

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE LA HOJA DE PROCESOS DE MECANIZADO DE UN EJE REDUCTOR DE VELOCIDAD

***ANEXO I – OPERACIONES DE MECANIZADO: PARÁMETROS DE
CORTE Y CÁLCULOS***

Alumno: Martinez de Antoñana Garaialde, Andoni

Directora: Celaya Egüen, Ainhoa

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 17 de Julio, 2019>

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. La forma de la pieza después del refrentado atada 1.....	3
Ilustración 2. La forma de la pieza después del desbaste cilindrado 1 atada 1.....	5
Ilustración 3. La forma de la pieza después del desbaste cilindrado 2 atada 1.....	7
Ilustración 4. La forma de la pieza después del desbaste cilindrado 3 atada 1.....	8
Ilustración 5. Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 1 atada 1.....	10
Ilustración 6. Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 2 atada 1.....	12
Ilustración 7. Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 3 atada 1.....	14
Ilustración 8. La forma de la pieza después del chavetero atada 1.....	16
Ilustración 9. La forma de la pieza después de realizar el chaflán atada 1.....	17
Ilustración 10. La forma de la pieza después del refrentado atada 2.....	21
Ilustración 11. La forma de la pieza después del cilindrado 1 atada 2.....	22
Ilustración 12. La forma de la pieza después del cilindrado 2 atada 2.....	24
Ilustración 13. Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 1 atada 2.....	26
Ilustración 14. Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 2 atada 2.....	27
Ilustración 15. La forma de la pieza después del chavetero atada 2.....	29
Ilustración 16. La forma de la pieza después del chaflán atada 2.....	30

Índice de tablas

Tabla 1. Las potencias y velocidades de giro máximas para el cabezal y torreta	1
Tabla 2. Parámetros de corte refrentado atada 1.....	2
Tabla 3. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SNMG 120416 PM 4325.....	2
Tabla 4. Recomendación en cuanto a la velocidad de corte para el material SAE 4140.....	2
Tabla 5. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita CNMG 120408 PR 4325.....	4
Tabla 6. Parámetros de corte desbaste cilindrado 1 atada 1.....	4
Tabla 7. Parámetros de corte desbaste cilindrado 2 atada 1.....	6
Tabla 8. Parámetros de corte desbaste cilindrado 3 atada 1.....	7
Tabla 9. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita CNMG 090308 PM 4325.....	8
Tabla 10. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita CNMG 120408 XF 4325.....	9
Tabla 11. Parámetros de corte acabado cilindrado 1 atada 1.....	9
Tabla 12. Parámetros de corte acabado cilindrado 2 atada 1.....	11
Tabla 13. Parámetros de corte acabado cilindrado 3 atada 1.....	13
Tabla 14. Parámetros de corte del chavetero en la atada 1.....	14
Tabla 15. Recomendaciones de avance velocidad de corte y profundidad de pasada en la fresa	15
Tabla 16. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SCMT 120408.....	16
Tabla 17. Parámetros de corte refrentado atada 2.....	18
Tabla 18. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SNMG 150624 PR 4325.....	18
Tabla 19. Parámetros de corte desbaste cilindrado 1 atada 2.....	21
Tabla 20. Parámetros de corte desbaste cilindrado 2 atada 2.....	23
Tabla 21. Parámetros de corte acabado cilindrado 1 atada 2.....	24
Tabla 22. Parámetros de corte acabado cilindrado 2 atada 2.....	26
Tabla 23. Parámetros de corte del chavetero en la atada 2.....	28

ANEXO I - OPERACIONES DE MECANIZADO: PARÁMETROS DE CORTE Y CÁLCULOS

En este anexo se ampliará la información que se ha dado en el documento principal. Aquí se explicarán paso a paso todos los procesos que la pieza necesite. Para ello se proporcionarán los parámetros de corte conseguidos tanto por la página como por los cálculos para todas las operaciones. También se mostrará cómo se queda la pieza después de cada operación.

Potencia máxima y velocidad de giro máxima en el cabezal y torreta:

Cabezal	Torreta
P max=16,5 kW	P max=5,5 kW
N max=5000 rpm	N max=5500 rpm

Tabla 1 Las potencias y velocidades de giro máximas para el cabezal y torreta

Se considerará que la distancia de aproximación es de 5 mm, es decir, $\Delta = 5 \text{ mm}$.

$$\rho_s = 2050 \text{ N/mm}^2$$

Amarre de la pieza

El primer paso antes de mecanizar la pieza es amarrar la pieza. Nuestra pieza será amarrada dos veces, una por cada lado. En la atada 1 la pieza será amarrada por la izquierda y por lo tanto nuestra pieza se mecanizará por la parte derecha. En la atada 2 en cambio, la pieza se amarrará por el lado contrario para que reciba las operaciones necesarias en la parte izquierda. La longitud del tocho de partida es 15 mm mayor que la longitud final. Esta diferencia ha sido diseñada para que en la atada 1 la pieza sea amarrada por la parte donde luego se eliminará, para que el amarre de la pieza no perjudique la calidad del material.

Operaciones en la atada 1

Mediante la laminación conseguimos una barra uniforme de 35 mm de diámetro y 285 mm de longitud. A partir de aquí, empezaremos a definir los procesos que recibirá la pieza.

Refrentado

En el primer paso se someterá al proceso de refrentado. El diámetro de la pieza es de 35 mm y la profundidad de la pasada será de 1,5 mm. El acabado superficial de esta cara será de N7 o $Ra=1,6 \mu\text{m}$.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik.

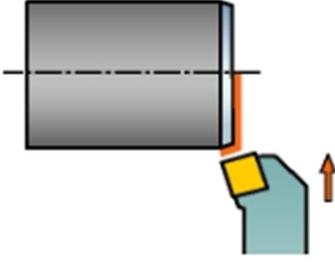
Herramienta	Parámetros de corte	
 Portaplaquita: DSKNR 2525M12 Plaquita: SNMG 120416 PM 4325	D	35 mm
	Kr	95°
	a_p	1,5 mm
	V_c	180 m/min
	f	0,292 mm/rev
	N	5000 rpm
	P	3,72 kW
	T	21,6 Nm
	t_{meca}	1,3 s

Tabla 2 Parámetros de corte refrentado atada 1

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

Para la operación de refrentado de la atada 1 la plaquita que se utiliza es el SNMG 120416 PM 4325 y tiene las siguientes recomendaciones de f y a_p :

Plaquita	Profundidad de pasada (a_p)			Avance (f)		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
SNMG 120416 PM 4325	1 mm	6 mm	3 mm	0,24 mm/rev	0,67 mm/rev	0,41 mm/rev

Tabla 3 Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SNMG 120416 PM 4325

El material de la pieza es el SAE 4140 por lo que la recomendación sobre la velocidad de corte será la siguiente:

Material	Fuerza de corte específica (N/mm ²)	Dureza (HB)	GC 4325 Avance f (mm/rev) 0,1-0,4-0,8 Vc (m/min)
SAE 4140	2050	350	240-170-125

Tabla 4 Recomendación en cuanto a la velocidad de corte para el material SAE 4140

$$D = 35 \text{ mm} \quad a_p = 1,5 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm} \quad Ra = 1,6 \mu\text{m} \quad r\epsilon = 1,6 \text{ mm}$$

1. Elección de a_p y f:

$$a_p = 1,5 \text{ mm} \quad f = 0,3 \text{ mm/rev}$$

2. Restricción del acabado superficial:

$$f_{max} = \sqrt{32 \times r\epsilon \times Ra} = \sqrt{32 \times 1,6 \times 1,6 \times 10^{-3}} = 0,286 \text{ mm/rev}$$

$$f = 0,41 > 0,286 = f_{max}$$

$$f = f_{max} = 0,286 \text{ mm/rev}$$

3. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,286} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,286} \Rightarrow V_c = 182,8 \text{ m/min}$$

