

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

HOJA DE PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE UNA PIEZA DE AJEDREZ: LA REINA

Alumno: Fernández de Gamboa Andrió, Mikel

Directora: Ortega Rodríguez, Naiara

Curso: 2018-2019

Bilbao, 24 de junio de 2019

Resumen

Los procesos de mecanizado por arranque de viruta tienen una gran importancia en la industria actual, puesto que permiten la fabricación de piezas de características muy diversas y de diferentes materiales. En este trabajo se analizará el proceso de fabricación de una pieza en un torno. Para ello, se tomará como ejemplo una pieza de ajedrez (la reina) y, tras fijar sus características geométricas y de material, se explicarán los pasos a seguir hasta la redacción de la hoja de proceso, que definirá los pasos y las condiciones del mecanizado. Para poder redactar este documento, antes habrá que decidir la secuencia de las operaciones de mecanizado, además de escoger las herramientas, parámetros de corte y la máquina-herramienta adecuadas. Por otro lado, dado que en la actualidad la mayoría de las máquinas funcionan mediante control numérico, se programará y explicará todo el proceso en un simulador de este tipo.

Palabras clave:

Máquina-herramienta - Torneado – Herramientas de corte – Control numérico

Laburpena

Txirbil-harroketa bidezko mekanizazio prozesuek garrantzi handia dute gaur egungo industrian, hainbat material zein ezaugarri ezberdinetako piezen fabrikazioa ahalbidetzen baitute. Lan honetan tornu batean egindako pieza baten fabrikazio prozesua aztertuko da. Horretarako, xake pieza bat (erregina) hartuko da eredutzat eta, bere ezaugarri geometriko zein materialak finkatu ostean, prozesu orriaren idazketara arte jarraitu beharreko pausuak azalduko dira. Dokumentu honek mekanizazioaren pausuak eta baldintzak definituko ditu. Dokumentu hau idatzi ahal izateko, lehenik eta behin, tresna, mozketa parametro eta makina egokiak hautatzeaz gain, mekanizazio lanen sekuentziak erabaki beharko dira. Gainera, gaur egun makina gehienak kontrol numeriko bidez jarduten dutenez gero, prozesu osoa mota horretako simulagailu batean programatuko da.

Hitz gakoak:

Makina-tresna – Torneaketa – Erremintak – Kontrol Numerikoa

Abstract

Machining processes are very important in today's industry, as they are used for the manufacturing of parts with very diverse characteristics and made of different materials. This project will analyze the manufacturing process of a workpiece in a lathe machine. A chess piece (the queen) will be used as an example, and, after fixing its dimensions and material, the steps to write the process instruction sheet will be explained. This script will define the different phases and conditions of the machining process. Before writing this document, the sequence of the different operations has to be defined, as well as the adequate tools, cutting parameters and the machine tool. In addition to that, and as nowadays almost every machine tool works with a numerical control, the whole process will be programmed and explained in this kind of simulator.

Keywords:

Machine tool – Lathing – Cutting tools – Numerical control

ÍNDICE

1. RELACIÓN DE FIGURAS	3
2. RELACIÓN DE TABLAS	4
3. INTRODUCCIÓN	5
4. CONTEXTO	6
5. OBJETIVOS	10
6. BENEFICIOS	11
a) Beneficios técnicos	11
b) Beneficios económicos	11
7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	12
a) Elección del ejemplo.....	12
b) Selección de la pieza.....	14
c) Alternativa de diseño	15
d) Alternativa de material	18
8. METODOLOGÍA	24
a) Pasos de la fabricación.....	24
b) Programación	26
c) Elección de las herramientas.....	30
d) Máxima potencia necesaria	36
e) Elección del torno	37
f) Tiempos de mecanizado.....	42
g) Hoja de proceso.....	42
9. TAREAS	47
a) Resumen de tareas	47
b) Diagrama de Gantt	49
10. DESCARGO DE GASTOS	50
11. CONCLUSIONES	53
12. REFERENCIAS	54

1. RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1. "El Turco"	7
Figura 2. Piezas blancas	8
Figura 3. Piezas Staunton	8
Figura 4. Esquema de objetivos.....	10
Figura 5. Ajedrez con piezas de revolución.....	14
Figura 6. Caballos ornamentados	14
Figura 7. Peón y reina.....	14
Figura 8. Plano reina.....	15
Figura 9. Dama 1	16
Figura 10. Dama 2.....	16
Figura 11. Dama 3.....	16
Figura 12. Plano definitivo.....	17
Figura 13. Partes de la pieza.....	24
Figura 14. Fases de la fabricación	24
Figura 15. Cotas diametrales y longitudinales del desbaste.....	25
Figura 16. Programa de desbaste 1	27
Figura 17. Pasos desbaste 1	28
Figura 18. Acabado 1.....	28
Figura 19. Programa acabado 1.....	28
Figura 20. Detalle desbaste 2.....	29
Figura 21. Programa desbaste 2.....	29
Figura 22. Pasos desbaste 2.....	29
Figura 23. Programa acabado 2.....	30
Figura 24. Acabado 2.....	30
Figura 25. Tamaño de la herramienta (A8).....	31
Figura 26. Fórmulas de torneado.....	33
Figura 27. Diagrama de Gantt.....	49

2. RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para la elección del ejemplo	13
Tabla 2. Criterios para la elección de la pieza	15
Tabla 3. Criterios para la elección del diseño	17
Tabla 4. Precio de los materiales	18
Tabla 5. Clasificación de los aceros	19
Tabla 6. Precio y dureza de los materiales.....	20
Tabla 7. Peso de los materiales	21
Tabla 8. Criterios para la elección del material (juego)	23
Tabla 9. Criterios elección material (decoración)	23
Tabla 10. Pasadas necesarias y parámetros de mecanizado	26
Tabla 11. Forma de las herramientas (A7).....	30
Tabla 12. Herramientas desbaste 1 (A27-28).....	32
Tabla 13. Recomendaciones velocidades de corte (A516-517).....	33
Tabla 14. Avances y profundidades de pasada recomendados (A500-503).....	34
Tabla 15. Herramientas desbaste 2 (A23).....	34
Tabla 16. Herramientas para acabado (A39).....	35
Tabla 17. Herramientas y parámetros de corte escogidos.....	35
Tabla 18. Potencias de corte necesarias.....	36
Tabla 19. Velocidades de rotación necesarias	37
Tabla 20. Todas las propiedades (TA Z640).....	38
Tabla 21. Parámetros de los modelos TX66 Y3 / TX52 Y3	38
Tabla 22. Características de los modelos de torno.	39
Tabla 23. Modelos de torno descartados.....	40
Tabla 24. Parámetros de mecanizado corregidos.....	41
Tabla 25. Tiempos de mecanizado.....	42
Tabla 26. Costes de personal.....	50
Tabla 27. Costes de amortización	51
Tabla 28. Costes de material fungible.....	52

