

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

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

Alumno: Martinez de Antoñana Garaialde, Andoni

Directora: Celaya Egüen, Ainhoa

Curso: 2018-2019

Fecha: Bilbao, 17 de Julio, 2019

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado consiste en diseñar la hoja de procesos de mecanizado de un eje reductor de velocidad. Para ello, se han seleccionado el material del eje, la máquina en la que se operará y las herramientas necesarias para el proceso. Posteriormente, se han obtenido los parámetros de corte tanto por el catálogo on-line como por el catálogo físico para todas las operaciones y se han comparado los resultados. Finalmente, se ha plasmado esta información en la hoja de procesos.

Palabras clave:

Mecanizado, proceso

LABURPENA

Gradu Amaierako Lan honen helburua abiadura erreduktore baten ardatzaren prozesu orria diseinatzea da. Horretarako, ardatzarentzat erabiliko den materiala, prozesua aurrera eramango duen makina eta erreminta egokiak aukeratu dira. Ondoren, prozesuen ebaketa parametroak lortu dira bai on-line katalogoarekin eta baita katalogo fisikoarekin ere eta emaitzak konparatu egin dira. Azkenik prozesu orrian informazio hau irudikatu da.

Hitz gakoak:

Mekanizazio, prozesu

SUMMARY

This End of Degree Project consists of designing the sheet of machining processes of a speed reducer shaft. Firstly, the material of the shaft, the machine in which it will be operated and the necessary tools for the process have been selected. Afterwards, the cutting parameters have been obtained both by the on-line catalog and by the physical catalog for all the operations and the results have been compared. Finally, this information has been included in the process sheet.

Key words:

Machining, process

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Reductor de velocidad de (a) tipo tornillo sin fin (b) tipo engranaje clásico.....	3
Ilustración 2. Nuestro eje a mecanizar en 3D	3
Ilustración 3. Medidas principales de la pieza	4
Ilustración 4. Detalles B y C de la pieza.....	4
Ilustración 5. Acabados superficiales en el eje.....	7
Ilustración 6. Laminación de un tubo	8
Ilustración 7. Torno CMZ TA Z400.....	11
Ilustración 8. Torno CMZ TD Z800.....	11
Ilustración 9. Torno CMZ TX66Y2.....	12
Ilustración 10. Torno DMG CLX 350.....	13
Ilustración 11. Torno DMG CLX 350.....	15
Ilustración 12. Plato de garras autocentrantes	16
Ilustración 13. Información recogida en una hoja de procesos.....	17
Ilustración 14. Esquema de operaciones de mecanizado.....	18
Ilustración 15. Los 4 parámetros a meter	19
Ilustración 16. Las medidas que hay que meter en la página de Sandvik.....	19
Ilustración 17. Los parámetros de corte que nos aparece	20
Ilustración 18. Alternativas de las herramientas	21
Ilustración 19. Plaquita CNMG 160608-PR 4325.....	22
Ilustración 20. Refrentado y cilindrado de portaplaquitas.....	23
Ilustración 21. Portaplaquitas de tipo DCLNR 2525M16	23
Ilustración 22. El ángulo α	23
Ilustración 23. Medidas del portaplaquitas DCLNR 2525M16.....	23
Ilustración 24. Para el fresado existe la opción no rotativo.....	28
Ilustración 25. Parámetros a meter	28
Ilustración 26. Datos a meter en el fresado	29
Ilustración 27. Datos de corte en el fresado	29
Ilustración 28. Fechas de inicio y fin del proyecto	38
Ilustración 29. Diagrama de Gantt	38

Índice de tablas

Tabla 1. Composición química en porcentajes del acero aleado SAE 4140	9
Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero aleado SAE 4140	9
Tabla 3. Composición química en porcentajes del acero aleado SAE 4320	10
Tabla 4. Propiedades mecánicas del acero aleado SAE 4320	10
Tabla 5. Composición química en porcentajes del acero aleado SAE 4340	10
Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero aleado SAE 4340	10
Tabla 7. Características del torno CMZ TA Z400	11
Tabla 8. Características del torno CMZ serie TD Z800.....	12
Tabla 9. Características del torno CMZ serie TX66Y2.....	12
Tabla 10. Características del torno DMG serie CLX 350.....	13
Tabla 11. Tabla de evaluación del material	14
Tabla 12. Tabla de evaluación de la máquina	15
Tabla 13. Características del torno DMG CLX 350.....	16
Tabla 14. Materiales clasificados según el código ISO 513:2004.....	21
Tabla 15. Numeración de la plaquita	22
Tabla 16. Medidas del portaplaquitas	24
Tabla 17. Numeración del portaplaquitas	24
Tabla 18. Recomendaciones del fabricante en la profundidad de pasada y avance para la plaquita CNMG160608 PR4325.....	25
Tabla 19. Recomendaciones de fabricante en cuanto a la velocidad de corte para el material SAE 4140.....	26
Tabla 20. Recomendaciones en la fresa 2P342-0600-PA 1730.....	30
Tabla 21. Las potencias y velocidades de giro máximas para el cabezal y torreta.....	31
Tabla 22. Parámetros de corte refrentado atada 1.....	32
Tabla 23. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SNMG 120416 PM4325.....	32
Tabla 24. Recomendación en cuanto a la velocidad de corte para el material SAE 4140.....	32
Tabla 25. Parámetros de corte desbaste cilindrado 1 atada 1.....	34
Tabla 26. Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita CNMG 120408 PR 4325.....	34
Tabla 27. Parámetros de corte del chavetero en la atada 1.....	36

Tabla 28. Recomendaciones de avance velocidad de corte y profundidad de pasada en la fresa.	36
Tabla 29. Horas de trabajo	40
Tabla 30. Amortizaciones	40
Tabla 31. Gastos de oficina	40
Tabla 32. Gastos finales	40

Índice

I. Memoria

1. Introducción	1
2. Contexto	2
3. Objetivos y alcance	5
4. Beneficios que aporta el trabajo	6
5. Descripción de requerimientos	7
6. Análisis de alternativas	9
6.1 Material	9
6.2 Máquina	10
7. Selección de alternativas	14
7.1 Material	14
7.2 Máquina	14

II. Metodología

8. Metodología	17
8.1 Torneado	18
8.2 Fresado	28
8.3 Operaciones de mecanizado: definición de herramientas y condiciones de corte.....	31
9. Planificación del proyecto. Diagrama de Gantt.....	38

III. Presupuesto

10. Presupuesto.....	40
----------------------	----

IV. Conclusiones

11. Conclusiones.....	41
-----------------------	----

Anexo I: Operaciones de mecanizado: Parámetros de corte y cálculos

Anexo II: Hoja de procesos

I. Memoria

1.INTRODUCCIÓN

Con este Trabajo de Fin de Grado se diseña la hoja de procesos de mecanizado de un eje reductor de velocidad. Esta hoja de procesos recoge toda la información necesaria para la fabricación de piezas por mecanizado, desde la elección de la máquina y las operaciones necesarias hasta las herramientas utilizadas y los parámetros de corte empleados. Para ello, se han seguido unos pasos que se explicarán brevemente a continuación.

En primer lugar, se ha contextualizado nuestro trabajo en el sector de automoción. Aquí, se ha descrito nuestra pieza y se han explicado los distintos tipos y funciones que tienen los reductores de velocidad. En segundo lugar, se han definido los objetivos y el alcance del trabajo, dividiéndolos en objetivos parciales para conseguir nuestro objetivo principal. También se han explicado los beneficios que aportará el trabajo en el mundo de la industria. Estos beneficios se han dividido en dos: por un lado, los beneficios técnicos y por otro lado los beneficios económicos. A continuación, se ha detallado la descripción de requerimientos, mencionando qué procesos de mecanizado se realizarán en nuestra pieza para que tenga las características que necesite.

Más adelante se ha hecho el análisis de alternativas y se ha dividido en dos partes. Por una parte, se ha analizado el material que se necesita para nuestra pieza y por otra parte se ha analizado la máquina con la que haremos los procesos de mecanizado necesarios. Una vez hecho el análisis se han seleccionado tanto el material de la pieza como la máquina con la que mecanizaremos la pieza.

Después se ha decidido la metodología seguida para realizar la hoja de procesos de mecanizado de la pieza. Ante todo, se ha observado cómo es el desarrollo de una hoja de procesos, mostrando las características que ha de tener. Después se han mostrado todos los procesos de mecanizado que se realizarán en pieza y posteriormente se han descrito las operaciones de mecanizado más relevantes. Para ello, se han elegido las herramientas necesarias y se han conseguido los parámetros de corte tanto con el catálogo on-line como con el catálogo físico para cada operación. Se han comparado los distintos resultados conseguidos en los parámetros de corte y se ha intentado averiguar cuáles son las razones principales para que haya esas diferencias.

Finalmente, se ha explicado la planificación que se ha llevado a cabo mediante el diagrama de Gantt, se ha desarrollado el presupuesto necesario para realizar nuestro proyecto y se han sacado algunas conclusiones.

En los anexos encontraremos los detalles para todas las operaciones y también la hoja de procesos de la pieza.

2. CONTEXTO

El sector de la automoción se ha convertido en uno de los sectores más importantes en Euskadi. Su gran desarrollo permite encontrar aquí un amplio catálogo de empresas relacionadas con este sector. Las dos empresas más grandes en Euskadi son Mercedes Benz en Vitoria y el Grupo Irizar con sede en Ormaiztegui. Por ejemplo, la empresa Mercedes Benz de Vitoria produce anualmente más de 120.000 vehículos donde el 90% se destina a la exportación. Este sector se ha convertido en uno de los principales motores de la economía vasca y da empleo a casi 35.000 personas. Además, en los próximos cinco años se prevé un crecimiento del sector de casi el 20% [1].

Nuestro trabajo consiste en diseñar la hoja de procesos de mecanizado de un eje intermedio del reductor de velocidades para un motor eléctrico ubicado en una caja arrancadora de un automóvil. Un coche está constituido por diferentes elementos y uno de ellos es la caja arrancadora que es fundamental a la hora de arrancar un automóvil. Esta caja arrancadora en su interior tiene varios elementos como pueden ser los motores eléctricos. Y en los motores eléctricos hay unos reductores de velocidad para adaptar la velocidad.

Los reductores de velocidad son los encargados de adaptar la velocidad del motor a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Esta adaptación de velocidad se hace mediante distintos sistemas de reducción dependiendo de las necesidades en cada aplicación. Se utilizan mucho ya que en la mayoría de procesos industriales las velocidades de los motores son demasiado altas. Mediante los reductores de velocidad, conseguimos un menor número de revoluciones por minuto en la salida, pero sin disminuir de manera significativa la potencia, aumentando el par de forma eficaz.

Un reductor de velocidad tiene un eje de entrada, el cual recibe el movimiento a través de un motor que va a gran velocidad. El movimiento del motor se transmite mediante los engranajes internos, que transmiten el movimiento a un eje de salida. Para que la máquina funcione correctamente, la velocidad del eje de salida tiene que ser la velocidad reducida correcta para dicha máquina.