4. Comprobación de potencia máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,286 \times 1,5 \times 182,8}{60} = 2,68 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW}$$

$$= P_{max}$$

$$D_o = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times N_{max}} = \frac{1000 \times 182,8}{\pi \times 5000} = 11,64 \text{ mm}$$

5. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$t_{mec1} = - \int_{D/2+\Delta}^{D_o/2} \frac{dR}{f \times N} = - \int_{35/2+5}^{11,64/2} \frac{2R \times \pi}{0,286 \times 1000 \times 182,8} \times dR = 0,0284 \text{ min}$$

$$t_{mec2} = \frac{D_o/2}{f \times N_{max}} = \frac{11,64/2}{0,286 \times 5000} = 0,0046 \text{ min}$$

$$t_{mec} = t_{mec1} + t_{mec2} = 0,0284 + 0,0046 = 0,0325 \text{ min} = 1,94 \text{ s}$$

La pieza quedará así después del refrentado:

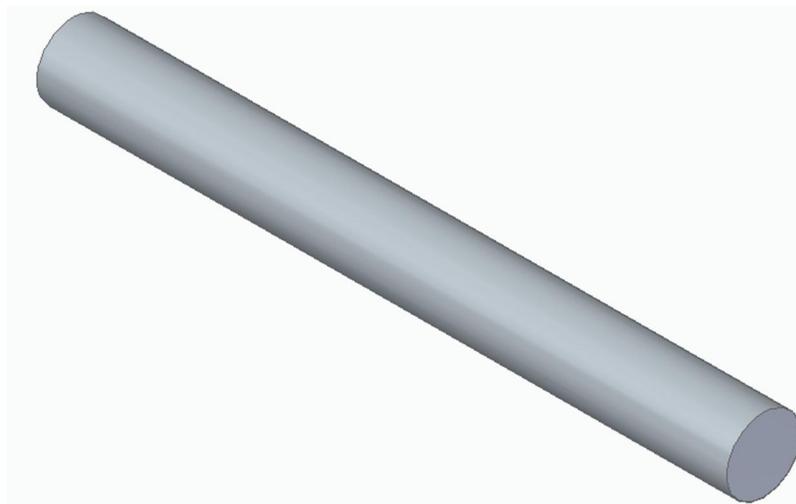


Ilustración 1 La forma de la pieza después del refrentado atada 1

Operaciones de desbaste

Para las operaciones de desbaste de la atada 1 la plaquita que se utiliza es el CNMG 120408 PR 4325 y tiene las siguientes recomendaciones de f y a_p :

Plaquita	Profundidad de pasada (a_p)			Avance (f)		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
CNMG 120408 PR 4325	0,7 mm	7 mm	4 mm	0,2 mm/rev	0,5 mm/rev	0,35 mm/rev

Tabla 5 Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita CNMG 120408 PR 4325

El material de la pieza es el SAE 4140 por lo que la recomendación sobre la velocidad de corte será la que aparece en Tabla 4.

Cilindrado 1:

En el primer paso se consigue reducir el diámetro de 35 mm a 30 mm en una longitud de 270 mm.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

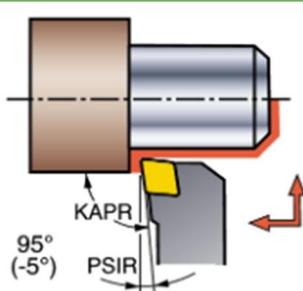
Herramienta	Parámetros de corte	
 Portaplaquita: DCLNR 2525M12 Plaquita: CNMG 120408-PR 4325	$D_{inicial}$	35 mm
	D_{final}	30 mm
	L	270 mm
	K_r	95°
	a_p	2,5 mm
	V_c	169 m/min
	f	0,35 mm/rev
	N	1790 rpm
	P	5,78 kW
	T	30,8 Nm
t_{meca}	26,4 s	

Tabla 6 Parámetros de corte desbaste cilindrado 1 atada 1

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{inicial} = 35 \text{ mm} \quad D_{final} = 30 \text{ mm} \quad L = 270 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm}$$

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{35 - 30}{2} = 2,5 \text{ mm} \quad f = 0,35 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,35} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,35} \Rightarrow V_c = 175 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 175}{\pi \times 35} = 1590 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,35 \times 2,5 \times 175}{60} = 5,25 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,35 \times 1590 = 556 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{270 + 5}{556} = 0,49 \text{ min} = 29,6 \text{ s}$$

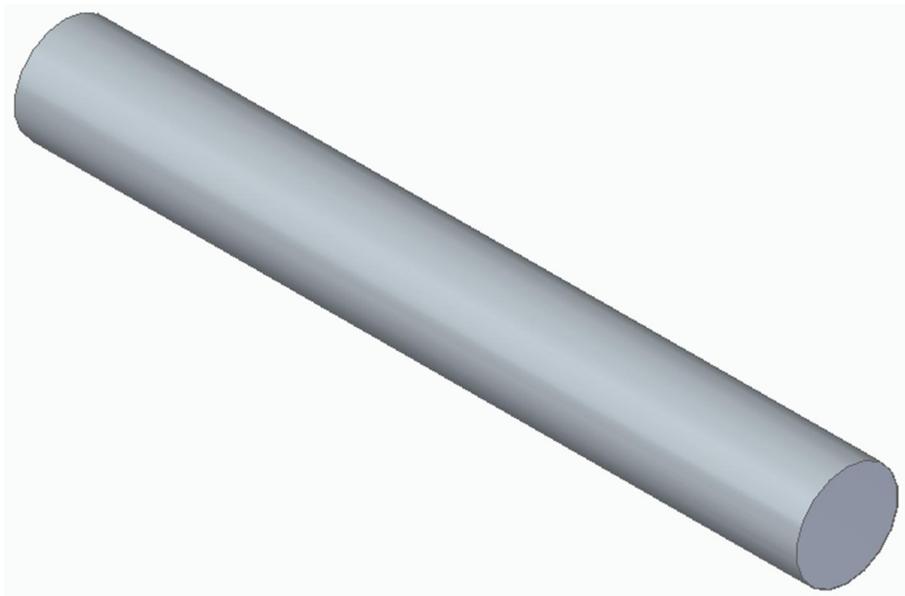


Ilustración 2 La forma de la pieza después del desbaste cilindrado 1 atada 1

Cilindrado 2:

En esta operación reduciremos el diámetro de 30 mm a 26 mm en una longitud de 101 mm en la parte derecha de la pieza.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

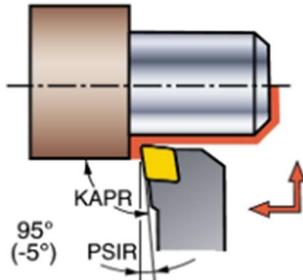
Herramienta	Parámetros de corte	
 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> Portaplaquita: DCLNR 2525M12 Plaquita: CNMG 120408 PR 4325 </div>	$D_{inicial}$	30 mm
	D_{final}	26 mm
	L	101 mm
	K_r	95°
	a_p	2 mm
	V_c	169 m/min
	f	0,35 mm/rev
	N	2070 rpm
	P	4,69 kW
	T	21,7 Nm
	t_{meca}	8,58 s

Tabla 7 Parámetros de corte desbaste cilindrado 2 atada 1

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{inicial} = 30 \text{ mm} \quad D_{final} = 26 \text{ mm} \quad L = 101 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm}$$