3. INTRODUCCIÓN

Los procesos de mecanizado por arranque de viruta tienen una gran importancia en la industria actual, puesto que permiten la fabricación de piezas de características muy diversas y de diferentes materiales. Dentro de los diferentes procesos se encuentra el torneado, consistente en hacer girar un cilindro de material a gran velocidad mientras está en contacto con una herramienta que, al avanzar, arranca la viruta sobrante para definir la forma de la pieza deseada. Se trata de un proceso sencillo, pero con una gran limitación, pues sólo se pueden fabricar piezas totalmente de revolución.

En este trabajo se van a explicar todos los pasos que hay que seguir para definir el proceso de fabricación de una pieza mediante torneado. Para ello, se va a elegir una concreta como ejemplo para ilustrar los conceptos teóricos que se van a explicar y poder operar con valores numéricos. La selección de esta pieza será la primera parte del trabajo y marcará las bases para todas las explicaciones siguientes.

Tras elegir el tipo de pieza y sus características geométricas y de material, se definirá la secuencia de operaciones que hay que seguir para obtener la forma final a partir del redondo de material, prestando especial atención a la geometría de cada parte. La gran mayoría de los tornos utilizados actualmente son controlados por ordenador, por lo que también se explicará la programación de las sucesivas operaciones en un simulador de control numérico. Posteriormente, se mostrará cómo escoger las herramientas y parámetros de corte adecuados en base a un catálogo y se hará una estimación de la potencia necesaria para elegir una máquina-herramienta adecuada para fabricar la pieza. Esto también se hará referido a un catálogo. En muchos casos ocurre que un torno que suministre la potencia (u otros valores) deseada no está disponible en el mercado, lo que obligará a redefinir las condiciones de trabajo para adaptarlas a una situación real. Una vez decididas las condiciones de trabajo definitivas, se calculará el tiempo de mecanizado de la pieza. Por último, se redactará la hoja de procesos de la pieza fabricada, es decir, un resumen de cada una de las operaciones que se han de realizar y sus condiciones.

4. CONTEXTO

El ajedrez, creado en India en el siglo VI d.C. y extendido posteriormente por Asia, Persia y, más tarde, por Europa, es un juego de estrategia en el que gana aquél que consigue derrocar al rey del oponente.

Echando la vista atrás a los orígenes y la historia del inicialmente llamado *Chaturanga* por su similitud con un campo de batalla (en hindi significa “los cuatro cuerpos”, haciendo referencia a las cuatro secciones del ejército), existe una leyenda que explica la creación de este juego: un rey destrozado por la pérdida de un hijo en la guerra se aisló en su castillo para analizar el combate una y otra vez y encontrar dónde había cometido un error, dándose siempre cuenta que de ninguna de las maneras habría podido salvar a su hijo y al reino a la vez. Un joven, conocedor de la situación, pidió una audiencia con el rey y le explicó el juego que había inventado, demostrándole que a veces, para lograr una gran victoria, hay que sacrificar una pieza importante. El rey quedó fascinado por el juego y comenzó a divulgarlo entre la aristocracia, siendo Persia la siguiente región a la que llegó. Más tarde, cuando los árabes dominaron Persia, lo adoptaron y lo hicieron muy popular en las cortes de la época, extendiéndolo a lo largo de los territorios que controlaban. En el mundo árabe comenzó el estudio en profundidad del ajedrez, con sus infinitas posibilidades en las diferentes fases de las partidas, y así llegó el ajedrez a España aproximadamente en el siglo IX, cuando esta era una tierra conquistada por los árabes. Es por ello que los españoles fueron los primeros dominadores del juego, seguidos por los italianos. Rápidamente, el ajedrez se extendió por toda Europa, pasando de ser un juego casi exclusivo de la nobleza a convertirse en una actividad popular practicada en universidades y cafeterías, sobre todo en Francia e Inglaterra, donde se organizaron los primeros torneos y se fundaron los primeros clubes dedicados únicamente a la práctica de este juego.

Evidentemente, a lo largo de la historia del ajedrez las normas que lo rigen han ido cambiado, estableciéndose unas parecidas a las actuales alrededor del siglo XVI. A partir de entonces se formalizó la práctica del ajedrez, con la introducción de torneos (y la consecuente posibilidad de ganar dinero con él) o con la creación del Campeonato del Mundo (primero femenino y más tarde masculino) y de la Federación Internacional de Ajedrez (FIDE) en 1924, entre otras cosas.

Con el desarrollo y la globalización de la informática, se han abierto muchas puertas nuevas, ya que no sólo se permite un análisis y monitorización de todos los posibles movimientos, sino que el avance ha llegado a tal punto que existen programas capaces de jugar e incluso ganar a humanos, permitiendo así un mayor entrenamiento de calidad y abriendo nuevos retos a los mejores ajedrecistas del mundo. Esto se debe a que, aunque las máquinas no pueden pensar por sí solas, tienen tanta potencia que pueden analizar millones de jugadas por segundo, por lo que a base de fuerza bruta llegan a menudo al mejor movimiento posible. Desde la década de los 90, se ha empezado a apostar por otro tipo de programas capaces de jugar al ajedrez, llamadas de tipo B (las que se basan en fuerza bruta se consideran de tipo A), que se fundamentan en la “inteligencia artificial estratégica”. Los procesadores no necesitan analizar todos los movimientos posibles (más de 500 millones por turno, en una situación de mitad de partida), sino que con criterio y “aprendiendo” de experiencias pasadas, sólo analicen 40 o 50 por posición, al igual que hacen los grandes jugadores de ajedrez. El problema de las máquinas de tipo B es que hay que “fiarse” de que elijan las mejores jugadas para analizar, algo que los profesionales hacen por hábito y gracias a la práctica y a la intuición, de la que los ordenadores carecen. El punto álgido del enfrentamiento entre ordenadores y humanos llegó en 1996, cuando el

mejor procesador ajedrecístico del momento, Deep Blue, se enfrentó al campeón mundial vigente y uno de los mejores jugadores de la historia, Gary Kaspárov. En ese enfrentamiento, la máquina ganó la primera partida, pero Kaspárov acabó llevándose el duelo por 4 a 2 (en el ajedrez, las victorias cuentan 1 punto y los empates 0.5). Hoy en día la tecnología ha avanzado tanto que es prácticamente imposible para los campeones mundiales vencer a un ordenador.