Hay distintos tipos de reductores de velocidad que se diferencian por sus engranajes. Los más comunes y los más comercializados son los reductores sin fin y corona. Funciona mediante un eje de entrada, que es un tornillo sin fin. Este tornillo, al girar, hace contacto con una corona dentada y en cada vuelta del eje se adelanta un diente de la corona. El número de dientes de la corona limita la reducción de velocidad. Este tipo de reductor de velocidad se puede apreciar en Ilustración 1 (a). Se caracterizan por su sencillez y aunque paradójicamente se considera obsoleto por su bajo rendimiento energético, son los más utilizados.

También se utilizan los reductores de velocidad de engranajes clásicos. Lo componen la unión de un par de engranajes, el engranaje pequeño que se conoce como piñón y el engranaje grande. Esta unión del piñón con el engranaje con diferentes números de dientes nos da una velocidad de rotación diferente entre el engranaje y el piñón, reduciendo así la velocidad de salida. Éste es nuestro caso. Se puede apreciar en Ilustración 1 (b) dado que apoyaremos el piñón en nuestro eje para que gire con el engranaje y reducir así la velocidad.

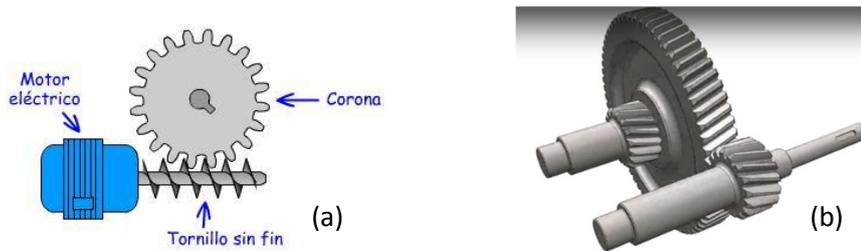


Ilustración 1 Reductor de velocidad de (a) tipo tornillo sin fin (b) tipo engranaje clásico

Como ya hemos explicado antes, en nuestro caso nos vamos a centrar en el eje del reductor de velocidades para un motor eléctrico. El eje será parte en la adaptación de velocidad del motor. Para que el reductor de velocidad funcione correctamente, es vital que nuestra pieza tenga una calidad alta tanto en el material como en el acabado superficial. Además, nos interesa que el proceso de mecanizado de nuestra pieza sea viable económicamente por lo que intentaremos que el proceso tenga una alta productividad. Así, minimizaremos el coste del proceso.

En la Ilustración 2 se puede ver cuál es nuestro eje a mecanizar.

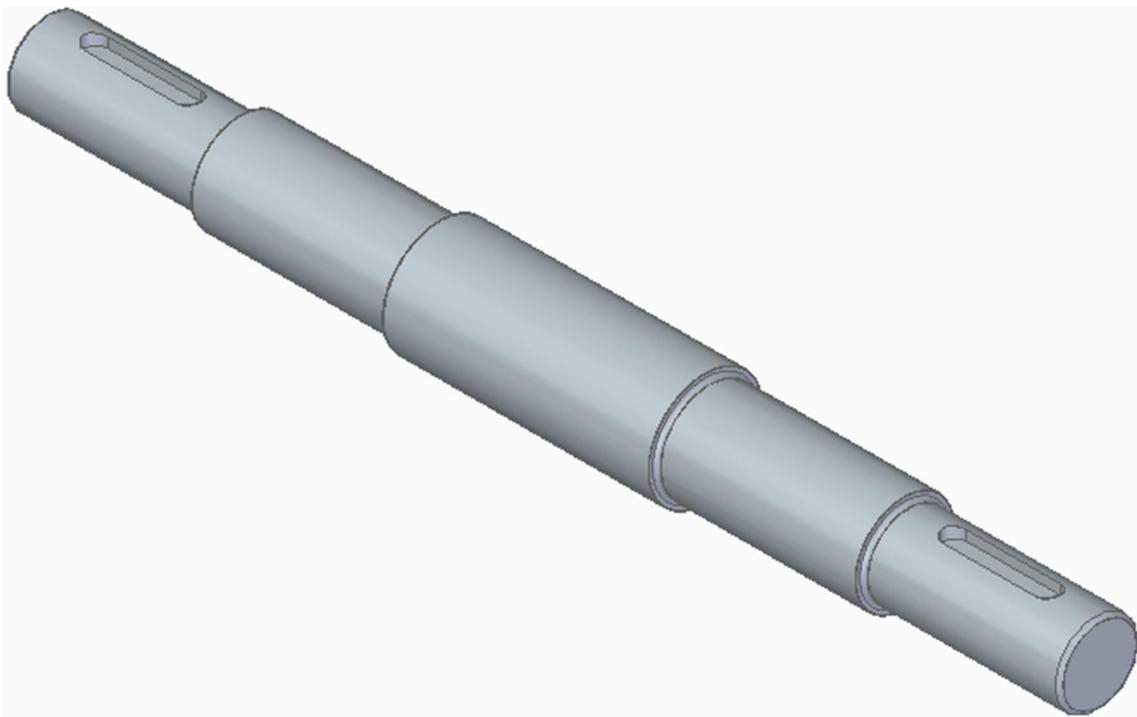


Ilustración 2 Nuestro eje a mecanizar en 3D

El eje tiene 270 mm de longitud y su diámetro exterior máximo es de 29 mm. Este diámetro se reduce primero a 25 mm y en la zona donde está el chavetero, el diámetro será de 21 mm. Tiene también dos chaveteros de 30 mm de longitud, 6 mm de anchura y 3 mm de profundidad. Vamos a tener en cuenta la zona en las que se apoyará el piñón motriz en el eje para decidir los acabados superficiales del eje. En la Ilustración 3 y la Ilustración 4 se pueden apreciar las medidas de nuestro eje.

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

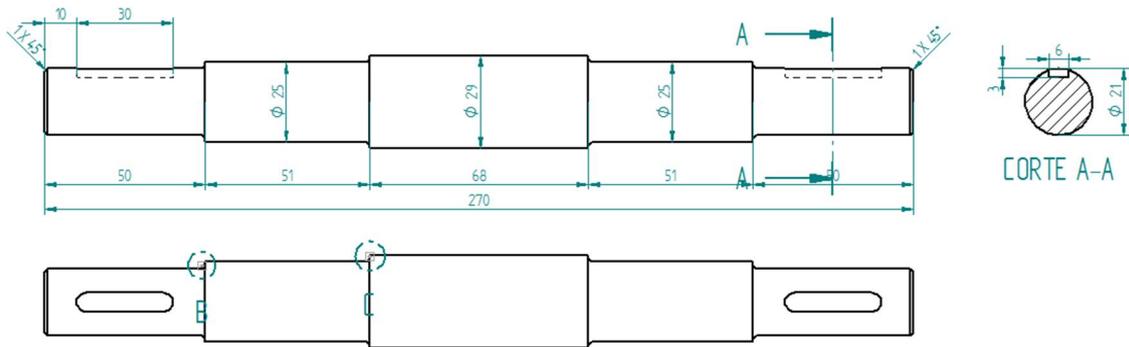


Ilustración 3 Medidas principales de la pieza

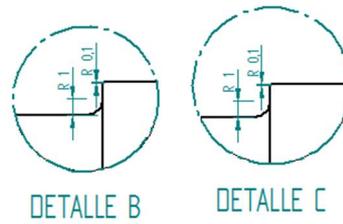


Ilustración 4 Detalles B y C de la pieza

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo de este trabajo es diseñar la hoja de procesos de mecanizado de un eje reductor de velocidad de un motor eléctrico ubicado en la caja arrancadora de un automóvil. Para obtener este objetivo principal se han planteado los siguientes objetivos parciales:

- Elegir el material para el eje: se plantean distintos materiales que podrían valer para nuestro eje y se decide el más adecuado.
- Elegir la máquina para el proceso: una vez elegido el material, debemos elegir una máquina con unas características y medidas adecuadas que sea capaz de realizar todas las operaciones necesarias.
- Elegir las herramientas correctas para el proceso dependiendo de muchos factores como pueden ser el material de la pieza o algún requerimiento específico en alguna zona de la pieza.
- Conseguir los parámetros de corte mediante el catálogo on-line y el catálogo físico intentando siempre que el tiempo de mecanizado sea mínimo.

4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

En este trabajo se diseñará la hoja de procesos de un eje reductor de velocidad. Realizar una hoja de procesos tiene muchos beneficios y se pueden dividir en beneficios técnicos y económicos.

4.1 Beneficios técnicos

La hoja de procesos que se diseña es una manera muy fácil de almacenar información sobre los procesos necesarios para conseguir nuestra pieza. Se puede apreciar cuál es el orden de las operaciones a realizar y además cuenta con toda la información que se necesita para realizar cada operación. En una hoja de procesos quedan todos los pasos muy definidos por lo que minimiza los errores que puedan pasar durante la fabricación. Al estar normalizado los profesionales entienden perfectamente su contenido. Este entendimiento facilita el trabajo a los profesionales que llevarán a cabo todas las operaciones que la pieza necesite.

4.2 Beneficios económicos

En cuanto a lo económico, se intentará que el proceso de mecanizado tenga el menos coste posible. Nos interesa que el tiempo de mecanizado sea mínimo dado que esto aumentará la productividad del proceso. Un aumento de productividad provocaría un beneficio económico importante. El derroche de los materiales es otro elemento a tener en cuenta. Se intentará que el derroche de los materiales sea mínimo con intención de no malgastar el dinero.

5. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Este eje reductor de velocidades es una pieza importante dado que se utiliza en los motores eléctricos de la caja arrancadora de los automóviles. Se trata de una pieza con una función específica e importante y la que no se puede permitir tener fallos. Por eso, en general, la mecanización en la pieza debe ser buena. Aun así, la mecanización en todas las partes no será igual.

Por eso, en gran parte de la pieza, el acabado que necesitamos será de N7. Este acabado es bueno y para nuestro eje es válido. El acabado también se puede medir mediante la rugosidad y en este caso la equivalencia de N7 es $Ra=1,6 \mu\text{m}$.

Hay que tener en cuenta que hay un piñón motriz apoyado en nuestro eje. Está justo ubicado en la parte derecha del eje donde el diámetro es de 21 mm. Este piñón motriz es vital a la hora de reducir de velocidad porque actuará en la transmisión de velocidades mediante engranajes. Por ello necesitamos que el mecanizado en el apoyo del piñón motriz con el eje sea muy bueno. No se puede desplazar el apoyo entre el piñón y el eje para que no se produzcan fallos y además no podemos permitir que se generen fuerzas de rozamiento que desgasten nuestro eje. Necesitamos que el apoyo no se mueva para el buen funcionamiento del eje. Teniendo en cuenta todo esto, la calidad del mecanizado en los puntos de contacto entre el eje y piñón debe ser muy buena. Por eso, el acabado que necesita el eje entre el apoyo del piñón y el eje será de N6. Si el acabado fuera medido mediante la rugosidad el valor que se obtiene es $Ra=0,8 \mu\text{m}$.

