación de cilindrado a lo largo de 12 mm de longitud.	1	0,5	0,088	38,70	T2
		<b>Refrentar en 4.</b> Refrentar desde el diámetro mayor de 85 a 30 mm en una longitud también de 1 mm.	1	1	0,088	35,60	T2

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		$a$ mm/rev	$V$ m/min	Htas.
			$N$	$d$ (mm)			
		Valen la pieza y cilindrar en des					

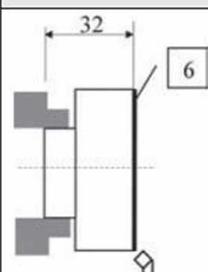
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

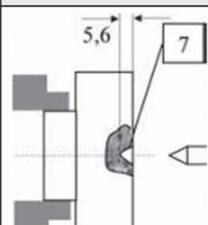
---

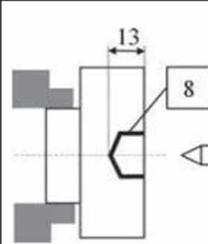
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

EJERCICIOS Y PROBLEMAS DE MECANIZADO

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		a mm/rev	V m/min	Htas.
			N	d (mm)			
6		<b>Refrentar en desbaste 6.</b> Mecanizar de 33,5 a 32,5 mm.	1	1	0,248	27,40	T2
		<b>Refrentar en acabado 6.</b> Mecanizar de 32,5 a 32 mm.	1	0,5	0,088	34,30	T2

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		a mm/rev	V m/min	Htas.
			N	d (mm)			
7		<b>Puntear 7.</b> Con la misma sujeción que en la operación anterior, se puntea el extremo de la pieza con una broca de puntear de 2,5 mm de diámetro. Será útil para el centrado de las brocas que se usarán en la operación siguiente.	2	2,8	Manual	12,50	T4-2,5

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		a mm/rev	V m/min	Htas.
			N	d (mm)			
8		<b>Taladrar 8.</b> Se hace un taladro con 13 mm de profundidad y se utilizan las siguientes brocas: 6 mm 12 mm 16 mm	3	4,3	Manual	18,50	T5-6
			3	4,3	Manual	28,70	T5-12
			3	4,3	Manual	28,20	T5-16

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		a mm/rev	V m/min	Htas.
			N	d (mm)			
		<b>Cilindro en desbaste 9.</b> Mecanizar					

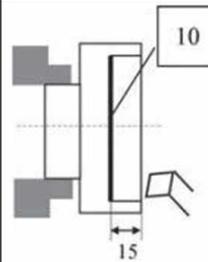
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

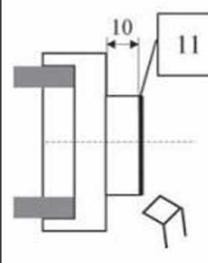
---

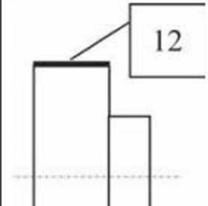
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

EJERCICIOS

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		a mm/rev	V m/min	Htas.
			N	d (mm)			
10		<b>Refrentar en desbaste 10.</b> Con la misma sujeción que en la operación 9, mecanizar hasta 14,5 mm.	1	1,5	0,330	27,40	T3
		<b>Refrentar en acabado 10.</b> Mecanizar hasta 15 mm de profundidad.	1	0,5	0,088	34,30	T3

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		a mm/rev	V m/min	Htas.
			N	d (mm)			
11		Como se ha dejado en esta zona mayor longitud para que la sujeción sea más segura, es necesario volver la pieza para quitar los milímetros que sobran. Hay que usar garras blandas interiores para no dañar el acabado de la superficie interior ya terminada.	1	1,5	Manual	20,50	T2
		<b>Refrentar en desbaste 11.</b> Mecanizar de 12 mm de profundidad a 10,5 mm.	1	0,5	0,088	36,70	T2
		<b>Refrentar en acabado 11.</b> Mecanizar de 10,5 mm a 10 mm de profundidad.					

Op.	Croquis	Descripción	Pasadas		a mm/rev	V m/min	Htas.
			N	d (mm)			
12		Ésta es la última operación, en la que se realizará el acabado superficial de la pieza, para ello se hace un rectificado, se pasa de un diámetro inicial de 80 mm a un diámetro final 80 h 8.					

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

The logo for Cartagena99 features the text "Cartagena99" in a stylized, teal-colored font. The text is set against a light blue, arrow-shaped background that points to the right. Below the text, there is a horizontal orange bar.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

---

# Bibliografía

---

- Boothroyd, C.: *Fundamentos del corte de metales y de las Máquinas-Herramienta*, McGraw-Hill Latinoamericana, México, 1978.
- Boothroyd, G. y Knight, W. A.: *Fundamentals of machining and machine tool*, 3<sup>rd</sup> ed., Boca Raton: Taylor and Francis, New York, 2006.
- Carro, J.; Sánchez, A. M.; Sebastián, M. A.; Torres, F. y Vizán, A.: *Ejercicios de tecnología mecánica*, Servicio de publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1979.
- Cembrero, J.; Ferrer, C.; Pascual, M. y Pérez, M. A.: *Ciencia y tecnología de materiales: problemas y cuestiones*, Pearson Educación, Madrid, 2005.
- Gerling, H.: *Alrededor de las máquinas-herramienta*, 3.<sup>a</sup> ed., reimp, Reverté, Barcelona, 2006.
- Groover. M. P.: *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*, Prentice-Hall Hispanoamericana, cop., México, 2007.
- Kalpakjian, S. y Schmid, S. R.: *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 5.<sup>a</sup> ed., Pearson Educación, México, 2008.
- Martín, R.; Rodríguez, P.; Sanz, A. y González, I.: *Sistemas de producción I. Teoría*, Servicio de publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2005.
- Martín, R.; Rodríguez, P.; Sanz, A. y González, I.: *Sistemas de producción II. Teoría*, Servicio de publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.
- Martín, R.; Rodríguez, P.; Sanz, A. y González, I.: *Sistemas de producción I y II. Prácticas*, Servicio de publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Aeronáuticos, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.
- Micheletti, G. F.: *Tecnología mecánica: Mecanizado por arranque de viruta*, Blume, Barcelona, 1986.
- SAE, ASTM: *Metals and alloys in the unified numbering system*, 10 ed., Warrendale (Pennsylvania), Society of Automotive Engineers (Philadelphia), American Society for Testing and Materials, cop., 2004.
- UNE-EN ISO 1302:2002: Especificación de productos (GPS). Indicación de la calidad superficial en la documentación técnica de productos, AENOR, Madrid, 2002.
- UNE-EN 20286-1:1993: Sistema ISO de tolerancias y ajustes. Parte 1: Base de tolerancias, desviaciones y ajustes, AENOR, Madrid, 1993.
- UNE-EN 20286-2:1993: Sistema ISO de tolerancias y ajustes. Parte 2: Tablas de los grados de tolerancia nor-