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{30 - 26}{2} = 2 \text{ mm} \quad f = 0,35 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,35} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,35} \Rightarrow V_c = 175 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 175}{\pi \times 30} = 1856 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,35 \times 2 \times 175}{60} = 4,19 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,35 \times 1856 = 650 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{101 + 5}{650} = 0,16 \text{ min} = 9,78 \text{ s}$$

Después del cilindrado 2, la pieza tendrá esta forma:

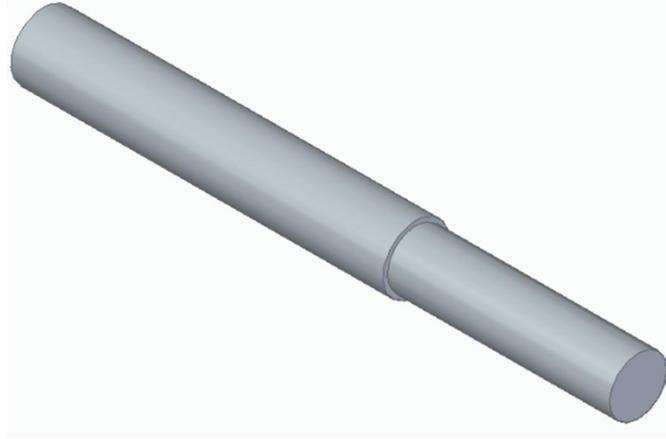


Ilustración 3 La forma de la pieza después del desbaste cilindrado 2 atada 1

Cilindrado 3:

En esta operación reduciremos el diámetro de 26 mm a 22 mm en una longitud de 50 mm también en la parte derecha de la pieza.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

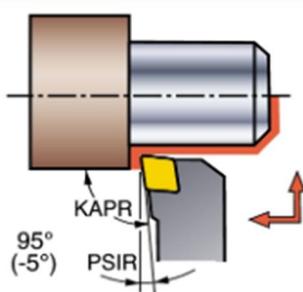
Herramienta	Parámetros de corte
 Portaplaquita: DCLNR 2525M12 Plaquita: CNMG 120408-PR 4325	$D_{inicial}$ 26 mm
	D_{final} 22 mm
	L 50 mm
	K_r 95°
	a_p 2 mm
	V_c 169 m/min
	f 0,35 mm/rev
	N 2440 rpm
	P 4,69 kW
	T 18,3 Nm
	t_{meca} 3,66 s

Tabla 8 Parámetros de corte desbaste cilindrado 3 atada 1

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{inicial} = 26 \text{ mm} \quad D_{final} = 22 \text{ mm} \quad L = 50 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm}$$

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{26 - 22}{2} = 2 \text{ mm} \quad f = 0,35 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,35} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,35} \Rightarrow V_c = 175 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,35 \times 2 \times 175}{60} = 4,19 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 175}{\pi \times 26} = 2142 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,35 \times 2142 = 750 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{50 + 5}{750} = 0,073 \text{ min} = 4,4 \text{ s}$$

La pieza quedará así después del cilindrado 3:

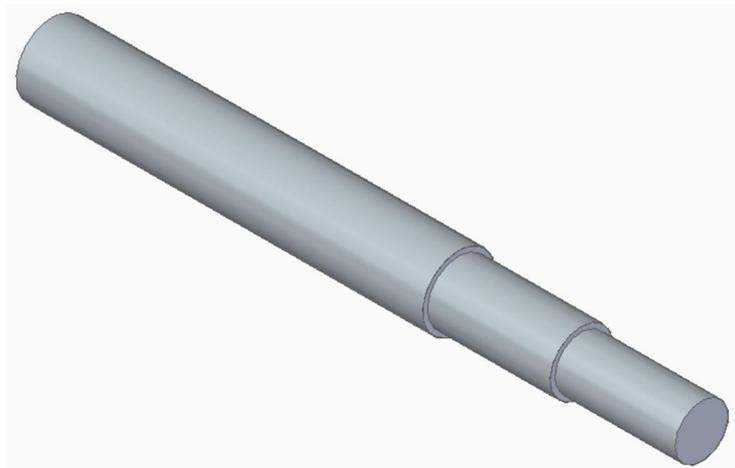


Ilustración 4 La forma de la pieza después del desbaste cilindrado 3 atada 1

Operaciones de acabado

Para las operaciones de acabado de la atada 1 las plaquitas que se utilizan son el CNMG 090308 PM 4325 y CNMG 120408 XF 4325 y tienen las siguientes recomendaciones de f y a_p :

Plaquita	Profundidad de pasada (a_p)			Avance (f)		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
CNMG 090308 PM 4325	0,5 mm	4 mm	2 mm	0,15 mm/rev	0,5 mm/rev	0,3 mm/rev

Tabla 9 Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita CNMG 090308 PM 4325

Plaquita	Profundidad de pasada (a_p)			Avance (f)		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
CNMG 120408-XF 4325	0,2 mm	4 mm	1 mm	0,05 mm/rev	0,25 mm/rev	0,2 mm/rev

Tabla 10 Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita CNMG 120408 XF 4325

Como el material de la pieza es el SAE 4140 la recomendación para la velocidad de corte se puede ver en Tabla 4.

Cilindrado 1:

En este proceso reduciremos el diámetro de 30 mm a 29 mm en una longitud de 68 mm en la zona central de la pieza como se puede ver en Ilustración 5. El acabado superficial en esta zona de la pieza es N7 o $Ra=1,6 \mu\text{m}$.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

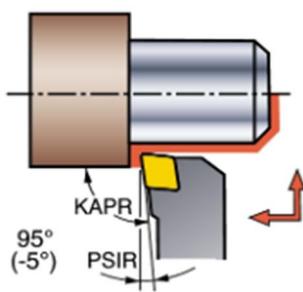
Herramienta	Parámetros de corte	
 Portaplaquita: DCLNR 2525M09 Plaquita: CNMG 090308-PM 4325	D_{inicial}	30 mm
	D_{final}	29 mm
	L	68 mm
	K_r	95°
	a_p	0,5 mm
	V_c	200 m/min
	f	0,206 mm/rev
	N	2200 rpm
	P	1,18 kW
	T	5,13 Nm
	t_{meca}	9,18 s

Tabla 11 Parámetros de corte acabado cilindrado 1 atada 1

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{\text{inicial}} = 30 \text{ mm} \quad D_{\text{final}} = 29 \text{ mm} \quad L = 68 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm} \quad Ra = 1,6 \mu\text{m}$$

1. Elección de a_p y f:

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{30 - 29}{2} = 0,5 \text{ mm} \quad f = 0,3 \text{ mm/rev}$$

2. Restricción del acabado superficial:

$$f_{\text{max}} = \sqrt{32 \times r\epsilon \times Ra} = \sqrt{32 \times 0,8 \times 1,6 \times 10^{-3}} = 0,202 \text{ mm/rev}$$

$$f = 0,3 > 0,202 = f_{max}$$

$$f = f_{max} = 0,202 \text{ mm/rev}$$

3. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{V_c - 240}{0,202 - 0,1} = \frac{170 - 240}{0,4 - 0,1} \Rightarrow V_c = 216,2 \text{ m/min}$$

4. Comprobación de velocidad de giro máxima y potencia máxima:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 216,2}{\pi \times 30} = 2290 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,202 \times 0,5 \times 216,2}{60} = 0,75 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW}$$

$$= P_{max}$$

5. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,202 \times 2290 = 463,38 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{68 + 5}{463,38} = 0,16 \text{ min} = 9,45 \text{ s}$$