Todos los acabados superficiales que necesita la pieza se pueden apreciar en Ilustración 5.

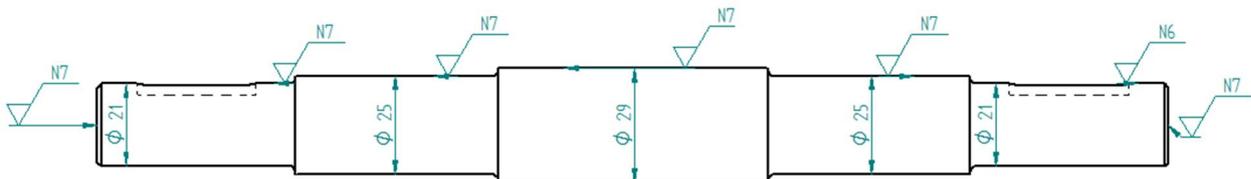


Ilustración 5 Acabados superficiales en el eje

Además, hay que tener en cuenta las dimensiones de nuestro eje y se puede comprobar que las diferencias de los diámetros entre los distintos puntos de nuestro eje son mínimas. Por eso en nuestro caso el primer paso para conseguir nuestra pieza será la laminación. La laminación es un proceso industrial en el que se reduce el espesor de una lámina utilizando la presión. Como se puede apreciar en la Ilustración 6 nuestro material pasará por unas láminas curvas para que la forma de nuestra pieza sea cilíndrica. Estas láminas se hacen girar a través de varios engranajes. Una vez que se ha conseguido una barra cilíndrica se harán los procesos de mecanizado necesarios para llegar hasta nuestra pieza.

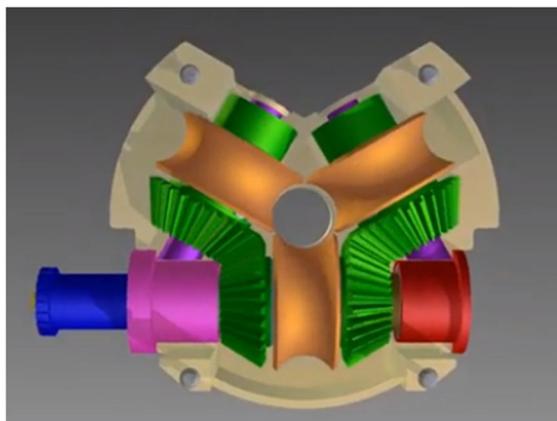


Ilustración 6 Laminación de un tubo

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este apartado estudiaremos las distintas opciones que existen en cuanto al material del eje y la máquina para realizar el mecanizado de nuestra pieza.

6.1 Material

Nuestra pieza recibirá cargas en algunos puntos de contacto. Se apoyará en el eje un piñón motriz por lo que necesitaremos que nuestro material sea resistente a la tracción. La tenacidad y la ligereza del material también serán importantes a la hora de elegir el material. La maquinabilidad también será un elemento para tener en cuenta dado que esta propiedad nos indica la facilidad con la que la pieza es mecanizada por arranque de viruta. Por último, el precio también será muy importante.

Por todo ello, nuestro material seleccionado será el acero aleado. Dependiendo de la cantidad de los aleantes, de sus porcentajes y del tratamiento térmico que recibe, hay distintos tipos de aceros aleados y por lo tanto sus propiedades mecánicas serán distintas.

A la hora de elegir los aceros aleados, nos hemos basado en los catálogos de aceros aleados de la empresa de ingeniería Thyssenkrupp [2] y Aceros Bravo [3].

1) SAE 4140: Acero de medio carbono aleado con Cromo y Molibdeno con buenas características para soportar esfuerzos a fatiga y torsión. Se utiliza en piezas con alto grado de resistencia al desgaste y alto grado de tenacidad. Este acero es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico. Buena maquinabilidad. En Tabla 1 se da la composición química en porcentajes. El resto del porcentaje que no aparece en la Tabla 1 lo completa el hierro.

C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S
0,38-0,43	0,15-0,35	0,75-1	0,8-1,1	0,15-0,25	≤0,035	≤0,04

Tabla 1 Composición química en porcentajes del acero aleado SAE 4140

En la Tabla 2 se puede apreciar las propiedades mecánicas del acero aleado SAE 4140.

Resistencia a la tracción	95-105 kg/mm ²
Límite de fluencia	60-74 kg/mm ²
Reducción de área	50 %
Maquinabilidad	Buena
Dureza	350 HB
Elongación	10-18 %

Tabla 2 Propiedades mecánicas del acero aleado SAE 4140

Precio: 600€/tonelada

2) SAE 4320: Es un acero con un bajo contenido de carbono. El bajo contenido del carbono permite usar la carburación para aumentar la resistencia al desgaste y la dureza de la superficie. Se utiliza en los componentes mecánicos donde se requiere una dureza en pequeñas secciones. En la Tabla 3 se puede ver la composición química en porcentajes del acero aleado de este tipo. El resto del porcentaje lo completará el hierro.

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
0,17-0,22	0,15-0,35	0,45-0,65	0,4-0,6	0,2-0,3	1,65-2	≤0,035	≤0,04

Tabla 3 Composición química en porcentajes del acero aleado SAE 4320

En la Tabla 4 se pueden apreciar las propiedades mecánicas de este tipo de acero aleado.

Resistencia a la tracción	150 kg/mm ²
Límite de fluencia	110 kg/mm ²
Reducción de área	48 %
Maquinabilidad	Buena
Dureza	≤230 HB
Elongación	13 %

Tabla 4 Propiedades mecánicas del acero aleado SAE 4320

Precio: 800€/tonelada

3) SAE 4340: Es un acero aleado con un alto porcentaje de carbono. Se suele utilizar en piezas que requieren una buena combinación entre dureza y tenacidad. En la Tabla 5 se pueden apreciar los porcentajes de la composición química en nuestro acero. El resto del porcentaje lo completará el hierro:

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
0,38-0,43	0,15-0,3	0,6-0,8	0,7-0,9	0,2-0,3	1,65-2	≤0,035	≤0,04

Tabla 5 Composición química en porcentajes del acero aleado SAE 4340

En la Tabla 6 se pueden apreciar las propiedades mecánicas del acero aleado de tipo SAE 4340.

Resistencia a la tracción	125 kg/mm ²
Límite de fluencia	70 kg/mm ²
Reducción de área	30 %
Maquinabilidad	Buena
Dureza	≤230 HB
Elongación	10%

Tabla 6 Propiedades mecánicas del acero aleado SAE 4340

Precio: 850€/tonelada

6.2 Máquina

Nuestro eje tiene como característica su simetría de revolución. Por lo tanto, habrá que tornearla varias veces ya que tiene diferentes diámetros. Otra de las características de nuestra pieza es que es totalmente simétrico. También tiene dos chaveteros, una en cada lado del eje y como consecuencia existirá el fresado. Por último, tiene dos chaflanes ubicados una en cada extremidad del eje.

Para elegir la máquina de nuestra pieza, debemos tener en cuenta las propiedades de cada una de ellas. Además, la máquina tiene que ser capaz de torneear y fresar la pieza.

Nuestro torno será de tipo CNC, es decir, de control numérico. Mediante el control numérico podemos controlar automáticamente los movimientos. Se utiliza para piezas un poco más complejas y que necesiten buena precisión. El tiempo de producción será mayor con máquinas CNC que con tornos automáticos, pero en nuestro caso la tirada no es lo suficientemente grande como para elegir el torno automático. Dentro de los tornos CNC tenemos distintas opciones y para elegir las máquinas nos hemos basado en el catálogo de tornos de la empresa CMZ de

Zaldibar (Vizcaya) [4] y también en el catálogo de la empresa alemana DMG [5]. Tendremos por tanto, las siguientes opciones:

- **CMZ Serie TA Z400:**
Este torno es productivo, de manejo fácil y versátil. Tiene una gran capacidad de fresado, una gran precisión y la relación calidad precio es buena. Es un torno completo porque es capaz de torneear la pieza, pero también de fresarla.



Ilustración 7 Torno CMZ TA Z400

En la Tabla 7 aparecen las características del torno CMZ serie TA Z400.

Propiedades serie TA Z400		
Diámetro máximo torneable		460 mm
Distancia entre cara del plato y punto		450 mm
Cabezal	Velocidad angular máxima	3500-4500 rpm
	El paso	52-78 mm
	Potencia máxima	14-42 kW
Torreta	Número de posiciones	12
	Velocidad angular máxima	12000 rpm
	Potencia máxima	11 kW

Tabla 7 Características del torno CMZ TA Z400

- **CMZ Serie TD Z800:**
Este torno se utiliza mayormente en piezas de alta precisión para series de tamaño medio. Es válido para el mecanizado de piezas con geometrías simples y complejas con resultados óptimos y precisos. Comparando con el torno CMZ serie TA Z400, éste es más adecuado cuando las piezas son más grandes.



Ilustración 8 Torno CMZ TD Z800

En Tabla 8 se aprecian las características del torno CMZ serie TD Z800

Propiedades serie TD Z800		
Diámetro máximo torneable		550 mm
Distancia entre cara del plato y punto		900 mm
Cabezal	Velocidad angular máxima	1600-4500 rpm
	El paso	52-180 mm
	Potencia máxima	14-51 kW
Torreta	Número de posiciones	12
	Velocidad angular máxima	12000 rpm
	Potencia máxima	11 kW

Tabla 8 Características del torno CMZ serie TD Z800

- CMZ Serie TX66Y2:
Este torno con dos torretas permite el mecanizado completo y simultáneo de varias piezas. Su mayor ventaja es que mejora los tiempos de producción.



Ilustración 9 Torno CMZ TX66Y2

En la Tabla 9 se pueden ver las características del torno CMZ serie TX66Y2

Propiedades serie TX66Y2		
Diámetro máximo torneable		255 mm
Distancia entre cara del plato y punto		650 mm
Cabezal izquierdo	Velocidad angular máxima	4000-5000 rpm
	El paso	52-66 mm
	Potencia máxima	18,5 kW
Cabezal derecho	Velocidad angular máxima	5000 rpm
	El paso	52 mm
	Potencia máxima	11 kW
Torreta	Velocidad angular máxima	6000 rpm
	Potencia máxima	18 kW

Tabla 9 Características del torno CMZ serie TX66Y2

- DMG Serie CLX 350:
Este torno tiene como característica algún elemento como es el husillo. El husillo es una pieza tubular que en uno de sus extremos tiene conectada una polea que recibe el

movimiento del motor, y en el otro extremo tiene conectado el plato. Este husillo garantiza la mejor precisión de rotación y un largo periodo de vida. Además, este torno se utiliza con buen rendimiento en piezas más pequeñas que las anteriores.