The logo for Cartagena99, featuring the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font with a light blue shadow effect. The '99' is significantly larger and more prominent than the 'Cartagena' part.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a map of the city of Cartagena. Below the text is a horizontal orange bar with a slight gradient.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

---

# Anexos

---

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a splash or a stylized '9'. Below the text, there is a horizontal orange bar that tapers at both ends, suggesting a shadow or a base.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a splash or a drop. Below the text, there is a horizontal orange bar that tapers at both ends, giving it a ribbon-like appearance.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

## ANEXO 1

***Símbolos y unidades***

- Ancho de corte,  $b$  [mm]
- Ángulo de deslizamiento,  $\varphi$  [° grados]
- Ángulo de desprendimiento,  $\gamma$  [° grados]
- Ángulo de posición,  $\chi_r$  [° grados]
- Ángulo de rozamiento,  $\rho$  [° grados]
- Avance por filo,  $a_z$  [mm/rev/filo]
- Avance,  $a$  [mm/rev]
- Coeficiente aparente de rozamiento,  $\mu$  [ ]
- Componente normal de la fuerza de corte,  $N_c$  [N]
- Componente normal de la fuerza según la cara de desprendimiento,  $N_\gamma$  [N]
- Componente normal de la fuerza según el plano de deslizamiento,  $N_s$  [N]
- Coste por unidad de tiempo de operación de la máquina,  $\dot{c}$  [€/día]
- Coste de la herramienta por filo,  $\dot{C}_{hf}$  [€]
- Coste del operario,  $\dot{s}$  [€/año]
- Coste total por componente,  $\dot{C}$  [€]
- Coste total fijo por componente,  $\dot{C}_f$  [€]
- Coste total variable por componente,  $\dot{C}_v$  [€]
- Densidad de materiales,  $\rho$  [g/m<sup>3</sup>]
- Densidad de corriente,  $j$  [A/m<sup>2</sup>]
- Diámetro,  $D$  [mm]
- Energía específica,  $w$  [J/m<sup>3</sup>]
- Espesor de la viruta deformada,  $h_2$  [mm]
- Espesor de la viruta no deformada,  $h_1$  [mm]
- Fuerza de corte,  $F_c$  [N]
- Fuerza según la cara de desprendimiento,  $F_\gamma$  [N]
- Fuerza según el plano de deslizamiento,  $F_s$  [N]

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

- Par de torsión,  $T$  [Nm]
- Periodo de amortización en años,  $A$  [año]
- Porcentaje de costes de seguros e impuestos,  $r_s$  [%]
- Porcentaje de tasa de interés,  $r_i$  [%]
- Porcentaje del salario sobre costes variables,  $r_{op}$  [%]
- Potencia,  $\dot{W}$  [W]
- Presión de corte,  $p_c$  [N/m<sup>2</sup>] o [Pa]
- Presión específica de corte,  $p_s$  [N/m<sup>2</sup>] o [Pa]
- Profundidad de pasada,  $d$  [mm]
- Relación entre longitudes de viruta no deformada y deformada ( $l_1/l_2$ ),  $\xi$  [ ]
- Rendimiento de las transmisiones mecánicas de la máquina,  $\eta$  [% × 100]
- Revoluciones del husillo,  $N$  [rpm]
- Sección de la viruta no deformada,  $A_1$  [mm<sup>2</sup>]
- Tensión dinámica de deslizamiento,  $\tau_s$  [Pa]
- Tiempo,  $t$  [min] o [s]
- Tiempo de corte por componente,  $t_c$  [s]
- Tiempo de mecanizado por componente,  $t_m$  [s]
- Tiempo de reposición de filo,  $t_{rf}$  [s]
- Tiempo no productivo por componente,  $t_{np}$  [s]
- Tiempo total por componente,  $t_t$  [s]
- Tiempo de vida de la herramienta para un mínimo coste,  $T_{mc}$  [min]
- Tiempo de vida de la herramienta para una máxima producción,  $T_{mp}$  [min]
- Valor de la máquina al inicio del año,  $C_a$  [€]
- Valor inicial de la máquina instalada,  $C_o$  [€]
- Velocidad de avance,  $f$  [mm/min]
- Velocidad de corte,  $V$  [m/min]
- Velocidad de giro,  $\omega$  [rad/s]
- Vida de la herramienta  $T$  [min]
- Volumen de material eliminado por unidad de tiempo o caudal,  $\dot{z}$  [mm<sup>3</sup>/min]
- Volumen de material eliminado por abrasivos por unidad de tiempo,  $\dot{z}_a$  [mm<sup>3</sup>/min]
- Volumen de material eliminado por electrolito por unidad de tiempo,  $\dot{z}_{el}$  [mm<sup>3</sup>/min]



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

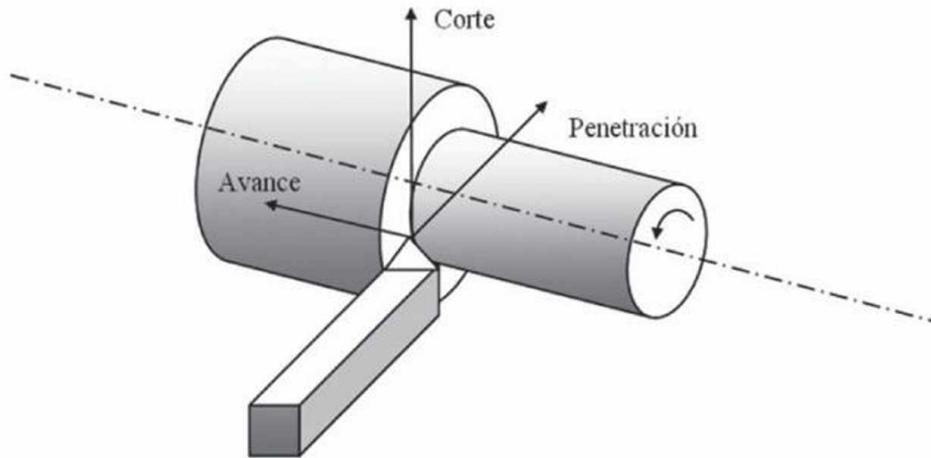
- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