Teniendo en cuenta ahora únicamente las partidas entre personas, la práctica habitual del juego de ajedrez influye positivamente en los estudios y el aprendizaje de la rama de la ciencia que nos ocupa, la ingeniería, sobre todo a la hora de la actitud al resolver problemas que se presentan. En una entrevista realizada por la Universidad Politécnica de Madrid (<http://www.upm.es/e-politecnica/?p=9380>), Jesús Gómez y Juan Antonio Márquez, estudiantes de Ingeniería Aeroespacial en dicha universidad y segundo y tercer clasificados de su torneo de ajedrez, presentan un símil entre una partida de ajedrez y un problema de ingeniería: el uso de la lógica, las consecuencias de tomar una decisión o la creatividad necesaria para resolver una situación comprometida son factores que aparecen tanto en el ajedrez como en un examen. Además, el ajedrez ayuda a potenciar otras facultades que tienen más relación con lo mental, como la necesidad de mantener la concentración durante periodos prolongados de tiempo (hay partidas de ajedrez que duran más de 4 horas, al igual que algunos exámenes, y los despistes, por cortos que sean, se pagan caros en ambos) o la rapidez de reflejos y de cálculo mental cuando el tiempo apremia (en el ajedrez también hay un límite de tiempo para cada jugador). Otras facetas en las que el ajedrez ayuda son la gestión del tiempo (no gastar demasiado tiempo al principio, cuando parece que sobra y dejar suficiente para cuando hay que ser más preciso), la paciencia, el contemplar diferentes posibilidades antes de tomar una decisión o la capacidad de razonamiento.

Evidentemente, el desarrollo de la tecnología que permite a máquinas jugar al ajedrez ha sido muy grande, desde que Wolfgang von Kempelen asombró al mundo en el siglo XVIII con una máquina (llamada "el Turco" por tener la apariencia externa de un hombre con túnica y turbante) que mediante un mecanismo de relojería parecía saber jugar y ganar partidas de ajedrez, hasta que Deep Fritz derrotó al campeón del mundo Vladímir Krámnik en 2006. A diferencia del "Turco", Deep Fritz no tenía ningún ser humano escondido en su interior, por lo que su desarrollo, y el de todos los programas anteriores a él, se puede tratar como una gran

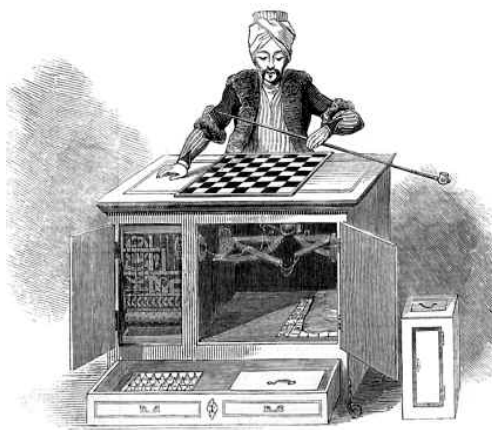


Figura 1. "El Turco"

obra tanto de ingeniería como de informática. Sin embargo, y al contrario de lo que se pensaba cuando se comenzó a fantasear con programas informáticos capaces de jugar a este juego, se considera que el desarrollo de estos ordenadores tan potentes y dotados para el ajedrez no ha contribuido demasiado a la construcción de máquinas que demuestren inteligencia humana, ya que su funcionamiento y su forma de jugar son totalmente distintos a los de las personas. Como ya se ha comentado anteriormente, las personas usan la intuición, la estrategia y el arte de "engañar" al oponente para encontrar el mejor movimiento posible, mientras que los ordenadores se basan en su fuerza bruta de procesamiento para analizar millones de posibilidades diferentes. Esto puede resultar útil para partidas de ajedrez, pero no lo es para los problemas que se quieren resolver con Inteligencia Artificial (IA), ya que lo que ésta pretende es que las máquinas puedan

“sustituir” a una persona, para lo que es necesario que sea capaz de pensar y razonar como ella. Es decir, los ordenadores diseñados para competir a tan alto nivel contra expertos jugadores sirven únicamente para esto, y apenas tienen interés académico para los profesionales y expertos en IA. De todas formas, la aparición de programas de ajedrez “de bolsillo”, menos potentes pero asequibles para cualquier aficionado, tuvo gran parte de responsabilidad en la popularización y subida del nivel general de ajedrez a finales del siglo XX, ya que se facilitó el entrenamiento personal en casa, donde ahora se podía competir con máquinas que incluso se ajustaban al nivel de cada uno.

En cuanto a las diferentes piezas que intervienen en este juego, cada una es útil en situaciones distintas del juego y le está permitido moverse de una forma única, que se va a describir a continuación (se van a ir nombrando y explicando según aparecen de izquierda a derecha en la figura 2.) Obviamente, las piezas que pueden moverse un número de casillas indeterminado podrán hacerlo si no se lo impide otra pieza o no salen de los límites del tablero.

- Rey: Se puede mover en cualquier dirección (diagonal o recto) y sentido, pero sólo una casilla.
- Reina: También llamada dama, se puede mover en cualquier dirección y sentido el número de casillas que quiera.
- Alfil: Se puede mover todas las casillas que quiera, pero sólo en diagonal.
- Caballo: Es la única pieza que puede saltar por encima de otras, y se mueve en forma de L, es decir, dos casillas recto en una dirección y luego una casilla en una dirección perpendicular.
- Torre: Se puede mover todas las casillas que quiera, pero siempre recto (horizontal o vertical).
- Peón: En su primer movimiento, el peón puede moverse una o dos casillas en dirección vertical. A partir de ahí, sólo podrá moverse de una en una en esa dirección, excepto para comer a otras piezas, para lo que tendrá que hacerlo a la casilla más próxima a él en diagonal. El peón no puede comer a piezas que se encuentren justo delante de él, es la única pieza que no puede moverse hacia atrás y si llega a la fila del tablero más cercana al oponente, su dueño la puede convertir en la pieza que quiera.