Ilustración 10 Torno DMG CLX 350

En Tabla 10 se pueden ver las características del torno DMG serie CLX 350.

Propiedades serie CLX 350		
Diámetro máximo torneable	250 mm	
Distancia entre cara del plato y punto	530 mm	
Cabezal	Velocidad angular máxima	5000 rpm
	El paso	30 mm
	Potencia máxima	16,5 kW
Torreta	Número de posiciones	12
	Velocidad angular máxima	5000 rpm
	Potencia máxima	5,5 kW

Tabla 10 Características del torno DMG serie CLX 350

7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A la hora de seleccionar las alternativas previamente planteadas, se evaluarán las características que nuestra pieza necesite. Cada característica se puntuará del 1 al 10 de la siguiente manera dependiendo de la proximidad que tengan a lo que se necesite:

1-2= Está muy lejos de lo que se busca.

3-4= Está lejos de lo que se busca.

5-6= Está cerca de lo que se busca, pero no es del todo adecuado.

7-8= Está cerca de lo que se busca

9-10= Es justo lo que se busca

7.1 Material

En cuanto al material, hay tres factores que se tendrán en cuenta:

1. Maquinabilidad: la maquinabilidad se puede definir como la facilidad que tiene el material para ser mecanizado. Es un factor importante, porque una mala maquinabilidad podría entorpecer el proceso.
2. Resistencia a la fatiga: nuestro eje estará girando en todo momento y tiene apoyado en un extremo un piñón motriz que con el tiempo desgastará nuestro eje. El desgaste podría llevar a la pieza a tener fallos y por eso es importante que el eje sea resistente a la fatiga. Además, los materiales resistentes a la fatiga suelen degradar la maquinabilidad por lo que habrá que llegar a un equilibrio entre la resistencia a la fatiga y a la maquinabilidad.
3. Precio: siendo prácticos nos interesa que el precio no sea muy elevado para que el proceso sea viable económicamente.

Todo esto se puede ver en Tabla 11

Material	Maquinabilidad	Resistencia a la fatiga	Precio	Valoración media
SAE 4140	7	9	8	8
SAE 4320	6	10	6	7,33
SAE 4340	6	9	5	6,66

Tabla 11 Tabla de evaluación del material

Por lo tanto, el material del eje será el acero aleado SAE 4140.

7.2 Máquina

En cuanto a la máquina lo que se tendrá en cuenta son la precisión, el número de atadas y el precio:

1. Medidas: nuestra pieza tiene unas medidas concretas, en este caso pequeñas, y la máquina tiene que ser capaz de realizar las operaciones de mecanizado necesarias a nuestra pieza.
2. Precisión: nuestra pieza debe tener los acabados superficiales y las tolerancias geométricas adecuadas para el correcto funcionamiento de la pieza y es por eso que interesa que el proceso sea preciso. Una mala precisión provocaría tolerancias geométricas y acabados superficiales no deseados.

3. Número de atadas: cuantos menos atadas se realicen durante el proceso menos tiempo durará mecanizar nuestra pieza. Interesa que el tiempo de mecanización sea mínima para que el coste sea también mínimo.
4. Precio: para que el proceso sea viable es necesario que el coste final no sea muy alto y en consecuencia es mejor que el precio de la máquina sea asequible.

Máquina	Medidas	Precisión	Número de atadas	Precio	Valoración media
Serie TA Z400	6	7	6	6	6,25
Serie TD Z800	5	6	6	6	5,75
Serie TX 66Y2	7	7	9	5	7
Serie CLX 350	8	8	8	7	7,75

Tabla 12 Tabla de evaluación de la máquina

Por lo tanto, la máquina seleccionada será de tipo DMG CLX 350 y es de tipo CNC, es decir, de control numérico. Mediante el control numérico podemos controlar automáticamente los movimientos. Utilizamos el torno CNC porque necesitamos que la pieza tenga una buena precisión.



Ilustración 11 Torno DMG CLX 350

Las características más relevantes de nuestra máquina se pueden apreciar en Tabla 13.

Características		
Modelo	DMG CLX 350	
Número de ejes	3	
Recorrido de los ejes	X	250 mm
	Y	± 40 mm
	Z	580 mm
Cabezal	Velocidad angular máxima	5000 rpm
	Par	168 Nm
	Potencia	16,5 kW
Torreta	Velocidad angular máxima	5500 rpm
	Par	20 Nm
	Potencia	5,5 kW
Cono de herramienta	Cuadrado de 25x25 mm	
Número de posiciones	12	
Peso de la máquina	4200 kg	

Tabla 13 Características del torno DMG CLX 350

Nuestra pieza tiene que ser amarrada de alguna manera. Los tipos más utilizados en la sujeción de la pieza por plato en los tornos son los siguientes:

1. Plato universal: dispone de tres garras y es autocentrante.
2. Plato de garras independientes: cada garra se ajusta de forma independiente a la forma de la pieza.
3. Plato plano: en este caso se utilizan tornillos y bridas para agarrar la pieza.

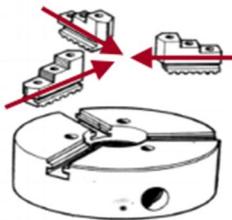


Ilustración 12 Plato de garras autocentrantes

En nuestro caso elegiremos el amarre de la pieza por el plato universal por el hecho de que son los más utilizados en los tornos. En Ilustración 12 hay un ejemplo del plato de garras autocentrante.

En nuestro caso las operaciones que se realizan en la pieza son los siguientes:

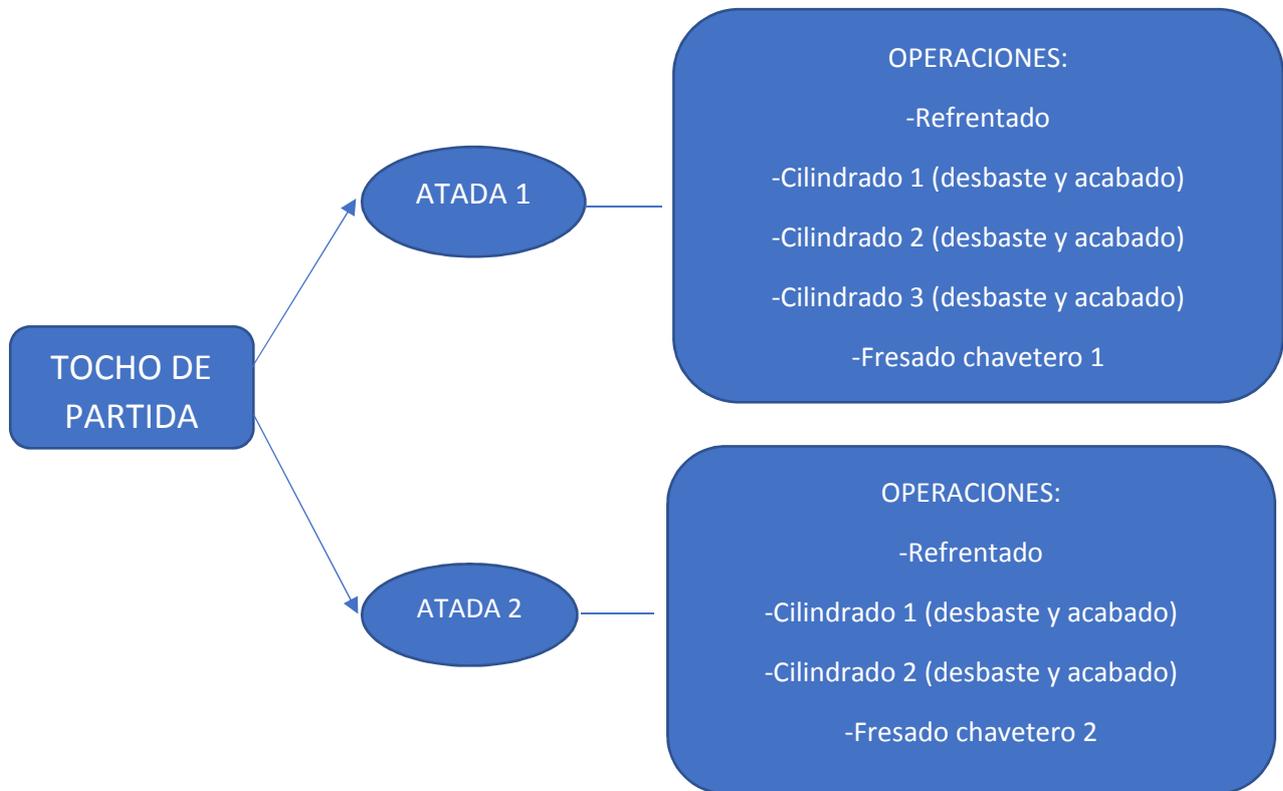


Ilustración 14 Esquema de operaciones de mecanizado

Nuestra pieza por tanto recibirá básicamente dos operaciones: el torneado, que estará dividido en el refrentado y en el cilindrado, y el fresado. A continuación, se explicará la metodología seguida para ambas operaciones.

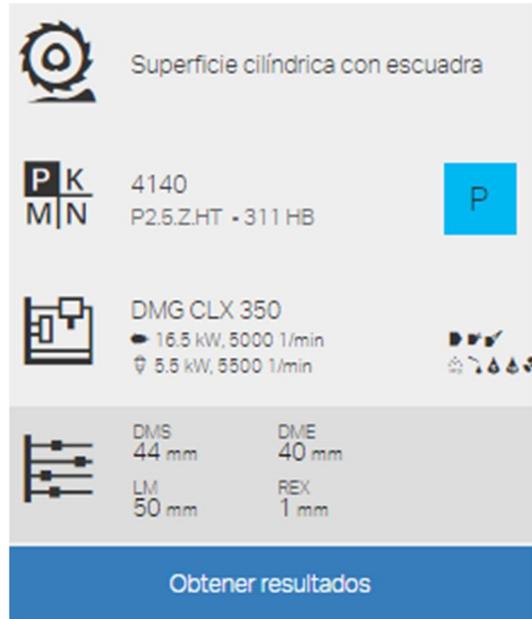
8.1 Torneado

Para saber cuáles serán los parámetros de corte del torneado tenemos dos opciones: utilizar la información que nos proporciona la página Sandvik Coromant mediante el catálogo on-line [6] o calcularlo utilizando la información del catálogo físico [7].

CATÁLOGO ON-LINE

Sandvik Coromant es una empresa sueca que se encarga de mecanizar las piezas. En su página de Internet existe la oportunidad de utilizar un catálogo on-line en el que se introducen las medidas principales y acabados superficiales necesarios de cada operación y la página te proporcionará directamente todos los parámetros de corte. Por lo tanto, si utilizamos esta vía, no tendremos que hacer ningún cálculo.

Al tratarse de un torneado, tendremos que seleccionar la opción "simétrico rotativo". Los parámetros que hay que meter son los que aparecen en Ilustración 15.