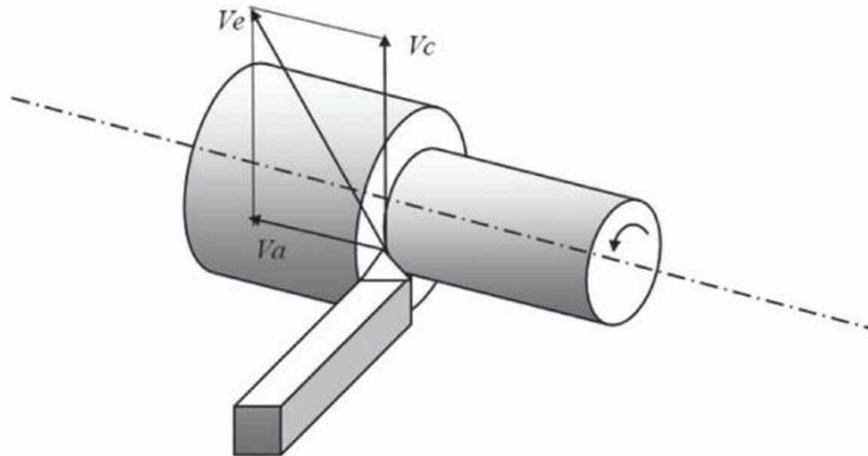
**ANEXO 2**

***Figuras y formulario***

**FIGURAS A2**



**Figura A2.1.** Movimientos relativos entre pieza y herramienta en el proceso de torneado.



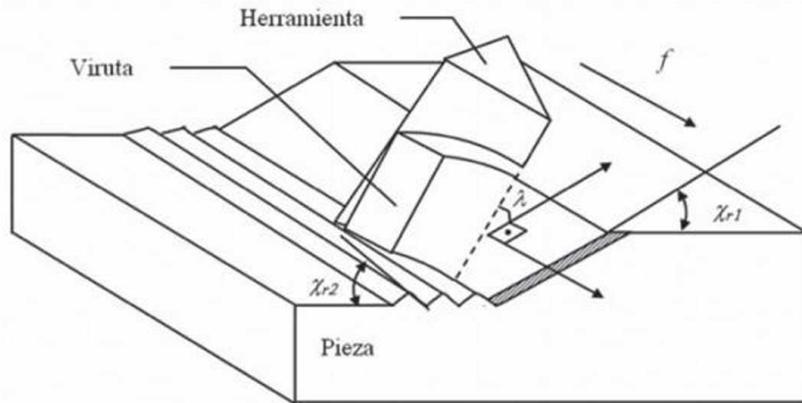
**Figura A2.2.** Velocidades de los movimientos relativos entre pieza y herramienta.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

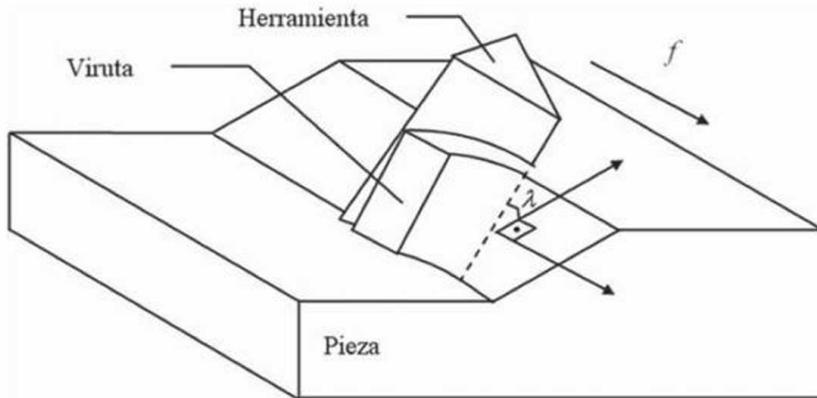
---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

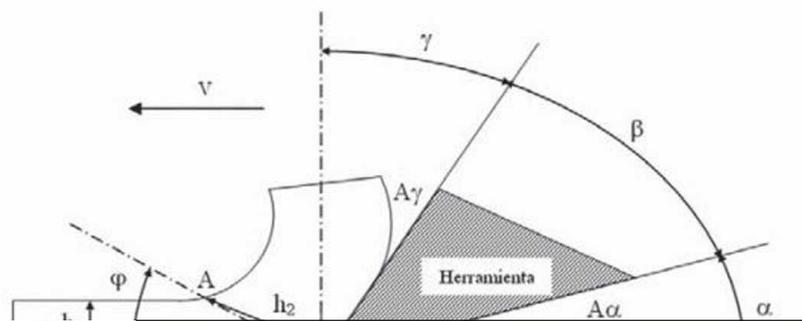
**Cartagena99**



**Figura A2.3.** Posicionamiento relativo pieza-herramienta en el proceso de corte con herramienta monofil.



**Figura A2.4.** Representación simplificada del proceso de corte con herramienta monofil.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

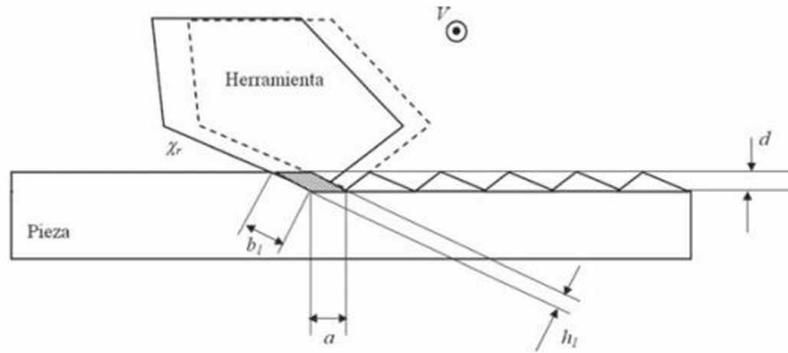


Figura A2.6. Sección normal a la velocidad de corte.