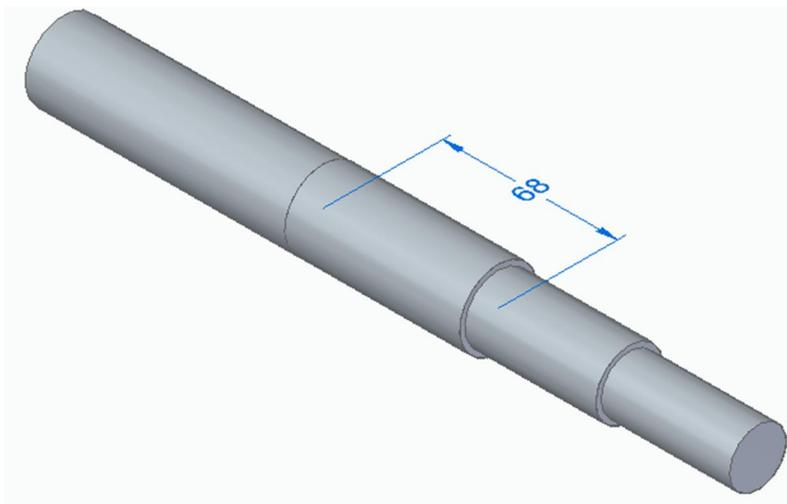


Ilustración 5 Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 1 atada 1

Cilindrado 2:

Mediante este proceso se reduce el diámetro de 26 mm a 25 mm en una longitud de 51 mm en la zona derecha de la pieza como se puede ver en Ilustración 6. El acabado superficial de esta zona será N7 o su equivalencia que se mide por la rugosidad $Ra=1,6 \mu\text{m}$.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

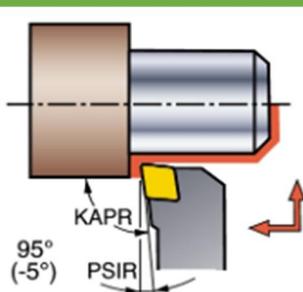
Herramienta	Parámetros de corte	
 <p>Portaplaquita: DCLNR 2525M09 Plaquita: CNMG 090308-PM 4325</p>	D_{inicial}	26 mm
	D_{final}	25 mm
	L	51 mm
	K_r	95°
	a_p	0,5 mm
	V_c	200 m/min
	f	0,206 mm/rev
	N	2550 rpm
	P	1,18 kW
	T	4,42 Nm
	t_{meca}	5,97 s

Tabla 12 Parámetros de corte acabado cilindrado 2 atada 1

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$D_{\text{inicial}} = 26 \text{ mm}$ $D_{\text{final}} = 25 \text{ mm}$ $L = 51 \text{ mm}$ $\Delta = 5 \text{ mm}$ $Ra = 1,6 \mu\text{m}$

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{26 - 25}{2} = 0,5 \text{ mm} \quad f = 0,3 \text{ mm/rev}$$

2. Restricción del acabado superficial:

$$f_{\text{max}} = \sqrt{32 \times r\varepsilon \times Ra} = \sqrt{32 \times 0,8 \times 1,6 \times 10^{-3}} = 0,202 \text{ mm/rev}$$

$$f = 0,3 > 0,202 = f_{\text{max}}$$

$$f = f_{\text{max}} = 0,202 \text{ mm/rev}$$

3. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{Vc - 240}{0,206 - 0,1} = \frac{170 - 240}{0,4 - 0,1} \Rightarrow Vc = 215 \text{ m/min}$$

4. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 215}{\pi \times 26} = 2632 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$Pc = \frac{\rho s \times f \times ap \times Vc}{60} = \frac{2050 \times 0,202 \times 0,5 \times 215}{60} = 0,76 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW}$$

$= P_{max}$

5. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$Vf = f \times N = 0,202 \times 2632 = 531,7 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{Vf} = \frac{51 + 5}{531,7} = 0,11 \text{ min} = 6,32 \text{ s}$$

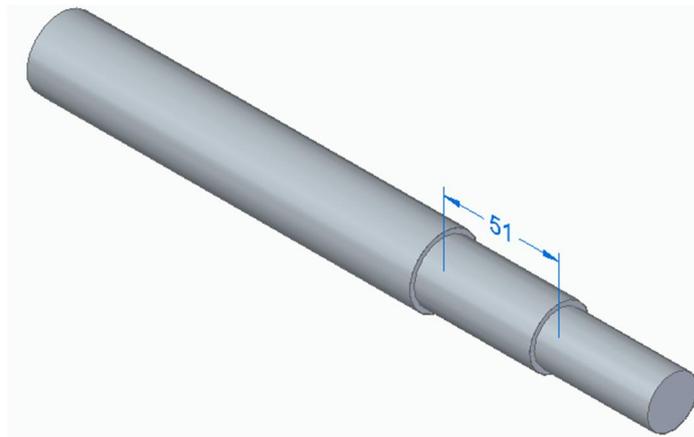


Ilustración 6 Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 2 atada 1

Cilindrado 3:

Con este proceso se reduce el diámetro de 22 mm a 21 mm en una longitud de 50 mm en la zona derecha de la pieza como se puede ver en Ilustración 7. El acabado superficial de esta zona será un poco mejor que las anteriores, es decir, será N6 o su equivalencia que se mide mediante la rugosidad es $Ra=0,8 \mu\text{m}$.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

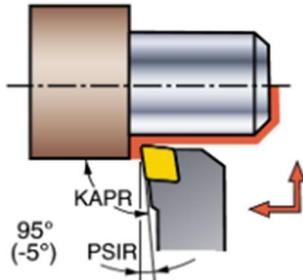
Herramienta	Parámetros de corte	
 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> Portaplaquita: DCLNR 2525M12 Plaquita: CNMG 120408-XF 4325 </div>	$D_{inicial}$	22 mm
	D_{final}	21 mm
	L	50 mm
	K_r	95°
	a_p	0,5 mm
	V_c	215 m/min
	f	0,149 mm/rev
	N	3260 rpm
	P	1,04 kW
	T	3,03 Nm
	t_{meca}	6,3 s

Tabla 13 Parámetros de corte acabado cilindrado 3 atada 1

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{inicial} = 22 \text{ mm} \quad D_{final} = 21 \text{ mm} \quad L = 50 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm} \quad Ra = 0,8 \mu\text{m}$$

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{22 - 21}{2} = 0,5 \text{ mm} \quad f = 0,2 \text{ mm/rev}$$

2. Comprobación del acabado superficial:

$$f_{max} = \sqrt{32 \times r\epsilon \times Ra} = \sqrt{32 \times 0,8 \times 0,8 \times 10^{-3}} = 0,143 \text{ mm/rev}$$

$$f = 0,2 > 0,143 = f_{max}$$

$$f = f_{max} = 0,143 \text{ mm/rev}$$

3. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{V_c - 240}{0,143 - 0,1} = \frac{170 - 240}{0,4 - 0,1} \Rightarrow V_c = 230 \text{ m/min}$$

4. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 230}{\pi \times 22} = 3330 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,143 \times 0,5 \times 230}{60} = 0,58 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} \\ = P_{max}$$

5. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,143 \times 3330 = 475,87 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{50 + 5}{475,87} = 0,116 \text{ min} = 6,93 \text{ s}$$

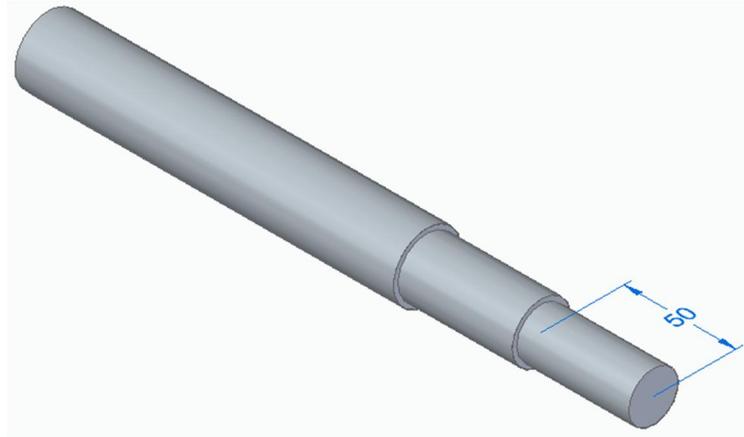


Ilustración 7 Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 3 atada 1

Mecanizado del chavetero

Fresado:

Mediante este proceso se fresará una longitud de 30 mm con una profundidad de 3 mm y el diámetro de la fresa coincide con la anchura del chavetero. Este proceso no necesita ningún acabado superficial específico por lo que se realizará en una única pasada.