Figura 2. Piezas blancas

Si se compara ahora el valor de unas piezas respecto de otras, y tomando como base un peón, se suele decir que los caballos y los alfiles valen 3 peones, las torres 5 y la reina 9. Atendiendo al tipo de piezas con el que se suele jugar, el diseño más habitual y normalmente usado en competiciones oficiales es el de las piezas Staunton (Fig. 3).

Esto es así en parte por su manejabilidad, pero sobre todo porque se reconocen y distinguen unas de las otras con gran facilidad, permitiendo así una normalización del juego y eliminando confusiones que podían surgir cuando se enfrentaran jugadores de diversos orígenes.



Figura 3. Piezas Staunton

Este juego de piezas se popularizó en el siglo XIX por las razones expuestas en el párrafo anterior, pero también por su bajo coste, que lo hizo accesible al cada vez mayor número de practicantes de ajedrez que había entre las clases trabajadoras de, sobre todo, Inglaterra.

En cuanto a las piezas en sí, los primeros conjuntos de Staunton que salieron a la venta estaban hechos madera de boj y de ébano y se les añadió algo de plomo (como peso muerto) en la base para dar estabilidad adicional a las piezas y que no pudieran volcar fácilmente. Además, para que deslizaran mejor y para limitar los daños y el desgaste que pudieran producir las piezas en el tablero, se les añadía una fina base de fieltro, al igual que se hace con las sillas para que no estropeen el suelo. Algunos de los juegos de piezas que salieron fueron contruidos con marfil de colmillos de elefante. El diseño de las piezas se hizo sin exagerar la ornamentación, algo habitual en la época. Una novedad que aumentó la manejabilidad fue la introducción de cuellos en algunas piezas (reina, rey, alfil y peón) que separaba la base y el cuerpo de la cabeza y permitía que los jugadores pudieran agarrar y mover las piezas con mayor facilidad. En cuanto a la torre y el caballo, este cuello no hacía falta, ya que la existencia de una cabeza más grande ya permitía agarrarlos bien y, además, estéticamente habría estado fuera de lugar. Aunque las piezas Staunton originales se fabricaban en un tamaño más o menos concreto (el rey medía alrededor de 4 pulgadas/10 cm de alto), actualmente las hay de todo tipo de tamaños y colores y están clasificadas en categorías desde Staunton 3 (altura del rey < 70 mm) hasta Staunton 8 (altura del rey > 150 mm)

Hoy en día, las piezas se fabrican de materiales muy diversos, cada uno con sus pros y sus contras, que quedan expuestos a continuación:

- Madera: además de ser el material más utilizado en las piezas Staunton de los torneos oficiales, es el preferido por la mayoría de los ajedrecistas, tanto por su agradable tacto como por la elegancia de las piezas esculpidas en ella. Es algo más caro pero imprescindible si se quiere tener un ajedrez elegante para jugar.
- Plástico: al ser el material más barato, también es el más común. Otra ventaja que presenta es que es fácilmente moldeable, por lo que se fabrican piezas de muchas formas y tamaños. Evidentemente, no tiene la misma elegancia que la madera.
- Piedra: generalmente son usadas para decorar, ya que pesan mucho, se rompen muy fácilmente y no son agradables al tacto por su tendencia a permanecer frías.
- Metal: No pesan tanto como las de mármol, pero también son frías y siguen sin tener la elegancia de la madera. Se pueden usar para jugar, aunque normalmente se emplean para decoración.

La pieza en la que va a centrarse este trabajo es la reina, ya que no es una pieza simple, como el peón, ni imposible de hacer en un torno, como puede ser el caballo. Por otra parte, la reina es probablemente la pieza más importante del juego (excepción hecha del rey, vital puesto que su “muerte” provoca la derrota) por su versatilidad y recorrido.

5. OBJETIVOS

El objetivo global de este trabajo es desarrollar una hoja de procesos de mecanizado para una pieza de torno, ilustrándolo mediante el ejemplo de una pieza de ajedrez.

El primer objetivo parcial es hacer el diseño de la pieza en un CAD o un programa similar, tanto el plano acotado como su ilustración en 3D. Una vez diseñada la pieza, se continuará con la definición de los pasos a seguir en la fabricación, así como con la programación del proceso. Por último, habrá que realizar la hoja de procesos.

El primer subobjetivo ya ha quedado definido en dos partes: la obtención del plano y las dimensiones de la pieza y el diseño 3D. La segunda parte se dividirá también en dos: las decisiones acerca de los pasos a seguir en la fabricación (desbaste, acabado, ...) y la programación de dichos subprocesos en un programa interpretable por un torno de control numérico. En cuanto al último subobjetivo, se puede separar en varias partes. En primer lugar, se decidirá el material a emplear para la fabricación de la pieza, teniendo en cuenta precio, durabilidad, Después se elegirán las herramientas óptimas que se emplearán y después, en base a ellas, se determinarán los parámetros de mecanizado (avances, velocidades de corte, ...) y la máquina utilizada. Por último, se redactará la propia hoja de procesos.