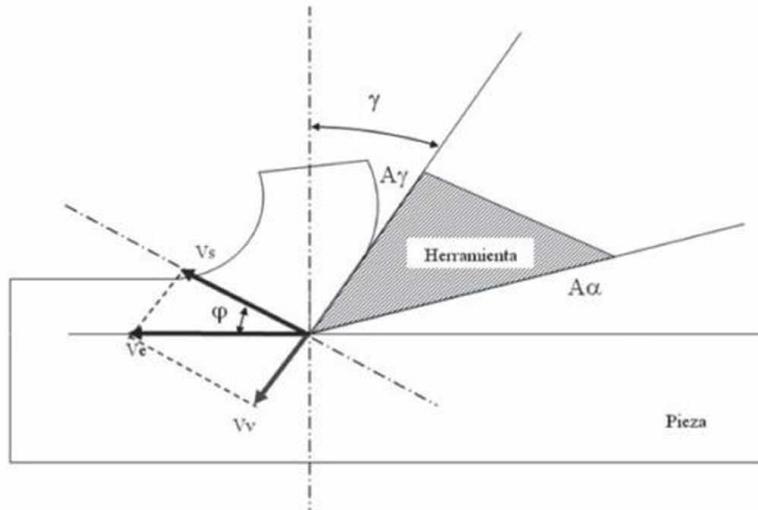
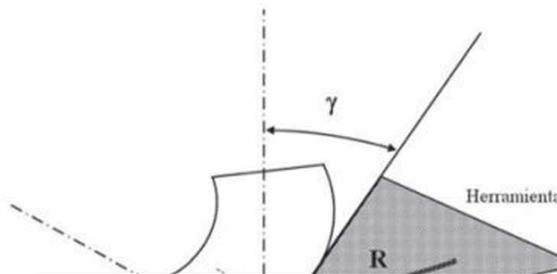


Figura A2.7. Velocidades en las proximidades del filo de la herramienta.

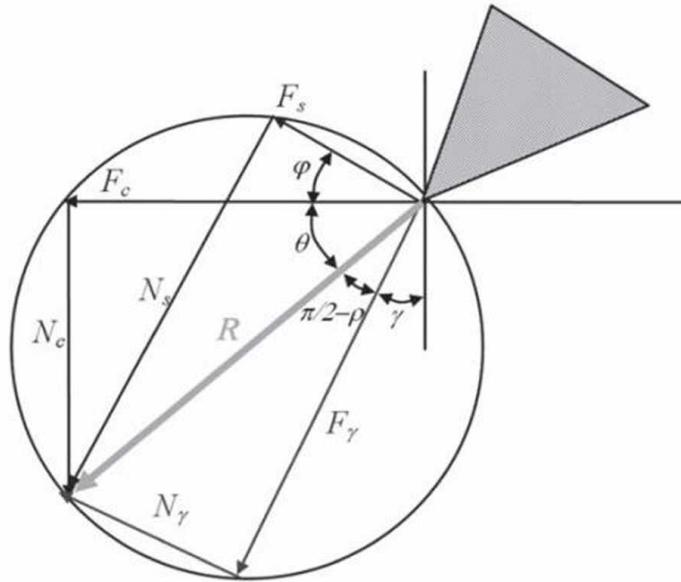


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

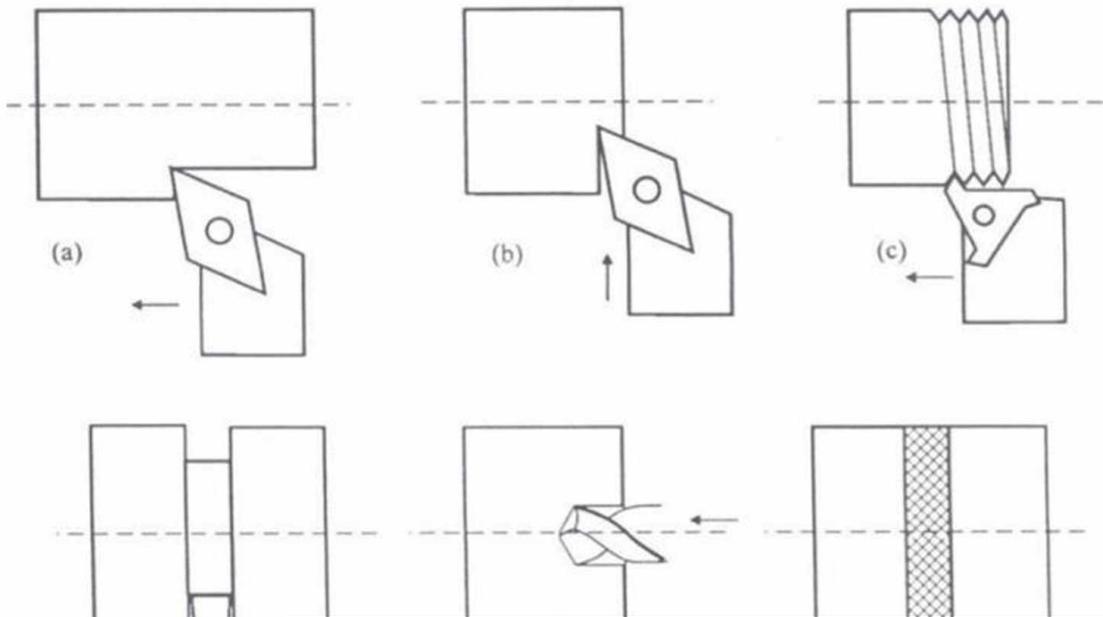
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99



**Figura A2.9.** Descomposición de la fuerza resultante de corte,  $R$ , según las direcciones del corte, del plano de deslizamiento y del plano de desprendimiento.