Superficie cilíndrica con escuadra

P **K** 4140 **P**
M **N** P2.5.Z.HT - 311 HB

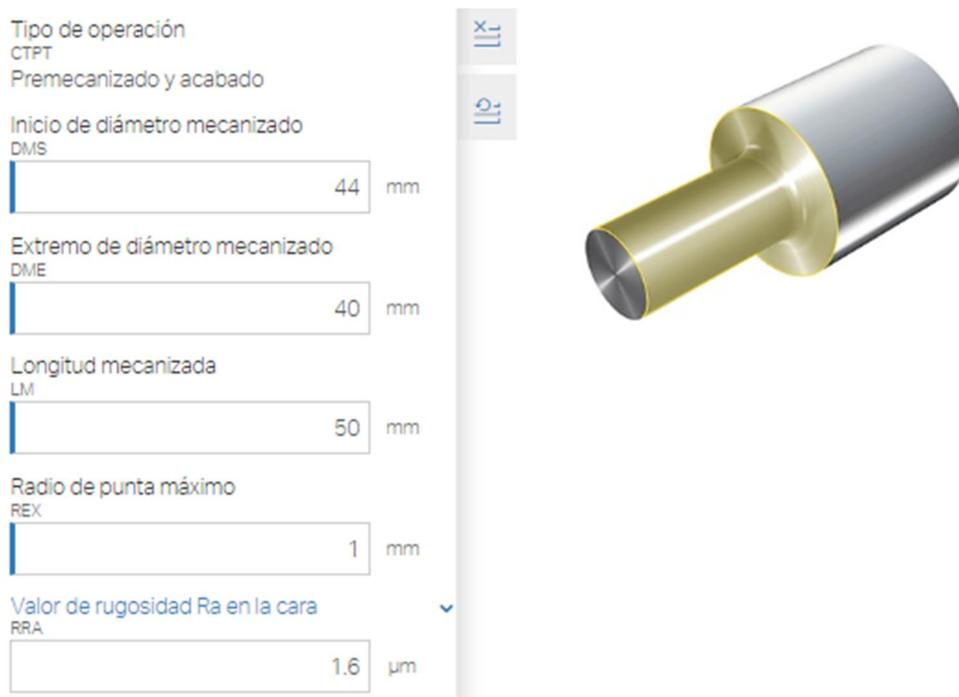
DMG CLX 350
16.5 kW, 5000 1/min
5.5 kW, 5500 1/min

DMS	44 mm	DME	40 mm
LM	50 mm	REX	1 mm

Obtener resultados

Ilustración 15 Los 4 parámetros a meter

1. El tipo de operación que quieras realizar en el torneado, como pueden ser el cilindrado o refrentado.
2. El material de la pieza. En nuestro caso el material de nuestra pieza es el acero aleado pero además tenemos que especificar concretamente qué tipo de aleación será dentro del acero aleado. El nuestro es el SAE 4140.
3. La máquina con la que mecanizaremos la pieza. En nuestro caso la máquina se ha escogido anteriormente y es el DMG CLX 35. También se indica el tipo de amarre de herramientas que tiene la máquina y el tipo de refrigerante.
4. Las medidas exactas de nuestra operación. Se puede apreciar mejor en Ilustración 16.



Tipo de operación
CTPT
Premecanizado y acabado

Inicio de diámetro mecanizado
DMS
44 mm

Extremo de diámetro mecanizado
DME
40 mm

Longitud mecanizada
LM
50 mm

Radio de punta máximo
REX
1 mm

Valor de rugosidad Ra en la cara
RRA
1.6 μm



Ilustración 16 Las medidas que hay que meter en la página de Sandvik

Después de meter los parámetros solo hay que darle al botón de “Obtener resultados” que aparece en Ilustración 15. Entonces nos aparecerán por una parte las herramientas necesarias para llevar a cabo la operación y por otra parte los parámetros de corte.

VC [m/min] VELOCIDAD DE CORTE	FN [mm] AVANCE POR VUELTA	NOPAP NÚMERO DE PASADAS EN...
1 169	0.35	1
<hr/>		
DMS [mm] INICIO DE DIÁMETRO MECANIZADO	DME [mm] EXTREMO DE DIÁMETRO...	AP [mm] PROFUNDIDAD DE CORTE
1 44	40	2
<hr/>		
RPMX [1/min] VELOCIDAD DE GIRO MÁXIMA	PPCX [kW] POTENCIA DE CORTE MÁXIMA	MMCX [Nm] PAR DE CORTE MÁXIMO
1 1340	4.69	33.3
TCCT [s] TIEMPO DE CORTE TOTAL	TNCT [s] TIEMPO SIN CORTE TOTAL	TMF [s] TIEMPO DE MECANIZADO
6,36	0,146	6,54

Ilustración 17 Los parámetros de corte que nos aparece

Si por cualquier razón no nos convence las herramientas elegidas por la página Sandvik, también existe la opción de cambiarlas por las que nos interesa dándole al botón de “Mostrar alternativas”. Allí aparecerán todas las alternativas en cuanto a las herramientas y podremos seleccionar la que más se ajuste a nuestras necesidades. En Ilustración 18 se pueden ver algunas alternativas que nos ofrece la página de Sandvik.

CÓDIGO DE PEDIDO	COST	TMF		
 DCLNR 1616H 12 Herramienta CNMG 12 04 08-PR 4325 Plaquita	100 %	6,54		
 DCLNR 2020K 12 Herramienta CNMG 12 04 08-PR 4325 Plaquita	100 %	6,54		
 DCLNR 2525M 12 Herramienta CNMG 12 04 08-PR 4325 Plaquita	100 %	6,54		
 DCLNR 3225P 12 Herramienta CNMG 12 04 08-PR 4325 Plaquita	100 %	6,54		
 DCLNR 3232P 12 Herramienta CNMG 12 04 08-PR 4325 Plaquita	100 %	6,54		
 DCLNR 4040S 12 Herramienta CNMG 12 04 08-PR 4325 Plaquita	100 %	6,54		

Ilustración 18 Alternativas de las herramientas

CATALOGO FÍSICO

Este método es más largo, pero también válido. En la página de Sandvik Coromant también tenemos a nuestra disposición el catálogo físico. A continuación, se explicarán los pasos que hay que dar para seleccionar la herramienta de corte y los parámetros de corte utilizando el catálogo físico.

- Selección de la plaquita de corte:

Lo primero de todo, hay que tener en cuenta cuál va a ser el material a mecanizar. En nuestro caso el material de la pieza será un acero aleado, en concreto el SAE 4140. La plaquita de corte está compuesta por el metal duro, pero dependiendo del material de pieza que se mecaniza, puede ser de un tipo u otro. La plaquita de corte se clasifica en hasta 6 tipos siguiendo las normas ISO 513:2004 tal y como se puede ver en Tabla 14:

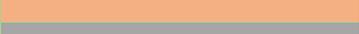
MATERIAL A MECANIZAR	LETRA	COLOR
Acero	P	
Acero inoxidable	M	
Fundición	K	
Aluminio	N	
Aleaciones de Titanio y Níquel	S	
Materiales templados	H	

Tabla 14 Materiales clasificados según el código ISO 513:2004

Esta clasificación no termina aquí ya que en cada material se vuelve a clasificar según su dureza y tenacidad. Esta nueva clasificación es numérica y cuanto mayor es el número, mayor será la tenacidad y menor la dureza.

Como nuestro material es el acero aleado (SAE 4140) nuestra letra será la P y de color azul.

También hay que tener en cuenta si en el torneado estamos haciendo una operación de desbaste o un acabado. Esto tiene una gran importancia a la hora de elegir las medidas exactas para la plaquita de corte. En el desbaste nuestro objetivo es quitar la mayor cantidad de material de la pieza posible mientras que en el acabado nos centraremos en que la calidad de la superficie sea buena.

Como nuestro material a mecanizar es un acero, habrá que tener en cuenta cuales son las recomendaciones del fabricante para nuestro material. También hay que consultar la calidad de metal duro que se recomienda para la plaquita y comprobar que en nuestro caso la plaquita sea válida.

Las plaquitas están definidas mediante un código ISO que está compuesto por nueve símbolos en los que, por ejemplo, en el caso de la plaquita CNMG 160608 PR 4325 tiene un significado que se explicará a continuación:

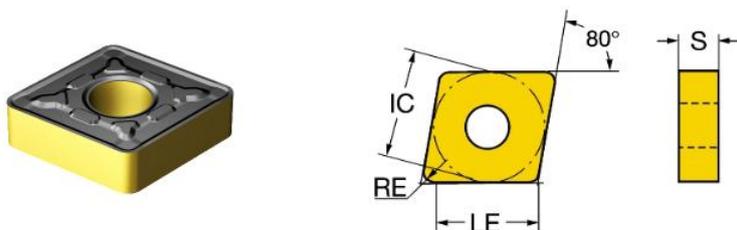


Ilustración 19 Plaquita CNMG 160608 PR 4325

1	2	3	4	5	6	7	8	9
C	N	M	G	16	06	08	PR	4325

Tabla 15 Numeración de la plaqueta

1. La primera letra es la C. Esta letra define la forma geométrica de la plaqueta. En nuestro caso tiene forma rómbica y el ángulo de rombo es de 80 °.
2. La segunda letra hace referencia al ángulo de incidencia de la plaqueta. Es el ángulo que por el cual la paqueta logrará arrancar la viruta. Junto con los ángulos de filo y de ataque, conforman el punto por el cual la plaqueta consigue disminuir la fricción contra el material. En nuestro caso el ángulo de incidencia es 0, y es por eso que utilizamos la letra N.
3. La tercera letra se refiere a las tolerancias dimensionales que se dan en el círculo inscrito IC y en el espesor de la plaqueta S. En nuestro caso, la letra M implica que la tolerancia en IC será de $\pm 0,05-0,15$ mm y la tolerancia en S será de $\pm 0,13$ mm.
4. La cuarta letra indica algunas características no especificadas anteriormente. La letra G implica que se trata de una plaqueta con un agujero cilíndrico.
5. El primer par de números define la medida de la plaqueta en la dirección IC. Como en nuestro caso el primer par de números es 16, esto significa que la IC mide 15,875 mm.
6. El segundo par de números está relacionado con el grosor de la plaqueta. El número 06 implica que la medida en la dirección S es de 6,35 mm.

7. Con el último par de números se refiere al radio de la punta. El número 08 significa que el radio de la punta es de 0,8 mm.
8. La doble letra PR significa que el proceso se hace mediante el desbaste.
9. Por último, el número 4325 se refiere a un tipo de metal duro capaz de mecanizar nuestro acero aleado SAE 4140.