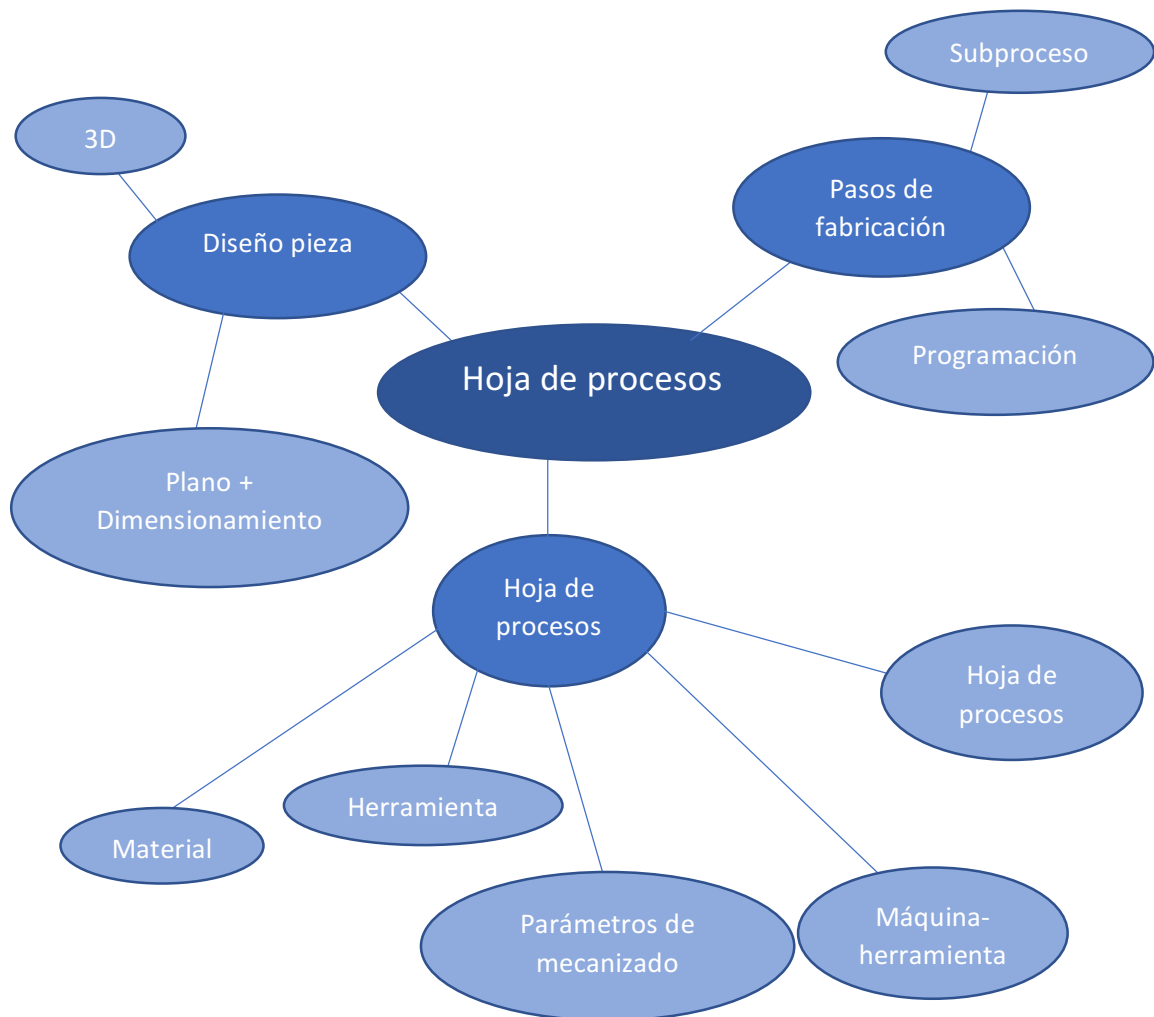


Figura 4. Esquema de objetivos

6. BENEFICIOS

En cuanto a los beneficios que puede aportar este trabajo, se van a separar en dos grupos: los técnicos y los económicos. El objetivo principal ha sido desarrollar una forma de trabajo para el diseño del proceso de fabricación de una pieza, por lo que los beneficios se referirán a lo que aporta ésta.

a) Beneficios técnicos

La explicación detallada de todos los pasos necesarios para llegar a definir el proceso de mecanizado y a redactar la hoja de procesos permite una mejora en futuros trabajos de características parecidas. La elección del material, la definición de los procesos de desbaste y acabado y la optimización de los parámetros de corte, entre otras cosas, son decisiones que va a haber que tomar en la fabricación de la mayoría de los procesos y el análisis realizado aquí servirá de base para ello.

b) Beneficios económicos

El principal beneficio económico que se puede obtener de este proyecto es el resultante de la optimización de las condiciones de trabajo. Éstas se han elegido para reducir el tiempo de trabajo al mínimo posible, lo que aumentará la productividad y, por tanto, las ganancias. Tanto esta selección como la separación de los diferentes procesos de desbaste y acabado se ha hecho con ese fin.

7. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

a) Elección del ejemplo

A la hora de decidir en qué pieza ejemplo se iba a basar este trabajo sobre el torneado, había numerosas opciones, básicamente valía cualquier pieza que fuera de revolución (para que pudiera hacerse en un torno). Algunos ejemplos con aplicación industrial son los ejes o ciertos tipos de tornillos, pero también hay numerosos objetos de uso cotidiano que se pueden hacer en un este tipo de máquina, como unas mancuernas, un salero o piezas de ajedrez. Naturalmente, el material del que se quiere hacer la pieza tiene que poder mecanizarse en el torno y con las herramientas de las que se dispone. Este es uno de los criterios que se presenta a la hora de elegir la pieza. Aunque esto sea importante a la hora de descartar algunas posibilidades, hoy en día se pueden torneear piezas de muchos materiales diferentes. Por lo que no influye demasiado a la hora de elegir el sector en general del que se quiere hacer el trabajo. Por lo tanto, se tratará con más profundidad la elección del material en la sección de material.

Otra de las decisiones que hay que tomar para elegir en qué pieza basar el trabajo es el tipo de la pieza o, dicho de otro modo, si se quiere trabajar con una pieza que sea de uso frecuente en la industria, si se quiere para decorar, si se quiere hacer un objeto de uso cotidiano para sentirse más identificado con él, etc. Otro aspecto importante sería la simplicidad de la pieza a realizar: al ser un proceso de aprendizaje en el que se estudian las bases y los pasos del proceso de torneado, no se trata de hacer una pieza excesivamente compleja que requiera grandes conocimientos, sino de aprender las bases del manejo de los tornos. Evidentemente, tampoco hay que escoger algo muy sencillo, ya que, una vez más, se trata de aprender, y para eso tienen que darse situaciones diferentes, que habrá que abordar de diferentes maneras para adquirir nuevos conocimientos y saber manejar diferentes casuísticas. Es decir, hay que encontrar un equilibrio entre lo muy fácil y lo demasiado complejo.

Sin embargo, el criterio más importante es el interés personal que se tiene en la pieza elegida o en el sector al que pertenece. Al tratarse de un trabajo en el que prima el aprendizaje del proceso de torneado, no es excesivamente relevante si la pieza va a tener un posible uso industrial, sino que la importancia recae más en el interés en la pieza o en la identificación con ella, ya que la parte del paralelismo con el mundo de la fabricación en general ya se estudia a la hora de analizar los aspectos a tener en cuenta antes del mecanizado y el proceso de torneado en sí.

Una vez comentado cuál es el criterio al que se le daría más valor a la hora de elegir la pieza a realizar, se ponderarán este último y el resto de los criterios y se explicará cuáles han sido las bases para elegir tomar como ejemplo una pieza de ajedrez.