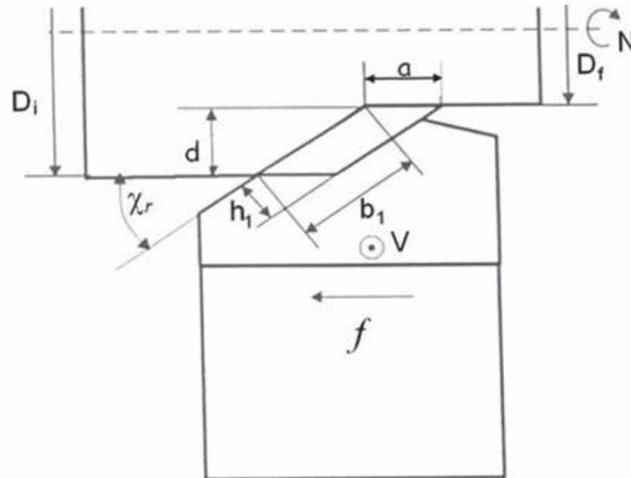


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

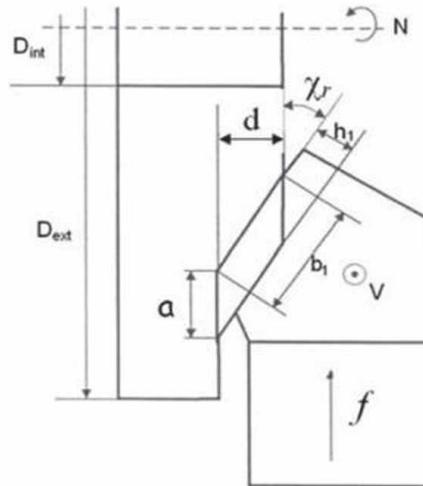
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

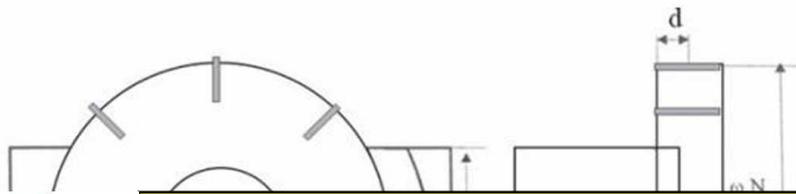
Cartagena99



**Figura A2.11.** Sección normal a la velocidad de corte,  $V$ , en una operación de cilindrado exterior.



**Figura A2.12.** Sección normal a la velocidad de corte,  $V$ , en una operación de refrentado.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

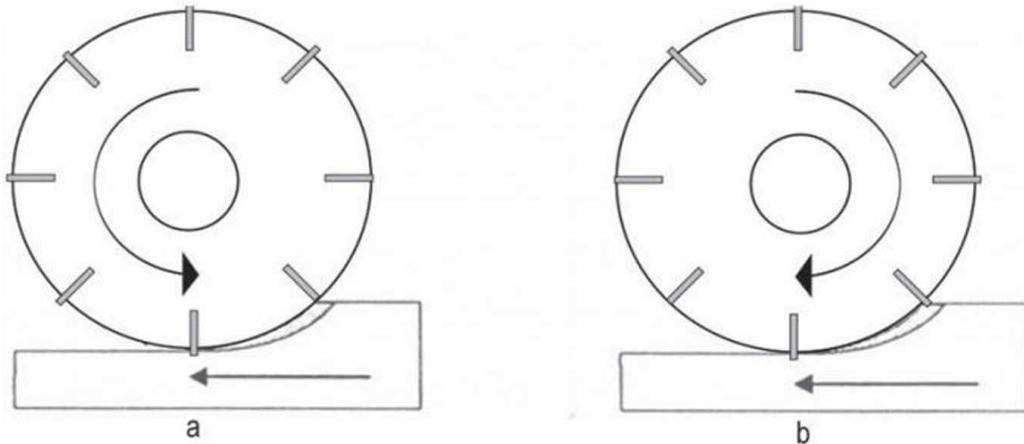


Figura A2.14. Fresado cilíndrico o periférico: a) en oposición; b) en concordancia.

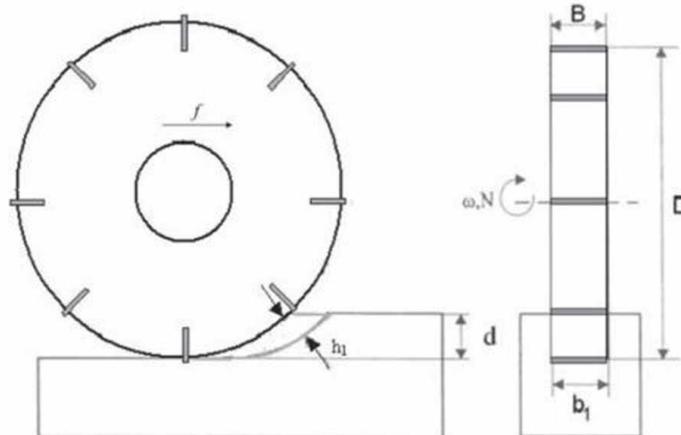
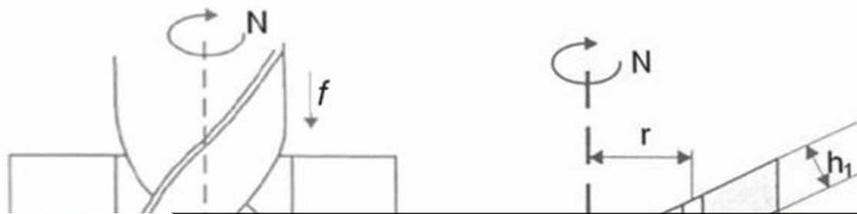


Figura A2.15. Fresado periférico en oposición.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

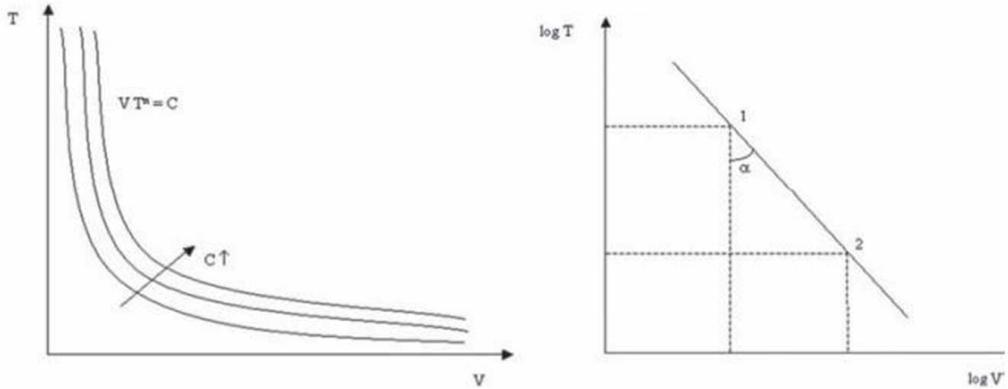


Figura A2.17. Gráficas de la ecuación de Taylor.