La página de Sandvik nos aconseja que la fresa sea de tipo 2P342-0600-PA 1730.

Los parámetros de corte que nos aconseja la página de Sandvik se ven en la Tabla 14.

Herramienta	Parámetros de corte	
 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;">Fresa: 2P342-0600-PA 1730</div>	D	6 mm
	a_p	3 mm
	a_e	6 mm
	L	30 mm
	V_c	104 m/min
	f_z	0,0369 mm/diente
	Z	4
	N	5500 rpm
	P_c	0,706 kW
	t_{meca}	5,33 s

Tabla 14 Parámetros de corte del chavetero en la atada 1

En cambio, si utilizamos el catálogo el proceso será el que se puede ver a continuación. La fresa que se utiliza es 2P342-0600-PA 1730. La fresa tiene 4 dientes y el diámetro de la fresa es de 6 mm. En la Tabla 15 se pueden apreciar las recomendaciones del fabricante acerca de la velocidad de corte, profundidad de pasada y avance por diente

Material	Dureza (HB)	Velocidad de corte recomendada (m/min)	fz recomendado (mm/diente)	Profundidad de pasada (mm)	de máxima
SAE 4140	350	100	0,03	7,5	

Tabla 15 Recomendaciones de avance, velocidad de corte y profundidad de pasada en la fresa

1. Elección de la velocidad de corte (V_c), profundidad de pasada (a_p) y del avance por diente (f_z):

$$V_c = 100 \text{ m/min} \quad f_z = 0,03 \text{ mm/diente} \quad a_p = 3 \text{ mm} \quad a_e = 6 \text{ mm}$$

2. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s * \times V_f \times a_e \times a_p}{60000}$$

$$V_f = z \times f_z \times N = z \times f_z \times \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = 4 \times 0,03 \times \frac{1000 \times 100}{\pi \times 6} = 637 \text{ mm/min}$$

$$a_e = 6 \text{ mm}$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 6} = 5305 \text{ rpm} < 5500 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$\rho_s * = 1900 \times (\bar{a}_c)^{-0,25}$$

$$\bar{a}_c = \frac{2 \times f_z \times a_e \times \sin(kr)}{\theta \times D} = \frac{2 \times 0,03 \times 6 \times \sin(90)}{\pi \times 6} = 0,0191$$

$$\rho_s * = 1900 \times (0,0191)^{-0,25} = 5111 \text{ N/mm}^2$$

$$P_c = \frac{\rho_s * \times V_f \times a_e \times a_p}{60000} = \frac{5111 \times 637 \times 6 \times 3}{60000} = 0,97 \text{ kW}$$

3. Cálculo del tiempo mecanizado

$$t_{\text{mec}} = \frac{L_{\text{mec}} - D}{V_f} = \frac{30 - 6}{637} = 0,0377 \text{ min} = 2,26 \text{ s}$$

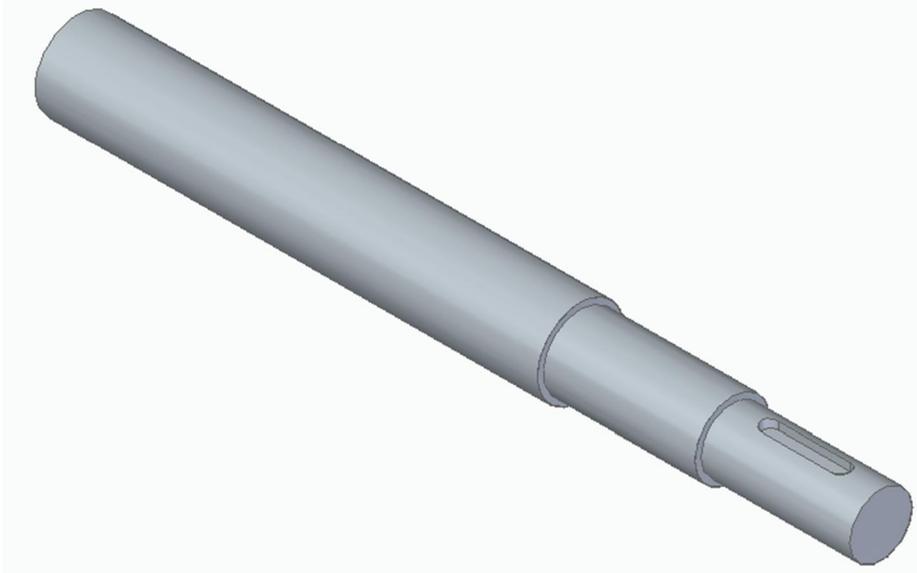


Ilustración 8 La forma de la pieza después del chavetero atada 1

Chablán:

En este proceso se realizará un chablán en el extremo de la parte derecha de la pieza. La profundidad de pasada sólo será de 1 mm y el ángulo que se forma será de 45°, por eso necesitamos que el kr de nuestro portaplaquita sea de 45°. El portaplaquita que se ha seleccionado para esta operación es SSDCR 2525M12.

La plaquita que necesitamos para la operación es SCMT 120408 y tiene las siguientes recomendaciones en cuanto a la profundidad de pasada y avance:

Plaquita	Profundidad de pasada (a_p)			Avance (f)		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
CNMG 090308-PM 4325	0,5 mm	4 mm	1,5 mm	0,12 mm/rev	0,37 mm/rev	0,25 mm/rev

Tabla 16 Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SCMT 120408

Como el material de la pieza es el SAE 4140 la recomendación para la velocidad de corte se puede ver en Tabla 4.

- Parámetros conseguidos mediante los cálculos
1. Elección de a_p y f:

$$ap = \frac{Di - Df}{2} = \frac{21 - 20}{2} = 0,5 \text{ mm} \quad f = 0,25 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - Vc}{0,4 - 0,25} = \frac{125 - Vc}{0,8 - 0,25} \Rightarrow Vc = 187 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$Pc = \frac{\rho s \times f \times ap \times Vc}{60} = \frac{2050 \times 0,25 \times 0,5 \times 187}{60} = 0,8 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = Pmax$$

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 187}{\pi \times 21} = 2835 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = Nmax$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$Vf = f \times N = 0,25 \times 2835 = 708 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{Vf} = \frac{1 + 5}{708} = 0,00846 \text{ min} = 0,5 \text{ s}$$

La pieza tendrá el siguiente aspecto después de esta operación:

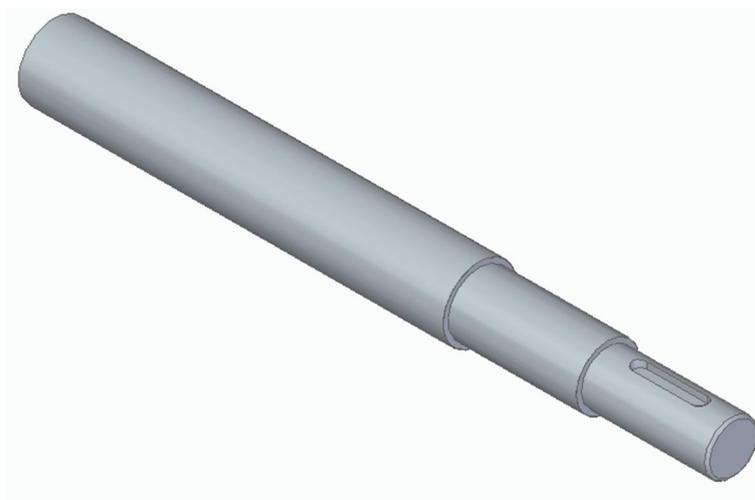


Ilustración 9 La forma de la pieza después de realizar el chaflán atada 1

ATADA 2:

Después de todas las operaciones en la atada 1 nuestra pieza será amarrado de la punta opuesta, es decir, del lado derecho para que así pueda realizar las operaciones necesarias en el lado izquierdo. Previamente no se ha hecho nada en el lado izquierdo de la pieza.