- Selección de portaplaquitas:

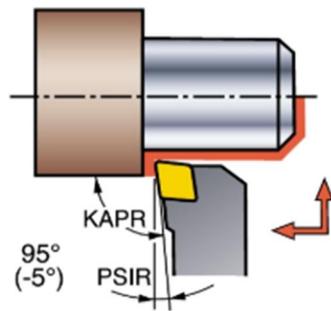


Ilustración 21 Refrentado y cilindrado del portaplaquitas



Ilustración 20 Portaplaquitas de tipo DCLNR 2525M16

A la hora de seleccionar el portaplaquita es necesario tener en cuenta la operación a realizar y la geometría de pieza a obtener. El ángulo α delimita cómo será la forma de la superficie en la cara y por tanto si queremos que el ángulo entre la cara de un cilindro y el otro cilindro sea recto el ángulo de filo tendrá que ser de 90° o mayor. Es decir, si necesitamos que el ángulo $\alpha = 90^\circ$, el ángulo de filo K_r tendrá que ser mínimo 90° .

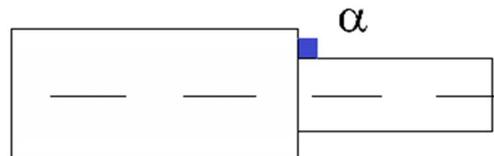


Ilustración 22 El ángulo α

Por ejemplo, en el caso del portaplaquita DCLNR 2525M16 el ángulo de filo (K_r) será de 95° . En la Ilustración 21 e Ilustración 20 se puede ver la forma de este portaplaquita y en Ilustración 23 y Tabla 16 se pueden apreciar las medidas de este portaplaquita.

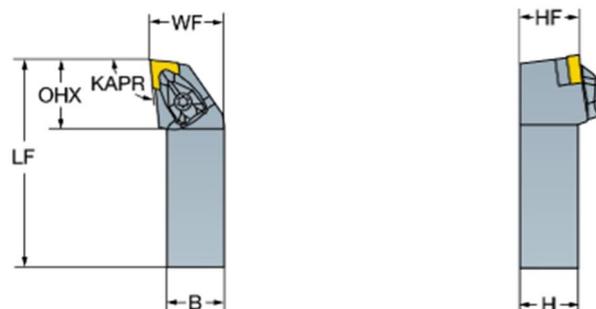


Ilustración 23 Medidas del portaplaquita DCLNR 2525M16

Cota	Dimensión
KAPR	95°
OHX	39 mm
WF	32 mm
LF	150 mm
B	25 mm
HF	25 mm
H	25 mm

Tabla 16 Medidas del portaplaquitas

Por ejemplo, en el caso del portaplaquitas DCLNR 2525M16 cada letra y número tienen un significado que se explicará a continuación:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	C	L	N	R	25	25	M	16

Tabla 17 Numeración del portaplaquitas

1. La primera letra tiene que ver con el sistema de amarre del portaplaquitas. Nuestra letra es la D, éste es un nuevo tipo de fijación, en concreto será de sujeción por cara superior y por el agujero.
2. La segunda letra hace referencia a la plaquita y como en nuestro caso la plaquita es rómbica y tiene 80° la letra asignada será la C.
3. La tercera letra depende del ángulo de filo kr. Al ser $kr=95^\circ$ la tercera letra será la L.
4. La cuarta letra indica el ángulo de incidencia de la plaquita. Este ángulo en nuestro caso es 0°, por lo tanto, la letra será la N.
5. La quinta letra hace referencia al sentido del portaplaquitas. Al ser la letra R, el portaplaquitas irá a la derecha a la hora del desbaste.
6. Con el primer par de números se quiere decir cuál es la altura del mango. Al ser el número 25, la altura del mango será de 25 mm.
7. El segundo par de números en cambio, indican la anchura del mango y en nuestro caso la anchura será de 25 mm.
8. La letra que va después del segundo par de números define la longitud de la herramienta. En nuestro caso la letra es M por lo que la longitud del portaplaquitas será de 150 mm.
9. El último par de números depende del valor de IC de la plaquita. Al ser 16 este último par de números, el valor de la IC será de 15,875 mm.

- Elección de la profundidad de pasada (a_p) y del avance (f):

El primer paso es mirar cuales son las recomendaciones del fabricante de herramientas, ya que en el catálogo físico de Sandvik Coromant nos indican en qué rango deben estar la profundidad de pasada y el avance. Estos dos parámetros dependen de la geometría de la plaquita. En el caso de la plaquita CNMG 160608 PR4325, su geometría lleva a que las recomendaciones en cuanto a profundidad de pasada y avance sean las siguientes:

Plaquita	Profundidad de pasada (a_p)			Avance (f)		
	Min	Max	Recomendado	Min	Max	Recomendado
CNMG 160608 PR 4325	0,7 mm	8 mm	5 mm	0,2 mm/rev	0,5 mm/rev	0,35 mm/rev

Tabla 18 Recomendaciones del fabricante en la profundidad de pasada y avance para la plaquita CNMG160608 PR4325

Estos dos parámetros dependen mucho de si la operación que se realiza es un desbaste o un acabado. Si nos encontramos ante un desbaste, intentaremos que la profundidad de pasada sea máxima para que el número de pasadas sea mínimo. Además, en el desbaste el acabado superficial no importa por lo que se elige el avance máximo para que el tiempo de mecanizado sea mínima.

Si nos encontramos en cambio ante un acabado, utilizaremos bajas profundidades de pasada. Como queremos un acabado superficial bueno, no nos interesa que el avance sea grande por lo que elegiremos uno que esté cerca del mínimo.

- Restricción del acabado superficial

Esta restricción es sólo para aquellas operaciones donde queremos un acabado superficial específico en alguna zona de la pieza, es decir, cuando estamos ante una operación de desbaste no se necesita hacer la comprobación del acabado superficial.

Las operaciones donde la pieza necesite acabados superficiales específicas utilizaremos la siguiente formula:

$$f_{max} = \sqrt{32 \times r\epsilon \times Ra}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{max} = \text{Avance máximo (mm/rev)} \\ r\epsilon = \text{Radio de punta (mm)} \\ Ra = \text{Rugosidad (\mu m)} \end{array} \right.$$

La restricción será mirar si el avance que se ha elegido observando las recomendaciones del fabricante es menor que el avance máximo. Es decir, hay que comprobar que $f < f_{max}$ y si se cumple esto no hay ningún problema. Pero si estamos ante esta situación, $f > f_{max}$, nuestro avance será f_{max} . Esto es, se cumplirá lo siguiente, $f = f_{max}$. El avance nunca podrá llegar a ser mayor que el avance máximo porque en ese caso el acabado superficial de la zona será peor que la que necesitamos para la pieza.

- Cálculo de la velocidad de corte:

En este caso también se van a seguir las recomendaciones del fabricante. El dato de la velocidad de corte depende del material que será mecanizado, del material de herramienta y del espesor de viruta utilizados. En los casos que α esté entre 90° y 95° el espesor de viruta se considera que es igual al avance, es decir, $f = ac$. Además, puede pasar que el avance de tu operación no coincida con los números que aparecen en la Tabla 19, por eso habrá que interpolar para conseguir nuestra velocidad de corte.

Material	Energía específica de corte ρ (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 19 Recomendaciones de fabricante en cuanto a la velocidad de corte para el material SAE 4140

- Comprobación de velocidad de giro máxima y potencia máxima:

Cada operación tiene unos límites en cuanto a la velocidad de giro máxima y potencia máxima impuestos por la máquina. Por eso, habrá que calcular primero la velocidad de giro y potencia en cada operación y comprobar que no superan los límites de la máquina.

Empezaremos a calcular la velocidad de giro, para ello utilizaremos la siguiente fórmula:

$$N = \frac{1000 \times Vc}{\pi \times D}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \text{Velocidad de giro (rpm)} \\ Vc = \text{Velocidad de corte (m/min)} \\ D = \text{Diámetro} \end{array} \right.$$

En cuanto se ha hecho el cálculo de la velocidad de giro habrá que comprobar que no supere la velocidad de giro máxima, es decir, hay que comprobar que $N < N_{\max}$.

Una vez que hemos comprobado que la velocidad de giro de la operación está dentro de los límites, calcularemos la potencia mediante la siguiente fórmula:

$$Pc = \frac{\rho_s \times f \times a_p \times Vc}{60}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Pc = \text{Potencia de corte (W)} \\ \rho_s = \text{Energía específica de corte (N/mm}^2\text{)} \\ f = \text{Avance (mm/rev)} \\ a_p = \text{Profundidad de pasada (mm)} \\ Vc = \text{Velocidad de corte (m/min)} \end{array} \right.$$

Una vez que hemos calculado la potencia de corte, tenemos que comprobar que el valor calculado no supere la potencia máxima de la máquina, es decir, tenemos que mirar si $Pc < Pc_{\max}$.

- Cálculo del tiempo de mecanizado

El tiempo mecanizado de cada operación se calculará mediante las siguientes fórmulas:

$$V_f = f \times N$$

$$t_{mec} = \frac{L_{mec} + \Delta}{V_f}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{mec} = \text{tiempo de mecanizado (min)} \\ L_{mec} = \text{Longitud de mecanizado (mm)} \\ \Delta = \text{Distancia de aproximación (mm)} \\ V_f = \text{Velocidad de avance (mm/min)} \end{array} \right.$$

En cambio, si estamos ante un refrentado el método para calcular el tiempo de mecanizado será distinto. La velocidad de giro es inversamente proporcional al diámetro y por eso cuanto más pequeño sea el diámetro más grande será la velocidad de giro. Pero nuestra velocidad de giro tiene un máximo y en nuestro caso el límite será de 5000 rpm. Consecuentemente calcularemos el tiempo de mecanizado en dos pasos:

1. El primer tiempo de mecanizado calculado es el tiempo que necesita para mecanizar desde la distancia de acercamiento hasta el diámetro D_o . Desde la distancia de acercamiento hasta el diámetro D_o la velocidad de giro será variable e irá aumentando poco a poco, pero llegará un momento donde la velocidad de giro sea máxima y ya no pueda aumentar más. Ese diámetro límite es el diámetro D_o .

$$D_o = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times N_{max}}$$

$$t_{mec1} = - \int_{D/2+\Delta}^{D_o/2} \frac{1}{f \times N} \times dR = - \int_{D/2+\Delta}^{D_o/2} \frac{2 \times \pi \times R}{f \times 1000 \times V_c} \times dR$$

2. El segundo tiempo de mecanizado es el tiempo que necesita para mecanizar desde el diámetro límite D_o hasta el centro de la pieza. En este segundo paso en cambio la velocidad de giro será constante y además será la máxima. Por eso, lo calcularemos mediante la siguiente formula:

$$t_{mec2} = \frac{D_o/2}{f \times N_{max}}$$

Finalmente, el tiempo de mecanizado total será la suma de las dos anteriores:

$$t_{mec} = t_{mec1} + t_{mec2}$$

8.2 Fresado

En el caso del fresado también existen las dos opciones que se han seguido en el torneado: conseguir los parámetros de corte directamente mediante el catálogo on-line de o utilizar los catálogos físicos y hacer los cálculos necesarios.