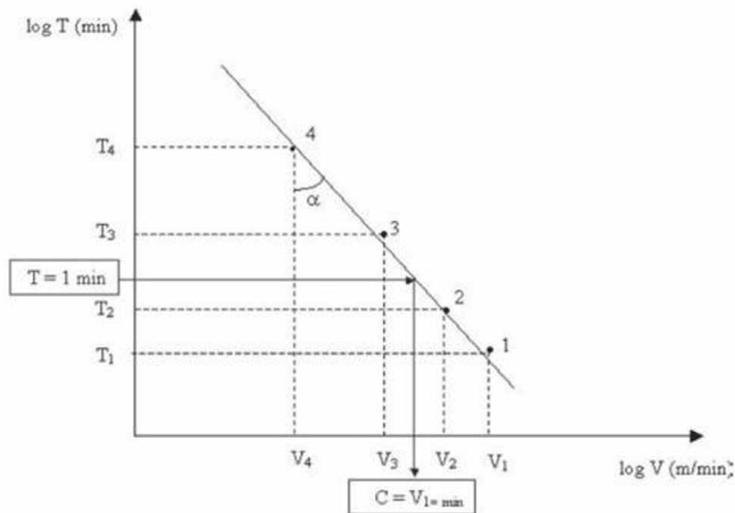
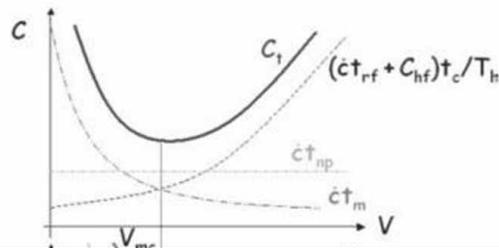


Figura A2.18. Cálculo de  $n$  por medio de gráficos en escala logarítmica.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

## FORMULARIO

RELACIONES GEOMÉTRICAS EN LOS PROCESOS DE CORTE	
$\vec{V}_e = \vec{V}_v + \vec{V}_s$	Velocidad efectiva en el corte ortogonal (Figura A2.7).
$l_1 \cdot h_1 = l_2 \cdot h_2 \Rightarrow \xi = \frac{h_2}{h_1} = \frac{l_1}{l_2}$	Factor de recalado.
$A_1 = d \cdot a = b \cdot h_1$	Área de la sección de la viruta no deformada (Figura A2.6).
$z = A_1 V$	Caudal o volumen de material eliminado por unidad de tiempo.
$tg\varphi = \frac{\cos\gamma}{\xi - \text{sen}\gamma}$	Relación del ángulo de deslizamiento, el factor de recalado y el ángulo de desprendimiento.
$\tau_s = \frac{F_s}{b \cdot h_1} \cdot \text{sen}\varphi$	Tensión dinámica de deslizamiento.
$tg(\rho - \gamma) = \frac{N_c}{F_c}$	Relación geométrica existente entre los ángulos de desprendimiento y rozamiento con las fuerzas en el proceso de mecanizado (Figura A2.9).
$\rho = \text{arctg}\mu$	Ángulo de rozamiento.

CÁLCULO DE FUERZAS	
$\tau_s = \frac{F_s}{b \cdot h_1} \cdot \text{sen}\varphi$	Tensión dinámica de deslizamiento.
$tg(\rho - \gamma) = \frac{N_c}{F_c}$	Relación geométrica existente entre los ángulos de desprendimiento y rozamiento con las fuerzas en el proceso de mecanizado (Figura A2.9).
$\rho = \text{arctg}\mu$	Ángulo de rozamiento.
$F_s = R \cdot \cos(\varphi + \rho - \gamma)$	Fuerza en el plano de deslizamiento en función de la resultante (Figura A2.9).
$N_s = R \cdot \text{sen}(\varphi + \rho - \gamma)$	Fuerza normal en el plano de deslizamiento en función de la resultante (Figura A2.9).
$F_c = R \cdot \cos(\rho - \gamma)$	Fuerza de corte en función de la resultante (Figura A2.9).
	Fuerza normal al corte en función de la resultante (Figura A2.9).

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

CÁLCULO DE LA POTENCIA DE CORTE	
$\dot{W} = F_c \cdot V$	Potencia del proceso en función de la fuerza de corte y la velocidad de corte.
$\frac{F_c}{F_s} = \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\cos(\varphi + \rho - \gamma)}$	Fuerza de corte en función de la de deslizamiento (Figura A2.9).
$\tau_s = \frac{F_s}{A_s}$	Tensión dinámica de deslizamiento.
$A_s = A_1 \cdot \frac{1}{\text{sen}\varphi}$	Proyección del área de la sección de viruta no deformada en el plano de deslizamiento (Figura A2.6).
$A_1 = d \cdot a = b \cdot h_1$	Área de la sección de viruta no deformada (Figura A2.6).
$F_c = \tau_s A_1 \frac{1}{\text{sen}\varphi} \cdot \frac{\cos(\rho - \gamma_{ne})}{\cos(\varphi + \rho - \gamma_{ne})}$	Fuerza de corte en función de la tensión dinámica de deslizamiento.
$\dot{W} = \dot{z} \cdot \tau_s \cdot \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\text{sen}\varphi \cdot \cos(\varphi + \rho - \gamma)}$	Potencia en función de la tensión dinámica de deslizamiento.
$p_c = \tau_s \frac{1}{\text{sen}\varphi} \cdot \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\cos(\varphi + \rho - \gamma)}$	Presión de corte.
$\dot{W} = p_c \cdot \dot{z}$	Potencia del proceso en función del caudal.
$F_c = p_s (A_1)^{1-f}$	Fuerza de corte, expresión experimental, en función de la presión específica de corte.