El primer criterio que se va a analizar va a ser el tipo de pieza que se ha elegido, ya que tiene gran similitud con el del interés personal mencionado anteriormente. Al decidir qué pieza utilizar como ejemplo, la prioridad era que fuera algo interesante, atractivo y que se pudiera reconocer en el día a día. Una vez decidido que se iba a hacer algo de decoración o un objeto de la vida cotidiana, se ha optado por fabricar algo de uso más o menos diario. Lógicamente, este criterio es vital a la hora de decidir qué pieza hacer, ya que inclina el trabajo entre los diferentes "campos" de piezas, por lo que del 1 al 10 se le dará una importancia de 9. Esto significa que es un criterio de cumplimiento casi obligatorio, ya que sólo una situación excepcional o un criterio excluyente en algún otro punto impediría la inclinación por las piezas de uso cotidiano.

Dentro de todos los diferentes objetos cotidianos que se pueden hacer, ahí ya entra el interés personal. Este es el aspecto más importante porque para aprender los pasos a realizar a la hora de mecanizar una pieza no es necesario que sea algo excesivamente académico o de gran uso en la industria actual. Los pasos y los detalles a tener en cuenta son similares y el trabajo se hace más ameno e interesante. Por tanto, y dado que está relacionado con el criterio anterior de que se trate de un objeto cotidiano, se le otorga un 8 de importancia. Parece algo incongruente que se le considere el criterio más importante y a la vez tenga una ponderación más baja que el anterior, pero, al estar relacionados, ya en el anterior criterio se tiene en cuenta esta importancia. Este 8 es relativo dentro de los objetos cotidianos o de uso habitual. En este trabajo, la elección se ha realizado basada en el gusto personal del autor.

En cuanto al nivel de dificultad de la pieza, aquí la clave está en no hacer una pieza excesivamente simple, pero tampoco muy compleja, ya que el objetivo es aprender las bases del torneado y no enredarse con aspectos particulares de un ejemplo concreto. Las piezas de ajedrez no son demasiado difíciles para empezar, pero aun así tienen algunas complicaciones, sobre todo por la que se ha optado (la reina o dama), como cambios de diámetro o redondeos, que permiten analizar diferentes registros de este tipo de trabajos.

Al criterio de la complejidad de la pieza se le da una importancia de 6 sobre 10, ya que, aunque obviamente sí que hay que tenerlo en cuenta, es más importante priorizar la pieza que va a hacer y más tarde elegir un modelo más simple o complicado. Dicho de otra manera, primero se elegirá la pieza y más tarde, dentro de las diferentes posibilidades que da, su nivel de dificultad. Este ha sido también uno de los criterios para elegir la reina en lugar de otras posibles piezas.

En la tabla 1 se pueden apreciar algunas de las diferentes posibilidades de piezas en las que se podría haber basado un trabajo como este y su cumplimiento de los diferentes criterios para, al final, clarificar la elección. Para establecer las ponderaciones, tanto en esta como en las siguientes tablas, se usarán porcentajes para llegar a un 100% total, teniendo en cuenta las importancias relativas que se han dado anteriormente a los diferentes criterios. Además, se valorará el grado de cumplimiento del criterio por parte de cada caso analizado en una escala del 1 (apenas cumple) al 5 (cumple totalmente).

	Tipo (uso cotidiano)	Interés personal	Complejidad	Total
Ponderación	40%	35%	25%	
Eje de rueda	1,5	3,0	4,0	2,65
Pieza para motor	1,0	2,0	5,0	2,35
Salero	4,0	2,0	2,5	2,93
Mancuernas	3,0	3,5	2,0	2,93
Piezas de ajedrez	3,0	5,0	3,0	3,70
Patas de un mueble	2,0	2,0	1,5	1,88

1: apenas cumple

5: cumple totalmente

Tabla 1. Criterios para la elección del ejemplo

Por lo tanto, se escogerá una pieza de ajedrez como base para el trabajo.

b) Selección de la pieza

Una vez determinado que el objeto en el que se va a basar el trabajo va a ser una pieza de ajedrez, el siguiente paso es determinar cuál de ellas se va a realizar. Hay 6 opciones (peón, torre, caballo, alfil, reina y rey) para elegir, de las cuales se van a seleccionar una.

El primer criterio empleado para seleccionar la pieza concreta que se va a realizar va a ser su “disponibilidad” a ser hecha en torno. Como la pieza tiene que ser de revolución, de lo que se trata es de modificar la pieza original lo menos posible para no perder la “esencia” (llamando aquí pieza original a la forma habitual de las piezas de ajedrez, similares en cualquier caso a las piezas Staunton).



Figura 6. Caballos ornamentados

Por supuesto que cualquiera de las piezas del juego puede diseñarse de tal forma que sea de revolución y pueda hacerse en un torno, como puede verse en la figura 5, pero esto no siempre es lo más estético. De hecho, piezas como el caballo son especialmente bonitas cuando están más ornamentadas, destacando la parte de la cabeza. En la figura 6 se pueden ver dos de estas piezas, el caballo de la izquierda es similar al caballo Staunton y el de la derecha tiene más detalle. En cualquier caso, ninguno de los dos se puede hacer en un torno, a diferencia del caballo perteneciente al ajedrez de la figura 5, que, en cambio, es bastante menos estético. Es decir, si se hiciera el caballo modificando el original para poder tornearlo, la estética sufriría mucho. En este caso, la relación torneabilidad-estética sería muy baja. Otras piezas como el peón, el alfil o la reina tienen, en su forma original, unas formas circulares que permiten considerarlas como de revolución sin tener que cambiarlas apenas, mientras que los casos de la torre o el rey son más simples que los del caballo, pero tienen ciertas características (las almenas en la torre y la típica cruz en lo más alto del rey) que provocan que, si se quiere hacer torneado puro sin usar fresa, haya que cambiar la pieza original sacrificando también algo de estética para poder usarlas para este trabajo. A la “belleza” de una pieza cuando está diseñada de tal forma que puede ser torneada se le dará una importancia de 8 sobre 10, porque se trata de hacer una pieza que luego también sea reconocible.