CATÁLOGO ON-LINE

En este caso, habrá que seguir los mismos pasos que se han explicado en el torneado con un par de matices. El primer matiz es que al tratarse de un fresado en el catálogo on-line tendremos que meternos en la opción de no rotativo que se puede ver en Ilustración 24. En cambio, los cuatro parámetros que hay que meter son los mismos que en el torneado y se pueden apreciar en Ilustración 25.

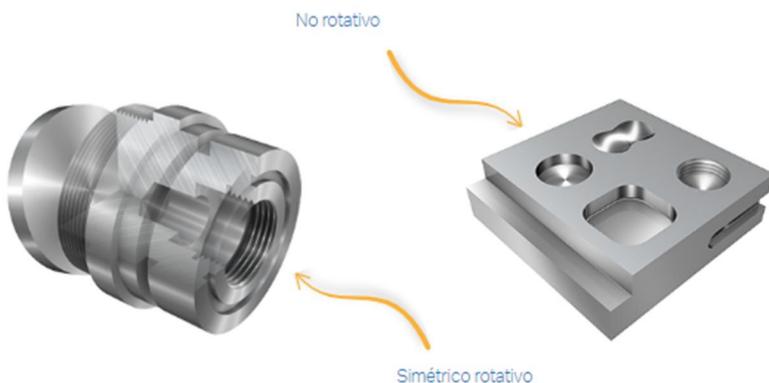


Ilustración 24 Para el fresado existe la opción no rotativa



	Cavidad rectangular en material enterizo	
	PK 4140 P2.5.Z.HT - 311 HB	<input type="text" value="P"/>
	DMG CLX 350 16.5 kW, 5000 1/min 5.5 kW, 5500 1/min	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
	DEPTHMF 20 mm LENGTH 100 mm	WIDTH 50 mm RADIUS 5 mm
<input type="button" value="Obtener resultados"/>		

Ilustración 25 Parámetros a meter

El segundo matiz es que las medidas también cambian respecto al torneado. Las medidas que hay que meter son las que se pueden ver en Ilustración 26.

Tipo de operación CTPT		
Premecanizado		
Característica de profundidad de mecanizado DEPTHMF	3 mm	
Parámetro general de anchura WIDTH	6 mm	
Parámetro general de longitud LENGTH	30 mm	
Parámetro general de radio RADIUS	3 mm	

Ilustración 26 Datos a meter en el fresado

En el fresado también nos aparecerán los datos de corte de la operación.

VC [m/min] VELOCIDAD DE CORTE	FZ [mm] AVANCE POR DIENTE	N [1/min] VELOCIDAD DEL HUSILLO
104	0.0296	5500
104	0.0369	5500
VFM [mm/min] VELOCIDAD DE AVANCE ENL.	AE [mm] EMPAÑE DE TRABAJO	AP [mm] PROFUNDIDAD DE CORTE
650	6	1.5
813	6	3
NOPAP NUMERO DE PASADAS ENL.	QQ [cm ³ /min] VELOCIDAD DE ELIMINACIÓN DE..	PPC [kW] POTENCIA DE CORTE
2	-	-
1	14.6	0.706
RMP [°] ÁNGULO EFECTIVO DE RAMPA		
6.65		
-		

Ilustración 27 Datos de corte en el fresado

CATALOGO FÍSICO

El segundo método es utilizar el catálogo físico de Sandvik Coromant y hacer los cálculos necesarios para conseguir los parámetros de corte. Estos son los pasos a seguir:

- Selección de la fresa:

Se selecciona la fresa más adecuada para realizar nuestra operación. Tenemos que tener en cuenta que en nuestro caso para realizar las chavetas es necesario que la fresa penetre en el material. Para ello nos tenemos que asegurar que el filo secundario vaya al centro.

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

En este caso hay que mirar cuales son las recomendaciones del fabricante, ya que en el catálogo de Sandvik Coromant nos indican en qué rango deben estar la velocidad de corte y el avance por diente. También nos da información sobre la profundidad de pasada máxima que puede llegar a tener la fresa. En el caso de la fresa 2P342-0600-PA 1730 las recomendaciones son las siguientes:

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

Tabla 20 Recomendaciones en la fresa 2P342-0600-PA 1730

- Comprobación de velocidad de giro máxima y potencia máxima:

Hay que comprobar que la potencia y la velocidad de giro no superan los límites establecidos

La fórmula de la velocidad de giro es la siguiente:

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} N = \text{Velocidad de giro (rpm)} \\ V_c = \text{Velocidad de corte (m/min)} \\ D = \text{Diámetro} \end{array} \right.$$

Hay que comprobar es si $N < N_{\max}$.

Para calcular la potencia en el fresado se utilizará la siguiente fórmula:

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

$$\left. \begin{array}{l}
 P_c = \text{Potencia de corte (W)} \\
 \rho_s = \text{Energía específica de corte (N/mm}^2\text{)} \\
 V_f = \text{Velocidad de avance (mm/min)} \\
 a_e = \text{Profundidad de pasada radial (mm)} \\
 a_p = \text{Profundidad de pasada (mm)}
 \end{array} \right\}$$

Finalmente, hay que comprobar que $P_c < P_{c \text{ max}}$

- Cálculo del tiempo de mecanizado

$$V_f = f_z \times z \times N$$

$$t_{\text{mec}} = \frac{L_{\text{mec}} - D}{V_f}$$

8.3 Operaciones de mecanizado: definición de herramientas y condiciones de corte

En este apartado se describe el procedimiento seguido para la obtención de la herramienta y condiciones de corte para la realización de la hoja de procesos. Para ello se han seleccionado las operaciones más representativas a realizar en la pieza. En todos los casos se ha obtenido la plaquita, portaherramientas y condiciones de corte con el catálogo on-line y se han comparado con los cálculos realizados con el catálogo físico. Las operaciones que se han utilizado como ejemplo son las siguientes:

1. Refrentado
2. Cilindrado
3. Fresado

También hay que mencionar que la potencia máxima y velocidad de giro máxima para el cabezal y la torreta de nuestra máquina son los siguientes:

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

Tabla 21 Las potencias y velocidades de giro máximas para el cabezal y torreta

Refrutado:

En el primer paso se someterá al proceso de refrentado por la parte derecha de la pieza. 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 $R_a=1,6 \mu\text{m}$. Estos son los parámetros de corte que nos proporciona directamente la página de Sandvik sin hacer ningún cálculo.

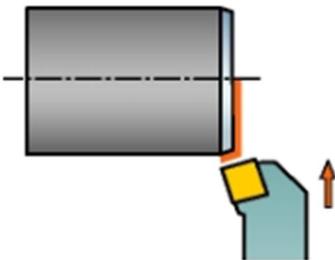
Herramienta	Parámetros de corte	
 Portaplaquita: DSKNR 2525M12 Plaquita: SNMG 120416-PM 4325	D	35 mm
	Kr	95°
	a_p	1,5 mm
	V_c	180 m/min
	f	0,292 mm/rev
	N	5000 rpm
	P	3,72 kW
	T	21,6 Nm
	t_{meca}	1,3 s

Tabla 22 Parámetros de corte refrentado atada 1

Ahora se calculará mediante el catálogo físico y finalmente se compararán los resultados.

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 23 Recomendaciones en la profundidad de pasada y avance en la plaquita SNMG 120416 PM4325

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 V_c (m/min)
SAE 4140	2050	350	240-170-125

Tabla 24 Recomendación en cuanto a la velocidad de corte para el material SAE 4140

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

1. Elección de a_p y f:

$$a_p = 1,5 \text{ mm} \quad f = 0,41 \text{ mm/rev}$$

2. Restricción del acabado superficial:

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

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

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

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:

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

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

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

Si comparamos los resultados podemos afirmar que en la mayoría de los parámetros de corte los resultados son casi idénticos. La única diferencia importante se da en la potencia y es de 1kW. Esto puede haber sido por la energía específica de corte, ya que en los cálculos se ha utilizado $\rho_s = 2050 \text{ N/mm}^2$ directamente, pero en la página de Sandvik no ha sido así. La página de Sandvik ha utilizado la siguiente fórmula para calcular la energía específica de corte:

$$\rho_s = kc1 \times \left(\frac{1}{hm} \right)^{-mc}$$

$$\left. \begin{aligned} kc1 &= 2050 \text{ N/mm}^2 \\ hm &= \text{espesor medio de viruta (mm)} \\ mc &= 0,25 \end{aligned} \right\}$$

el espesor de viruta tiene su propia fórmula:

$$hm = f \times \sin(kr)$$

Esto puede haber sido una razón para que el resultado en la potencia sea distinto.

Cilindrado:

Cilindrado 1:

En el primer paso se consigue reducir el diámetro de 35 mm a 30 mm en una longitud de 270 mm. Estos son los parámetros de corte que nos proporciona directamente la página de Sandvik sin hacer ningún cálculo.

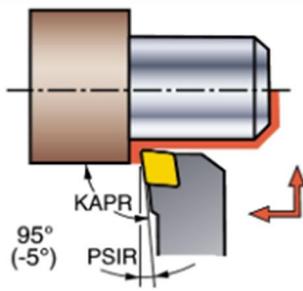
Herramienta	Parámetros de corte	
 Portaplaquita: DCLNR 2525M12 Plaquita: CNMG 120408-PR 4325	D _{inicial}	35 mm
	D _{final}	30 mm
	L	270 mm
	Kr	95°
	a _p	2,5 mm
	V _c	169 m/min
	f	0,35 mm/rev
	N	1790 rpm
	P	5,78 kW
	T	30,8 Nm
	t _{meca}	26,4 s

Tabla 25 Parámetros de corte desbaste cilindrado 1 atada 1

En cambio, si utilizamos el catálogo físico los resultados que se consiguen serán los siguientes:

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 26 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 se puede apreciar en Tabla 24:

Cilindrado 1 :

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

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:

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

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

Después de conseguir los datos de corte de las dos maneras podemos afirmar que aunque los números no sean exactos, no hay mucha diferencia. También hay que mencionar que cuando hemos hecho los cálculos hemos supuesto que para los cálculos, la distancia de acercamiento sea de 5 mm, es decir, $\Delta = 5 \text{ mm}$. En cambio, no sabemos cuál ha sido la distancia de acercamiento que ha considerado la página de Sandvik. Esto puede haber sido una razón para que el tiempo de mecanizado no haya sido completamente la misma.

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 27.