Refrentado

El diámetro será de 35 mm y la profundidad de la pasada en cambio de 13,5 mm . La profundidad de pasada es relativamente grande, por lo que el número de pasadas de la operación será 4. Las 3 primeras pasadas son un premezanado y se intentará quitar todo el material posible y en la última pasada se intentará que la calidad del acabado sea buena. En la Tabla 17 se pueden ver las diferencias que hay en los parámetros de corte en el refrentado.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

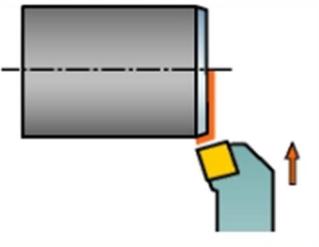
Herramienta	Parámetros de corte	En el premezanado	En el acabado
 <p>Portaplaquita: PSKNR 2525M15 Plaquita: SNMG 150624-PR 4325</p>	Número de pasadas	3	1
	D (mm)	35	35
	Kr	95°	95°
	a _p (mm)	3,43	3,2
	V _c (m/min)	149	170
	f (mm/rev)	0,518	0,357
	N (rpm)	5000	5000
	P (kW)	9,56	8,1
	T (Nm)	67,3	50,2
	t _{meca total}	4,15 s	

Tabla 17 Parámetros de corte refrentado atada 2

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

Para la operación de refrentado de la atada 2 la plaquita que se utiliza es el SNMG 150624 PR 4325 y tiene las siguientes recomendaciones de f y a_p:

Plaquita	Profundidad de pasada (a _p)			Avance (f)		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
SNMG 150624 PR 4325	2 mm	8 mm	5 mm	0,33 mm/rev	0,93 mm/rev	0,52 mm/rev

Tabla 18 Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SNMG 150624 PR 4325

Como el material de la pieza es el SAE 4140 la recomendación para la velocidad de corte se puede ver en Tabla 4.

$$D = 35 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm} \quad Ra = 1,6 \text{ } \mu\text{m} \quad r\epsilon = 2,38 \text{ mm}$$

1 PASADA y 2 PASADA:

- Elección de a_p y f:

$$a_p = 5 \text{ mm} \quad f = 0,52 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,52} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,52} \Rightarrow V_c = 156,5 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,52 \times 5 \times 156,5}{60} = 13,9 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

$$D_o = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times N_{max}} = \frac{1000 \times 156,5}{\pi \times 5000} = 9,96 \text{ mm}$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$t_{mec1} = - \int_{D/2+\Delta}^{D_o/2} \frac{dR}{f \times N} = - \int_{35/2+5}^{9,96/2} \frac{2R \times \pi}{0,52 \times 1000 \times 156,5} \times dR = 0,018 \text{ min}$$

$$t_{mec2} = \frac{D_o/2}{f \times N_{max}} = \frac{9,96/2}{0,52 \times 5000} = 0,00192 \text{ min}$$

$$t_{mec} = t_{mec1} + t_{mec2} = 0,018 + 0,00192 = 0,0205 \text{ min} = 1,23 \text{ s}$$

3 PASADA

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = 3,5 \text{ mm} \quad f = 0,52 \text{ mm/rev}$$

2. Restricción del acabado superficial:

$$f_{max} = \sqrt{32 \times r_\epsilon \times Ra} = \sqrt{32 \times 2,38 \times 1,6 \times 10^{-3}} = 0,35 \text{ mm/rev}$$

$$f = 0,52 > 0,35 = f_{max}$$

$$f = f_{max} = 0,35 \text{ mm/rev}$$

3. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,35} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,35} \Rightarrow V_c = 175 \text{ m/min}$$

4. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,35 \times 3,5 \times 175}{60} = 7,35 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

$$D_o = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times N_{max}} = \frac{1000 \times 175}{\pi \times 5000} = 11,14 \text{ mm}$$

5. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$t_{mec1} = - \int_{D/2+\Delta}^{D_o/2} \frac{dR}{f \times N} = - \int_{35/2+5}^{11,14/2} \frac{2R \times \pi}{0,35 \times 1000 \times 175} \times dR = 0,024 \text{ min}$$

$$t_{mec2} = \frac{D_o/2}{f \times N_{max}} = \frac{11,14/2}{0,35 \times 5000} = 0,00318 \text{ min}$$

$$t_{mec} = t_{mec1} + t_{mec2} = 0,024 + 0,00318 = 0,0275 \text{ min} = 1,65 \text{ s}$$

El tiempo de mecanizado total después de las tres pasadas será el siguiente:

$$t_{total} = t_{1pasada} + t_{2pasada} + t_{3pasada} = 1,23 \text{ s} + 1,23 \text{ s} + 1,65 \text{ s} \\ = 4,11 \text{ s}$$

La página de Sandvik ha elegido hacer 3 pasadas de mecanizado y 1 pasada de acabado mientras que nosotros hemos realizado 2 pasadas de mecanizado y 1 pasada de acabado con la intención de minimizar el tiempo de mecanizado. Se puede comprobar que el tiempo de mecanizado es prácticamente igual.

La pieza después del refrentado de la atada 2 tendrá este aspecto:



Ilustración 10 La forma de la pieza después del refrentado atada 2

Operaciones de desbaste

Para las operaciones de desbaste de la atada 2 la plaquita que se utiliza es el CNMG 120408 PR 4325 y las recomendaciones de f y a_p serán los que aparecen en Tabla 5:

El material de la pieza es el SAE 4140 por lo que la recomendación sobre la velocidad de corte será la que se puede ver en Tabla 4.

Cilindrado 1:

En esta operación reduciremos el diámetro de 30 mm a 26 mm en una longitud de 101 mm .

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

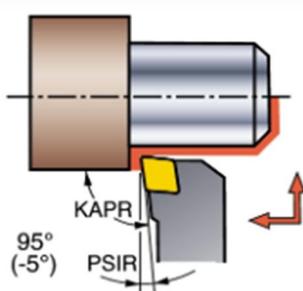
Herramienta	Parámetros de corte	
 Portaplaquita: DCLNR 2525M12 Plaquita: CNMG 120408-PR 4325	$D_{inicial}$	30 mm
	D_{final}	26 mm
	L	101 mm
	K_r	95°
	a_p	2 mm
	V_c	169 m/min
	f	0,35 mm/rev
	N	2070 rpm
	P	4,69 kW
	T	21,7 Nm
	t_{meca}	8,58 s

Tabla 19 Parámetros de corte desbaste cilindrado 1 atada 2

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{inicial} = 30 \text{ mm} \quad D_{final} = 26 \text{ mm} \quad L = 101 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm}$$

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{30 - 26}{2} = 2 \text{ mm} \quad f = 0,35 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,35} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,35} \Rightarrow V_c = 175 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,35 \times 2 \times 175}{60} = 4,19 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 175}{\pi \times 30} = 1856 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,35 \times 1856 = 650 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{101 + 5}{650} = 0,16 \text{ min} = 9,78 \text{ s}$$

La pieza quedará así después de esta operación.