PROCESOS DE TORNEADO	
$A_1 = b \cdot h_1 = a \cdot d$	Área de la sección de la viruta no deformada (Figura A2.11).
$\dot{z} = \pi \cdot D_m \cdot d \cdot a \cdot N$	Caudal o volumen de material eliminado por unidad de tiempo.
$D_m = \frac{D_i + D_f}{2}$	Diámetro medio.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

PROCESOS DE TORNEADO (CONT)	
$\dot{W} = w \cdot \dot{z}$	Potencia del proceso en función del caudal.
$\dot{W} = F_c \cdot V$	Potencia del proceso en función de la fuerza de corte y la velocidad de corte.
$\dot{W} = T \cdot \omega$	Potencia del proceso en función del par torsor.
$\omega = 2 \cdot \pi \cdot N$	Velocidad de rotación.
$\dot{W}_u = \eta \cdot \dot{W}_m$	Potencia útil en función de la potencia del motor.
$t = \frac{l}{f}$	Tiempo empleado en el proceso de torneado.
$t_m = \frac{l_m}{f} = \frac{l_e + l + a \cdot \cotg \chi_r + l_s}{a \cdot N}$	Tiempo de mecanizado en procesos de cilindrado.
$t_m = \frac{l_m}{f} = \frac{l_e + \left( \frac{D_i - D_f}{2} \right) + a \cdot \cotg \chi_r + l_s}{a \cdot N}$	Tiempo de mecanizado en procesos de refrentado.
$F_c = \frac{\dot{W}}{V}$	Fuerza de corte empleada en el proceso.

PROCESOS DE FRESADO	
$a_z = \frac{a}{n_z}$	Avance por filo (Figura A2.13).
$h_{1 \text{ máx.}} \cong a_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{p}{D}}$	Aproximación del espesor máximo de viruta no deformada.
$A_1 = b \cdot h_1$	Área de la sección de la viruta no deformada en procesos de fresado periférico (no constante).
$A_1 = d \cdot h_1$	Área de la sección de la viruta no deformada en procesos de fresado frontal.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

PROCESOS DE FRESADO (CONT)	
$\dot{W} = T \cdot \omega$	Potencia del proceso en función del par torsor.
$T = F_c \cdot \frac{D}{2}$	Par torsor en función de la fuerza de corte.
$t_m = \frac{l_m}{f} = \frac{l_e + l + \sqrt{d \cdot (D - d)} + l_s}{a \cdot N}$	Tiempo de mecanizado en procesos de fresado periférico.
$t_m = \frac{l_m}{f} = \frac{l_e + \frac{D}{2} + l + \frac{D}{2} + l_s}{a \cdot N}$	Tiempo de mecanizado en procesos de fresado frontal.
$\dot{W}_u = \eta \cdot \dot{W}_m$	Potencia útil en función de la potencia del motor.

PROCESOS DE TALADRADO	
$A_1 = b \cdot h_1 \cdot n_z = a_z \cdot \frac{D}{2} \cdot n_z = a \cdot \frac{D}{2}$	Área de la sección de la viruta no deformada (Figura A2.16).
$\dot{z} = \left[ \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot a \cdot N$	Caudal o volumen de material eliminado por unidad de tiempo.
$\dot{W} = w \cdot \dot{z}$	Potencia del proceso en función del caudal.
$T = \frac{\dot{W}}{\omega}$	Par torsor.
$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1.000}$	Velocidad de corte.
$f = a_z \cdot n_z \cdot N$	Velocidad de avance.
$t_m = \frac{l_m}{f} = \frac{l_e + l + \frac{D}{2} \cot \gamma_r + l_s}{a \cdot N}$	Tiempo de mecanizado.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

PROCESOS DE RECTIFICADO (CONT.)	
$l = \sqrt{D \cdot d}$	Longitud de la viruta no deformada.
$h = \sqrt{\left(\frac{4 \cdot f}{V \cdot C \cdot r}\right) \cdot \frac{d}{D}}$	Espesor de la viruta.

PROCESOS CON MOVIMIENTO PRINCIPAL RECTILÍNEO	
$t_{dc} = \frac{l_c}{V} + \frac{l_c}{V_r} + 2 \cdot t_i$	Tiempo empleado en una doble carrera.
$N_{dc} = \frac{b}{a}$	Número de dobles carreras para realizar en el proceso.
$t_m = N_{dc} \cdot t_{dc}$	Tiempo total de mecanizado.
$\dot{W} = p_c \cdot \dot{z}$	Potencia del proceso en función de la presión del corte y caudal.

OTROS PROCESOS DE MECANIZADO	
$\dot{z} = \frac{We}{\rho \cdot j}$	Caudal o volumen de material eliminado por unidad de tiempo en procesos de mecanizado electroquímico.
$f = \dot{z} \cdot j$	Velocidad de avance de la herramienta en procesos de mecanizado electroquímico.
$\dot{z} = \dot{z}_a + \dot{z}_{el}$	Caudal o volumen de material eliminado por unidad de tiempo en procesos de rectificado electrolítico.

VIDA DE LA HERRAMIENTA	
$V \cdot T^n = K$	Ecuación de Taylor.
$T = \frac{K_1}{V}$	

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

TIEMPOS Y COSTES EN PROCESOS DE MECANIZADO	
$t_t = t_{np} + t_m + t_m \cdot \frac{t_c}{T_h}$	Tiempo total del proceso.
$C_t = \dot{c} \cdot t_t + C_{hf} \cdot \frac{t_c}{T_h}$ $C_t = \dot{c} \cdot (t_{np} + t_m) + (\dot{c} \cdot t_{rf} + c_{hf}) \cdot \frac{t_c}{T_h}$	Coste total por componente (Figura A2.16).
$C_a = C_o \cdot \left(1 - \frac{a-1}{A}\right)$	Valor de la máquina al inicio del año.
$\dot{C} = \dot{C}_f + \dot{C}_v$	Costes totales anuales.
$\dot{C}_f = C_o \cdot \left[\frac{1}{A} + r_s^* + r_i^*\right]$	Costes fijos anuales.
$\dot{C}_s = \dot{s} \cdot (1 + r_{op})$	Costes variables anuales.
$T_{mc} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \cdot \left(t_{rf} + \frac{C_{hf}}{\dot{c}}\right) = \frac{K}{V^{1/n} \cdot a^{1/n}}$	Vida de la herramienta para un mínimo coste.
$T_{mp} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \cdot t_{rf} = \frac{K}{V^{1/n} \cdot a^{1/n}}$	Vida de la herramienta para una máxima producción.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

The logo for Cartagena99 features the text 'Cartagena99' in a stylized, blue, serif font. The text is set against a light blue, irregular shape that resembles a map of the city of Cartagena. Below the text is a horizontal orange bar with a slight gradient.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