La complejidad de la pieza es otro de los aspectos a tener en cuenta, sobre todo a la hora de evitar hacer algo muy sobrio y sencillo. En este caso concreto, lo simple estaría representado por un peón, que apenas tiene una base, un cuerpo que la une al cuello y una bola como cabeza. En cambio, una pieza como la reina tiene alguna complicación más, como se puede ver en la figura 7. Al tener más variaciones a lo largo de la pieza, hay que enfrentarse a más situaciones diferentes a la hora tanto de diseñar la propia pieza como de fabricarla, lo que ayudará a la hora de aprender más. Por lo tanto, y teniendo en cuenta



Figura 5. Ajedrez con piezas de revolución



Figura 7. Peón y reina

que ninguna de las piezas que componen el juego del ajedrez es excesivamente complicada de realizar, entre ellas hay que elegir la que más cosas diferentes tenga. Esa es una de las razones por las que se ha escogido la reina. La ponderación de este criterio es de 7 sobre 10.

El último criterio que se ha tenido en cuenta ha sido la importancia de la pieza dentro del propio juego. Aunque sea un criterio muy superficial (ponderación 3/10), es mejor elegir una pieza relevante durante una partida, como es la reina antes que, por ejemplo, un peón.

La siguiente tabla muestra las diferentes piezas de ajedrez evaluadas según los criterios que se han comentado hasta ahora.

	Cercanía a la revolución	Dificultad	Importancia	Total
Ponderación	45%	40%	15%	
Peón	5	2		3,35
Torre	3	3	4	3,15
Caballo	1	5	3	2,90
Alfil	4	3	3	3,45
Reina	4	4	5	4,15
Rey	3	4	5	3,70

1: apenas cumple.

5: cumple totalmente

Tabla 2. Criterios para la elección de la pieza

Por lo tanto, la pieza principal elegida es la reina, y las secundarias serían el alfil y el peón, sobre todo porque no hay que sacrificar demasiada estética para que puedan ser trabajadas únicamente mediante torno.

c) Alternativa de diseño

A la hora de elegir el aspecto final de la reina una de las cosas que hay que considerar es el tamaño de la pieza en sí. A pesar de que se trata de una cuestión de gran importancia, no condiciona en exceso la elección del diseño, ya que lo único que habría que hacer sería trasladar nuestro diseño a otra escala. De todas formas, aunque no se va a incluir el tamaño en la tabla final de comparación, pues se considera una decisión aparte y que no influye en el diseño, se van a hacer algunos comentarios sobre esto y para explicar la elección. En primer lugar, se ha elegido una reina de unos 100 mm de altura basada en las formas, tamaños y proporciones de un plano (Fig. 8) obtenido de un trabajo realizado por el Instituto Tecnológico de Tláhuac, aunque introduciendo ligeras modificaciones al diseñarla que, entre otras cosas, han reducido la altura final a unos 95 mm. No se ha cambiado la escala porque, aunque se trata de un tamaño alrededor de un 25% mayor que el tamaño habitual de las piezas Staunton, el incremento en el peso no es excesivo y así se permite

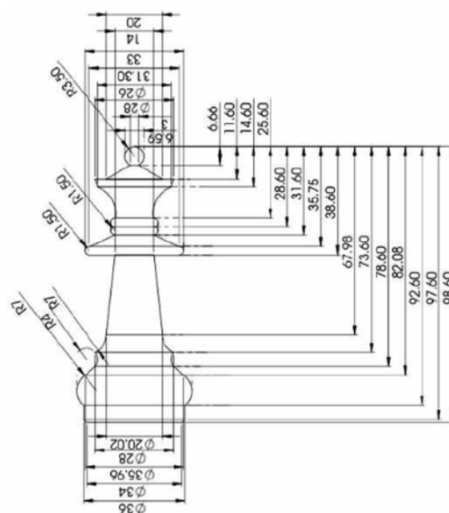


Figura 8. Plano reina

una mejor apreciación de los pequeños cambios y detalles. Además, este tamaño es uno de los que mayor funcionalidad tiene, ya que, al ser parecida a las piezas habituales, se pueden usar en partidas sin ningún problema por su gran manejabilidad. El otro tamaño con uso en la vida real es el de las piezas de tamaño humano, que a veces se pueden encontrar, por ejemplo, en paseos. Sin embargo, además de tener el hándicap del peso, es más exigente hacer una pieza pequeña donde hay que cuidar más los detalles. Este tipo de piezas grande resulta menos atractivo que el habitual por el simple hecho de no ser usadas en la vida cotidiana.

A partir de aquí, se compararán algunos diseños diferentes de reinas encontrados en base a algunos criterios para decidir cuál tomar y descartar justificadamente el resto, siendo válidos los criterios para cualquier otro tipo /diseño de reina.



Figura 9. Dama 1

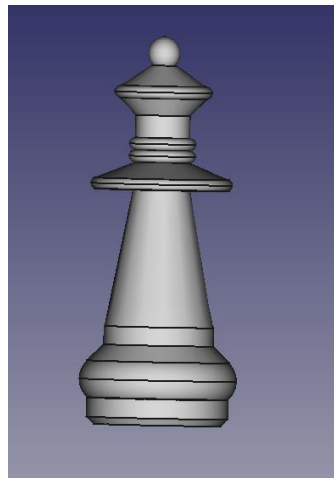


Figura 10. Dama 2



Figura 11. Dama 3

El primer diseño es una reina muy habitual, de hecho, es prácticamente igual que la reina Staunton, mientras que el segundo es una reina diseñada en CAD en base al plano de la figura 8. La última dama tiene unas formas bastante más originales, con un cuerpo que va directamente de la base a la cabeza, sin pasar por ningún cuello.

El primer criterio a considerar es la forma de la pieza, es decir, si es posible hacerla únicamente en un torno convencional o en un torno de última generación con cabezales de fresado incorporados para rematar algunos detalles finales. Aunque a la hora de elegir la pieza entre todas las del ajedrez ya se ha considerado este aspecto, eso era una selección global, es decir, una mirada general a todas las piezas para ver cuál tenía un aspecto más cercano a una pieza de revolución o cual había que cambiar menos para lograrlo. Ahora hay que ser más precisos y fijarla atención en los diferentes modelos por si tuvieran alguna parte concreta que no fuera posible mecanizar mediante el torno. Entre los ejemplos presentados anteriormente, tanto la pieza nº1 como la nº3 tienen en la cabeza unas “puntas” que sólo es posible mecanizar mediante una fresadora. En cambio, la pieza nº2 es entera de revolución, por lo que se puede tornearse completamente. Aunque este criterio no es excluyente, ya que emplear la fresadora para hacer esas pequeñas partes no supone un trabajo excesivo, se va a ponderar el criterio de que la pieza sea completa de revolución con un 7 sobre 10, ya que el objetivo del trabajo es profundizar en el torneado.