Ilustración 11 La forma de la pieza después del cilindrado 1 atada 2

Cilindrado 2:

En esta operación reduciremos el diámetro de 26 mm a 22 mm en una longitud de 50 mm.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

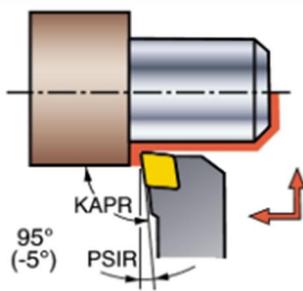
Herramienta	Parámetros de corte	
 <p>Portaplaquita: DCLNR 2525M12 Plaquita: CNMG 120408-PR 4325</p>	D _{inicial}	26 mm
	D _{final}	22 mm
	L	50 mm
	K _r	95°
	a _p	2 mm
	V _c	169 m/min
	f	0,35 mm/rev
	N	2440 rpm
	P	4,69 kW
	T	18,3 Nm
	t _{meca}	3,66 s

Tabla 20 Parámetros de corte desbaste cilindrado 2 atada 2

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{inicial} = 26 \text{ mm} \quad D_{final} = 22 \text{ mm} \quad L = 50 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm}$$

1. Elección de a_p y f:

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{26 - 22}{2} = 2 \text{ mm} \quad f = 0,35 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,35} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,35} \Rightarrow V_c = 175 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 175}{\pi \times 26} = 2142 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,35 \times 2 \times 175}{60} = 4,19 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,35 \times 2142 = 750 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{50 + 5}{750} = 0,073 \text{ min} = 4,4 \text{ s}$$

Después del cilindrado 2 de la atada 2 nuestra pieza tendrá la siguiente forma:



Ilustración 12 La forma de la pieza después del cilindrado 2 atada 2

Operaciones de acabado

Para las operaciones de acabado de la atada 2 sólo se utiliza una plaquita y es el CNMG 090308-PM 4325. Las recomendaciones de f y a_p son las que aparecen en Tabla 9:

Como el material de la pieza es el SAE 4140 la recomendación para la velocidad de corte se puede ver en Tabla 4.

Cilindrado 1:

En este proceso se reduce el diámetro de 26 mm a 25 mm en una longitud de 51 mm en la parte izquierda del eje como se puede ver en Ilustración 13. El acabado superficial de esta zona será N7 o $R_a=1,6 \mu\text{m}$.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

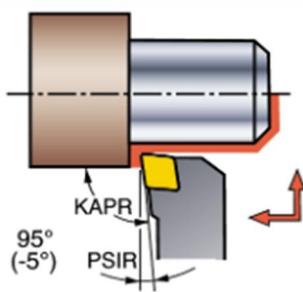
Herramienta	Parámetros de corte	
 Portaplaquita: DCLNR 2525M09 Plaquita: CNMG 090308-PM 4325	D _{inicial}	26 mm
	D _{final}	25 mm
	L	51 mm
	K _r	95°
	a _p	0,5 mm
	V _c	200 m/min
	f	0,206 mm/rev
	N	2550 rpm
	P	1,18 kW
	T	4,42 Nm
t _{meca}	5,97 s	

Tabla 21 Parámetros de corte acabado cilindrado 1 atada 2

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{inicial} = 26 \text{ mm} \quad D_{final} = 25 \text{ mm} \quad L = 51 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm} \quad Ra = 1,6 \mu\text{m}$$

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{30 - 29}{2} = 0,5 \text{ mm} \quad f = 0,3 \text{ mm/rev}$$

2. Comprobación del acabado superficial:

$$f_{max} = \sqrt{32 \times r\varepsilon \times Ra} = \sqrt{32 \times 0,8 \times 1,6 \times 10^{-3}} = 0,202 \text{ mm/rev}$$

$$f = 0,3 > 0,202 = f_{max}$$

$$f = f_{max} = 0,202 \text{ mm/rev}$$

3. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{V_c - 240}{0,202 - 0,1} = \frac{170 - 240}{0,4 - 0,1} \Rightarrow V_c = 216,2 \text{ m/min}$$

4. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 216,2}{\pi \times 26} = 2647 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,202 \times 0,5 \times 216,2}{60} = 0,76 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW}$$

$$= P_{max}$$

5. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,202 \times 2647 = 534,7 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{51 + 5}{534,7} = 0,11 \text{ min} = 6,28 \text{ s}$$

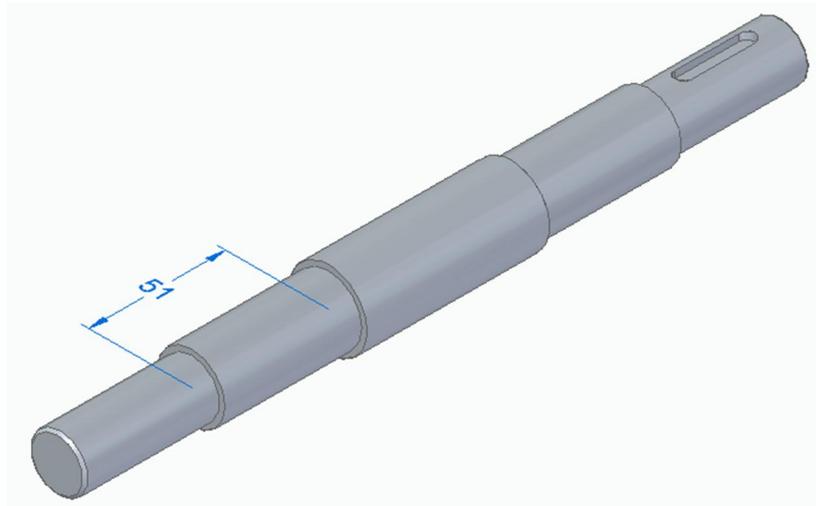


Ilustración 13 Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 1 atada 2

Cilindrado 2:

En este proceso se reduce el diámetro de 22 mm a 21 mm en una longitud de 50 mm en la parte izquierda del eje como se puede ver en Ilustración 14. El acabado superficial será de N7 o $Ra=1,6 \mu\text{m}$.

1. Parámetros conseguidos mediante la página de Sandvik

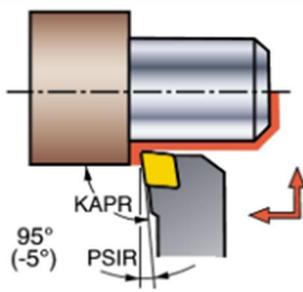
Herramienta	Parámetros de corte
 Portaplaquita: DCLNR 2525M09 Plaquita: CNMG 090308-PM 4325	D_{inicial} 22 mm
	D_{final} 21 mm
	L 50 mm
	K_r 95°
	a_p 0,5 mm
	V_c 200 m/min
	f 0,206 mm/rev
	N 3030 rpm
	P 1,18 kW
	T 3,71 Nm
	t_{meca} 4,94 s

Tabla 22 Parámetros de corte acabado cilindrado 2 atada 2

2. Parámetros conseguidos mediante los cálculos

$$D_{\text{inicial}} = 22 \text{ mm} \quad D_{\text{final}} = 21 \text{ mm} \quad L = 50 \text{ mm} \quad \Delta = 5 \text{ mm} \quad Ra = 0,8 \mu\text{m}$$