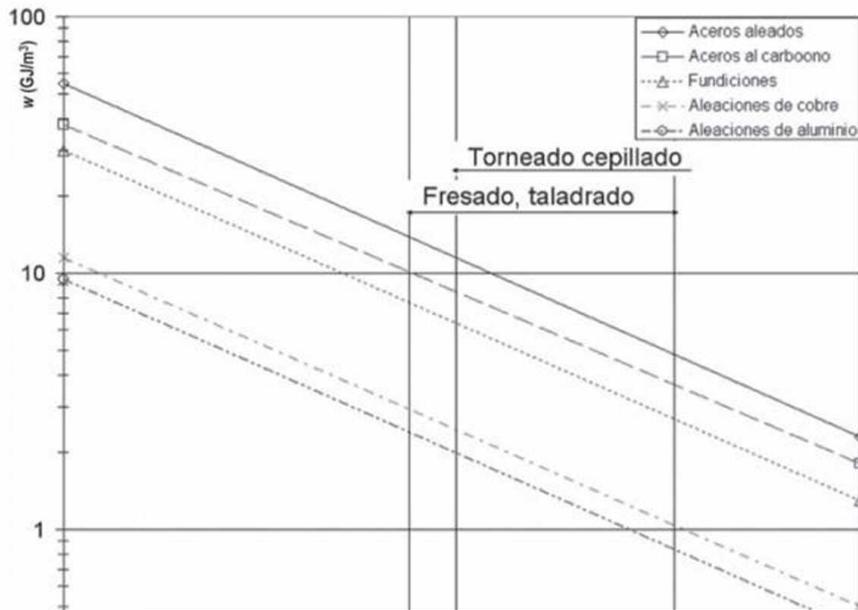
## ANEXO 3

**Tablas de materiales**

## MATERIALES

**Tabla A3.1.** Intervalo aproximado del valor de la energía específica requerida por el motor de la máquina-herramienta en función del tipo de material que hay que mecanizar.

Material	Energía específica (GJ/m <sup>3</sup> )
Aceros	2-9
Aceros inoxidable	2-5
Hierro fundido	1,1-5,4
Aleaciones de aluminio	0,4-1
Aleaciones de cobre	1,4-3,2
Aleaciones de magnesio	0,3-0,6
Aleaciones de titanio	2-5



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

**Tabla A3.2. Propiedades mecánicas de los materiales<sup>2</sup>.**

ISO	AISI	UNS	Condición	Resistencia máxima a la tracción (MPa)	Resistencia máxima a la fluencia (MPa)
	1020	G10200	Laminado Normalizado Recocido	448 441 393	346 330 294
	1080	G10800	Laminado Normalizado Recocido	1010 965 615	586 524 375
	3140	G31400	Normalizado Recocido	891 689	599 422
	4340	G43400	Normalizado Recocido	1279 744	861 472
	8620	G86200	Normalizado Recocido	632 536	385 357
	303	S30300	Recocido	550-620	240-260
	304	S30400	Recocido	5-620	240-290
	316	S31600	Recocido	50-590	210-290
	410	S41000	Recocido	480-520	240-310
	416	S41600	Recocido	480-520	275
1100		A91100	Temple O Temple H14	90 125	35 120
2024		A92024	Temple O Temple T4	190 470	75 325
3003		A93003	Temple O Temple H14	110 150	40 145
5052		A95052	Temple O Temple H34	190 260	90 215
6061		A96061	Temple O Temple T6	125 310	55 275
7075		A97075	Temple O Temple T6	230 570	105 500

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

...

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



VZ31B	M11311	F H24	260 290	200 220
VZ80A	M11800	T5	380	275
	C11000		220-450	70-365
	C46400- C46700		380-610	170-455

d, S. R., Manufactura, ingeniería y tecnología, 5.ª ed. Pearson Educación, México, 2008.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

**Tabla A3.3.** Propiedades generales de los materiales para herramientas<sup>3</sup>

Aceros de alta velocidad	Aleaciones de cobalto fundido	Carburos		Cerámicos	Nitruro de boro cúbico	Diamante monocristalino
		WC	TiC			
83-86 HRA	82-84 HRA	90-95 HRA	91-93 HRA	91-95 HRA	4.000-5.000 HK	7.000-8.000 HK
4.100-4.500	1.500-2.300	4.100-5.850	3.100-3.850	2.750-4.500	6.900	6.900
2.400-4.800	1.380-2.050	1.050-2.600	1.380-1.900	345-950	700	1.350
1,35-8	0,34-1,25	0,34-1,35	0,79-1,24	<0,1	<0,5	<0,2
200	—	520-690	310-450	310-410	850	820-1.050
8.600	8.000-8.700	10.000-15.000	5.500-5.800	400-4.500	3.500	3.500
7-15	10-20	70-90	—	100	95	95
1.300	—	1.400	1.400	2.000	1.300	700
30-50	—	42-125	17	29	13	500-2.000
12	—	4-6,5	7,5-9	6-8,5	4,8	1,5-4,8

id, S. R., Manufactura, ingeniería y tecnología, 5.ª ed., Pearson Educación, México, 2008.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**



Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

- - -

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



Comprende ejercicios y problemas resueltos de mecanizado en los que se abordan aspectos tales como el estudio de la geometría y la cinemática de este tipo de procesos, el cálculo de la fuerza, la potencia y las condiciones de corte y el análisis de otros aspectos tales como la vida de la herramienta, la economía del mecanizado y la planificación de procesos.

Además incluye una serie de anexos con materiales complementarios que facilitan la comprensión de los fundamentos teóricos y la interpretación de parámetros y variables a emplear en la resolución de los distintos ejercicios y problemas.

El libro, de nivel universitario y diseñado dentro del ámbito metodológico del nuevo Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), se adapta plenamente a la enseñanza universitaria de las nuevas titulaciones de Grado y Máster en Ingeniería, permite completar la formación práctica dada en los manuales clásicos de Ingeniería y Tecnología de Fabricación, así como favorecer el aprendizaje autónomo al contar con explicaciones de las soluciones propuestas a los ejercicios y problemas planteados.

Otro libro de interés

**Manufactura, ingeniería y tecnología**

Serope Kalpakjian  
Steven R. Schmid  
PEARSON PRENTICE HALL  
ISBN 978-97-0261-026-7



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