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 27 Parámetros de corte del chavetero en la atada 1

En cambio, si utilizamos el catálogo físico 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 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 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)	f_z recomendado (mm/diente)	Profundidad de pasada (mm)	de máxima
SAE 4140	350	100	0,03	7,5	

Tabla 28 Recomendaciones de avance, velocidad de corte y profundidad de pasada en la fresa

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

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

- Comprobación de potencia máxima y velocidad de giro máxima:

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

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

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

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

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

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

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

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

3. Cálculo del tiempo mecanizado

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

En el caso del fresado se puede ver que en líneas generales los parámetros de corte conseguidos mediante el catálogo on-line y el catálogo físico son parecidos. En cambio, sí que hay un parámetro de corte específico que resalta por encima de los demás por la diferencia que hay. Se puede apreciar que el tiempo de mecanizado conseguido por ambos métodos es distinto. El catálogo on-line nos indica que el tiempo de mecanizado es de 5,33s mientras que mediante los cálculos el tiempo de mecanizado conseguido es de 2,26s. Esto se debe a que el catálogo on-line tiene en cuenta el tiempo de penetración que necesita la fresa hasta que empieza a fresar mientras que nosotros no hemos tenido en cuenta ese tiempo en los cálculos. Por eso, es razonable que el tiempo de mecanizado conseguido por el catálogo on-line sea más grande que el que hemos conseguido mediante los cálculos.

9. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO. DIAGRAMA DE GANTT

Mediante el diagrama de Gantt se expone de una manera visual cómo se ha llevado a cabo la realización del proyecto. Para ello se definen las tareas realizadas, la fecha de inicio, los días que han sido necesarios para realizar cada tarea y la fecha final.

Las tareas llevadas a cabo durante el proyecto se pueden definir de la siguiente manera:

- Tarea 1: Revisión bibliográfica. Recopilación de información sobre la pieza y procesos de mecanizado para la definición de la pieza objeto de estudio.
- Tarea 2: Selección del material. Se han estudiado las propiedades necesarias, se han analizado los posibles materiales y finalmente se ha seleccionado el más adecuado.
- Tarea 3: Selección de la máquina. Se ha estudiado el tipo de máquina necesario, se han analizado las posibles máquinas y se ha seleccionado el más adecuado.
- Tarea 4: Metodología. Se ha explicado la hoja de procesos y se han definido los pasos a seguir para conseguir los parámetros de corte tanto para el torneado como para el fresado.
- Tarea 5: Operaciones de mecanizado. Se han comparado los resultados conseguidos mediante la página y el catálogo de Sandvik para las operaciones más importantes.
- Tarea 6: Anexos. Se han comparado los resultados conseguidos mediante la página y el catálogo de Sandvik para todas las. También se han realizado la hoja de procesos y la pieza en Solid Edge

ACTIVIDADES	INICIO	DURACIÓN (días)	FIN
Inicio del proyecto	14/03/2019	4	18/03/2019
Selección del material	21/03/2019	11	31/03/2019
Estudio de las propiedades necesarias	21/03/2019	3	23/03/2019
Análisis de los materiales posibles	24/03/2019	4	27/03/2019
Selección del material más adecuado	28/03/2019	4	31/03/2019
Selección de la máquina	03/04/2019	10	13/04/2019
Estudio de tipo de máquina necesario	03/04/2019	3	05/04/2019
Análisis de las posibles máquinas	06/04/2019	5	10/04/2019
Selección de la máquina más adecuada	11/04/2019	3	13/04/2019
Metodología	16/04/2019	32	17/05/2019
Explicación de la hoja de procesos	16/04/2019	5	20/04/2019
Pasos a seguir en el torneado tanto por la página como por el catálogo	21/04/2019	14	04/05/2019
Pasos a seguir en el fresado tanto por la página como por el catálogo	05/05/2019	13	17/05/2019
Operaciones de mecanizado	20/05/2019	22	10/06/2019
Comparación de resultados en el refrentado	20/05/2019	6	25/05/2019
Comparación de resultados en el cilindrado	26/05/2019	7	01/06/2019
Comparación de resultados en el fresado	02/06/2019	9	10/06/2019
Anexos	14/06/2019	27	10/07/2019
Parámetros de corte mediante página y catálogo en todos los procesos	14/06/2019	11	24/06/2019
Hoja de procesos	25/06/2019	7	01/07/2019

Ilustración 28 Fechas de inicio y fin del proyecto

En Ilustración 45 se puede ver mejor visualmente cómo se ha llevado a cabo nuestro trabajo.

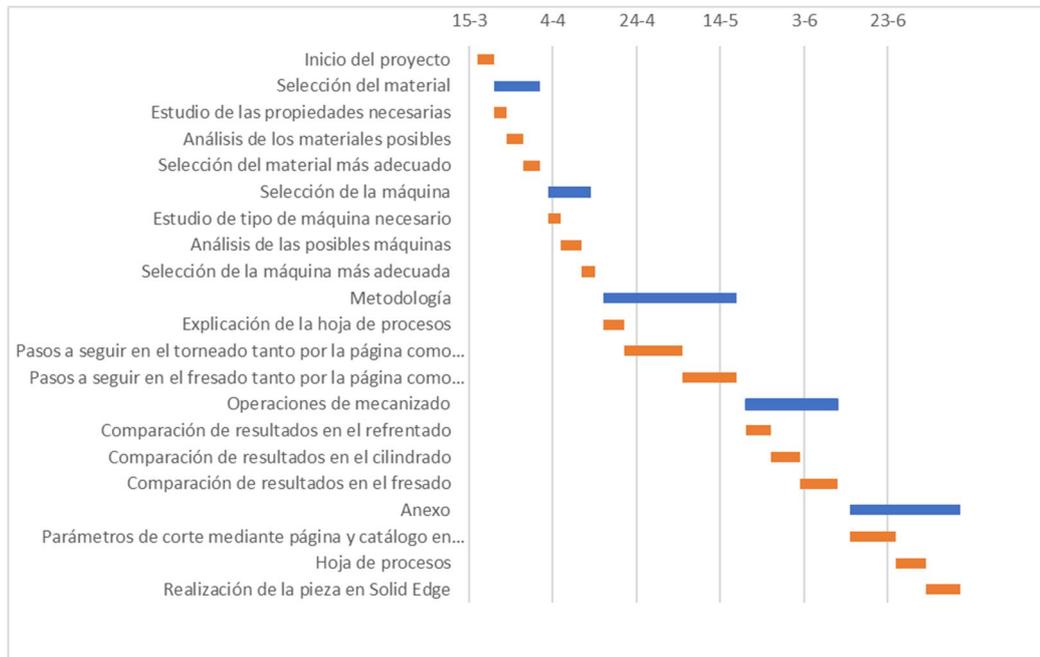


Ilustración 29 Diagrama de Gantt

III. Presupuesto

10. PRESUPUESTO

Para desarrollar nuestro proyecto se ha necesitado un presupuesto que se mostrará a continuación. Este presupuesto se divide en 3 grupos principales:

- Horas de trabajo
- Amortizaciones
- Gastos de oficina

Las horas de trabajo las dividiremos en dos dependiendo de quién es la persona que lo realiza, por lo que tendremos que dividir en ingeniero técnico y ingeniero superior como se puede ver en Tabla 29.

AUTOR	HORAS DE TRABAJO	€ / HORA TRABAJADA	TOTAL €
INGENIERO TÉCNICO	150	20	3000
INGENIERO SUPERIOR	20	30	600
TOTAL			3600

Tabla 29 Horas de trabajo

En cuanto a las amortizaciones se han tenido en cuenta el coste de las licencias y del ordenador. En cuanto a las licencias, el Microsoft Office 365 sí que ha generado un gasto. En cambio, no se ha tenido en cuenta el gasto del programa Solid Edge ya que el programa es totalmente gratuito si eres alumno. Microsoft Office 365 cuesta 80 € y su vida útil es de unas 1500 horas por lo que el coste será de 0,053 € / hora utilizada. En cuanto al ordenador, hemos supuesto que la vida de un ordenador portátil es de unas 4000 horas y que el precio de un ordenador portátil es de unos 700 € por lo que el coste por hora utilizada será de 0,175 € / hora utilizada.

AMORTIZACIONES	HORAS UTILIZADAS	€ / HORA UTILIZADA	TOTAL €
ORDENADOR	130	0,175	22,75
MICROSOFT OFFICE 365	100	0,053	5,3
TOTAL			28,05

Tabla 30 Amortizaciones

Por último, hay que definir cuáles han sido los gastos de oficina. En estos gastos incluimos todos los gastos en cuanto a las fotocopias necesarias que han se han impreso.

GASTOS	TOTAL €
GASTOS DE OFICINA	20

Tabla 31 Gastos de oficina

Finalmente se hará la suma de todos los gastos para obtener el gasto final teniendo en cuenta que el IVA será el 21%.

HORAS DE TRABAJO	3600 €
AMORTIZACIONES	28,05 €
GASTOS DE OFICINA	20 €
TOTAL SIN IVA	3648,05 €
TOTAL	4414,14 €

Tabla 32 Gastos finales

El gasto total será de 4414,14 €.

IV. Conclusiones

11. CONCLUSIONES

En este trabajo fin de grado se ha diseñado y desarrollado una hoja de procesos de mecanizado de un eje reductor de velocidad. Primero se ha hecho un estudio tanto del material como de la máquina que lleva a cabo las operaciones. Después se han conseguido los parámetros de corte de cada proceso y finalmente esta información se ha visto reflejada en la hoja de procesos.

Antes que nada, hay que mencionar que el análisis que se ha hecho del material de la pieza y de la máquina para realizar las operaciones de mecanizado ha sido correcto. Todas las operaciones de mecanizado que necesitaba la pieza se han llevado a cabo adecuadamente por lo que hemos acertado en la selección del material y de la máquina.

También hay que destacar el papel de la página on-line de Sandvik ya que nos ha facilitado el trabajo. Nos ha proporcionado soluciones tanto para las herramientas necesarias como para los parámetros de corte. Esto nos ha servido para comparar después con los resultados obtenidos mediante los cálculos. Al obtener parecidos parámetros de corte en las principales operaciones mediante los dos métodos podemos afirmar que la información proporcionada por la página ha sido correcta.

Por último, se concluye que la hoja de procesos es una manera muy eficaz y sencilla de almacenar información sobre las operaciones de mecanizado que se van a realizar. Es una forma muy compacta de almacenar información y al estar normalizado hace posible que cualquier profesional entienda su contenido y sea capaz de llevar a cabo las operaciones a realizar. Este hecho tiene como objetivo minimizar el tiempo que necesita el profesional para llevar a cabo las operaciones a realizar ya que no depende de otros trabajadores. Consecuentemente, bajará el tiempo de producción y por tanto el también bajará el coste de producción.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.bizkaiatalent.eus/pais-vasco-te-espera/apuesta-de-futuro/automocion-estrategico-economia/>
- [2] <https://www.thyssenkrupp-steel.com/es/>
- [3] <http://www.acerosbravo.cl/productos.php?idcat=2>
- [4] <https://www.cmz.com/es/cmz>
- [5] <https://es.dmgmori.com/productos/maquinas/torneado/torneado-universal>
- [6] <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/toolguide.aspx>
- [7] <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/downloads/pages/default.aspx>
- Bilboko Ingeniaritza eskola (2019). Teknologia mekanikoa