1. Elección de a_p y f:

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{22 - 21}{2} = 0,5 \text{ mm} \quad f = 0,2 \text{ mm/rev}$$

2. Comprobación del acabado superficial:

$$f_{\text{max}} = \sqrt{32 \times r\epsilon \times Ra} = \sqrt{32 \times 0,8 \times 0,8 \times 10^{-3}} = 0,143 \text{ mm/rev}$$

$$f = 0,2 > 0,143 = f_{max}$$

$$f = f_{max} = 0,143 \text{ mm/rev}$$

3. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{V_c - 240}{0,143 - 0,1} = \frac{170 - 240}{0,4 - 0,1} \Rightarrow V_c = 230 \text{ m/min}$$

4. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 230}{\pi \times 22} = 3330 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,143 \times 0,5 \times 230}{60} = 0,58 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW}$$

$$= P_{max}$$

5. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,143 \times 3330 = 475,87 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{50 + 5}{475,87} = 0,116 \text{ min} = 6,93 \text{ s}$$

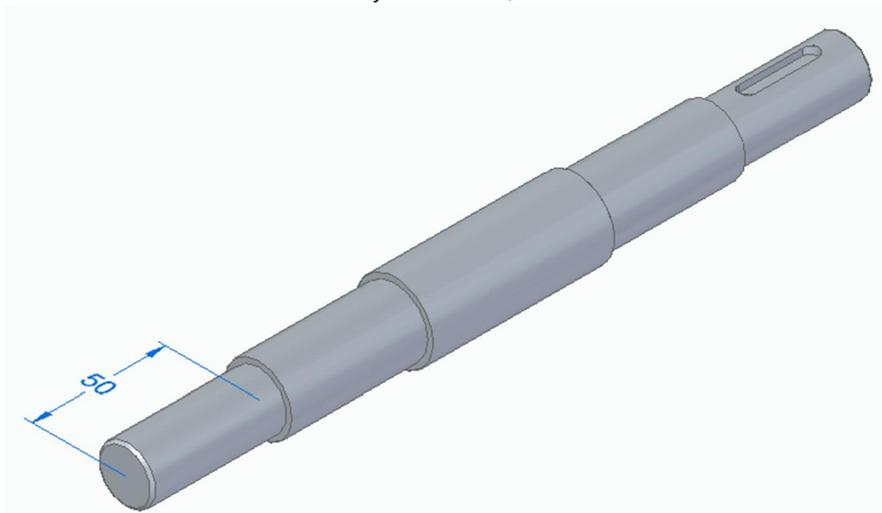


Ilustración 14 Zona en la que se aplicará el acabado en cilindrado 2 atada 2

Mecanizado del chavetero

Fresado:

Mediante este proceso se fresará una longitud de 30 mm con una profundidad de 3 mm y el diámetro de la fresa coincide con la anchura del chavetero que en este caso será de 6 mm. Este proceso no necesita ningún acabado superficial específico por lo que se realizará en una única pasada.

La página de Sandvik nos aconseja que la fresa sea de tipo 2P342-0600-PA 1730.

Los parámetros de corte que nos aconseja la página de Sandvik se ven en la Tabla 23.

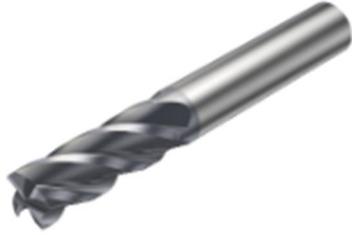
Herramienta	Parámetros de corte	
 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;">Fresa: 2P342-0600-PA 1730</div>	D	6 mm
	a_p	3 mm
	a_e	6 mm
	L	30 mm
	V_c	104 m/min
	f_z	0,0369 mm/diente
	Z	4
	N	5500 rpm
	P_c	0,706 kW
	t_{meca}	5,33 s

Tabla 23 Parámetros de corte del chavetero en la atada 2

En cambio, si utilizamos el catálogo el proceso será el que se puede ver a continuación.

La fresa que se utiliza es 2P342-0600-PA 1730. La fresa tiene 4 dientes y el diámetro de la fresa es de 6 mm. En la Tabla 15 se pueden apreciar las recomendaciones del fabricante acerca de la velocidad de corte, profundidad de pasada y avance por diente

1. Elección de la velocidad de corte (V_c), profundidad de pasada (a_p) y del avance por diente (f_z):

$$V_c = 100 \text{ m/min} \quad f_z = 0,03 \text{ mm/diente} \quad a_p = 3 \text{ mm} \quad a_e = 6 \text{ mm}$$

2. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s * \times V_f \times a_e \times a_p}{60000}$$

$$V_f = z \times f_z \times N = z \times f_z \times \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = 4 \times 0,03 \times \frac{1000 \times 100}{\pi \times 6} = 637 \text{ mm/min}$$

$$a_e = 6 \text{ mm}$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 6} = 5305 \text{ rpm} < 5500 \text{ rpm} = N_{max}$$

$$\rho s^* = 1900 \times (\overline{ac})^{-0,25}$$

$$\overline{ac} = \frac{2 \times fz \times ae \times \sin(kr)}{\theta \times D} = \frac{2 \times 0,03 \times 6 \times \sin(90)}{\pi \times 6} = 0,0191$$

$$\rho s^* = 1900 \times (0,0191)^{-0,25} = 5111 \text{ N/mm}^2$$

$$P_c = \frac{\rho s^* \times V_f \times ae \times ap}{60000} = \frac{5111 \times 637 \times 6 \times 3}{60000} = 0,97 \text{ kW}$$

3. Cálculo del tiempo mecanizado

$$t_{\text{mec}} = \frac{L_{\text{mec}} - D}{V_f} = \frac{30 - 6}{637} = 0,0377 \text{ min} = 2,26 \text{ s}$$

Después del mecanizado del chavetero 2 la pieza tendrá este aspecto:



Ilustración 15 La forma de la pieza después del chavetero atada 2

Chaflán:

En este proceso se realizará un chaflán en el extremo de la parte izquierda de la pieza. La profundidad de pasada sólo será de 1 mm y el ángulo que se forma será de 45°, por eso necesitamos que el kr de nuestro portaplaquita sea de 45°. El portaplaquita que se ha seleccionado para esta operación es SSDCR 2525M12.

La plaquita que necesitamos para la operación es SCMT 120408 y las recomendaciones en cuanto a la profundidad de pasada y avance se pueden en Tabla 16:

Como el material de la pieza es el SAE 4140 la recomendación para la velocidad de corte se puede ver en Tabla 4.

- Parámetros conseguidos mediante los cálculos

1. Elección de a_p y f :

$$a_p = \frac{D_i - D_f}{2} = \frac{21 - 20}{2} = 0,5 \text{ mm} \quad f = 0,25 \text{ mm/rev}$$

2. Cálculo de velocidad de corte:

$$\frac{170 - V_c}{0,4 - 0,25} = \frac{125 - V_c}{0,8 - 0,25} \Rightarrow V_c = 187 \text{ m/min}$$

3. Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

$$P_c = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times V_c}{60} = \frac{2050 \times 0,25 \times 0,5 \times 187}{60} = 0,8 \text{ kW} < 16,5 \text{ kW} = P_{max}$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 187}{\pi \times 21} = 2835 \text{ rpm} < 5000 \text{ rpm} = N_{max}$$

4. Cálculo del tiempo de mecanizado:

$$V_f = f \times N = 0,25 \times 2835 = 708 \text{ mm/min}$$

$$t_{mec} = \frac{L + \Delta}{V_f} = \frac{1 + 5}{708} = 0,00846 \text{ min} = 0,5 \text{ s}$$



Ilustración 16 La forma de la pieza después del chaflán atada 2