Reafirmando lo anterior, vuelve a ser importante la estética del modelo de pieza en concreto. Por mucho que se quiera fabricar una pieza fácil de torneado y que no tenga formas especiales, ello no va a priorizar si está fuera de toda estética. De los tres modelos presentados anteriormente, los dos primeros son bonitos, pero el tercero, sin cuello y con el cono del tronco acabando tan bruscamente en la cabeza, es menos estético. A este criterio de selección también se le da una importancia de 7 sobre 10, porque, aunque el principal objetivo es aprender, también se trata de hacer algo bonito que una vez fabricado tenga la aceptación suficiente para ser usado en la vida real.

A continuación, quedan comparados en una tabla los tres diseños expuestos anteriormente y analizados en base a los criterios de estética y grado de parecido con una pieza completamente de revolución, dejando a un lado el tamaño por no tener apenas influencia en el diseño. Los criterios empleados para priorizar uno de los, en este caso, tres diseños disponibles serán los que permitan valorar y decidir en caso de que se presenten nuevos modelos.

	Estética	Cercanía a la revolución	Total
Ponderación	50%	50%	
Dama 1	5	4	4,5
Dama 2	4	5	4,5
Dama 3	2	3	2,5

1: apenas cumple
5: cumple totalmente

Tabla 3. Criterios para la elección del diseño

Pese a que las dos primeras piezas obtendrían la misma "puntuación", se trabajará con la dama nº2, porque se da más importancia a que la pieza sea totalmente de revolución y se pueda fabricar entera mediante un proceso de torneado. En la figura 12 se muestra el plano definitivo con las cotas empleadas.

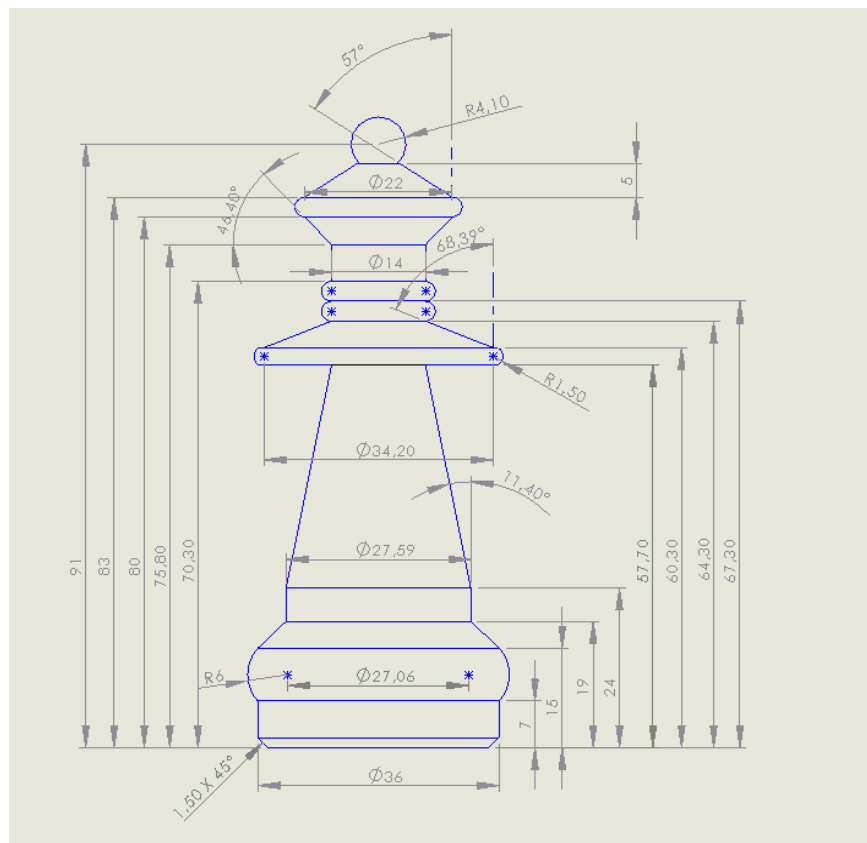


Figura 12. Plano definitivo

d) Alternativa de material

Una vez elegida la pieza con la que se va a trabajar y su diseño, sólo falta escoger el material con el que se va a fabricar. Aquí hay muchas posibilidades, desde acero ó fundición hasta la madera, pasando por algunos plásticos o por el bronce. En este apartado se va a analizar, basando la decisión en varios aspectos y estableciendo preferencias, cuál de ellos es el más interesante para fabricar la pieza.

Lo primero sobre lo que hay que pensar a la hora de iniciar cualquier proyecto es en el coste que va a suponer y en la rentabilidad que se va a sacar al trabajo realizado. La cuantía de la inversión a realizar es importante, pero las ganancias finales las determinarán los ingresos obtenidos, por lo que se compensará. Por lo tanto, aun siendo este criterio importante, su ponderación será de 7 sobre 10.

En la siguiente tabla se comparan los precios de cada material. En cuanto a la madera, se ha escogido el precio aproximado de mercado de la madera de nogal, ya que, además de ser uno de los tipos habituales con los que se fabrican piezas y tableros de ajedrez, es tanto barato como fácil de mecanizar.

Material	Coste (€/kg)
Madera	2,20
Acero	0,58
Plomo	1,69
Plástico (PVC)	0,66
Aluminio	1,62

Nota: los precios están sujetos al mercado y pueden variar ostensiblemente Estado 09/01/2019.

Tabla 4. Precio de los materiales

El siguiente paso será analizar las diferencias entre los costes del mecanizado de cada uno de los materiales.

Entre todos los tipos diferentes de metales, el acero es el grupo de materiales más empleado en el ámbito del mecanizado. Generalmente, la maquinabilidad (facilidad con la que un material puede ser mecanizado mediante arranque de viruta) es buena, aunque depende de las propiedades de cada acero específico, como su contenido en carbono o su dureza. Se va a optar por un acero no aleado con bajo contenido en carbono (0,1% - 0,25%). Dentro de la aceptable maquinabilidad de todos los aceros, este produce unas virutas más largas y pastosas que requieren filos agudos y velocidades de corte altas. Los aceros no aleados también tienden a desgastar el filo de la herramienta más notablemente. Posee una alta formabilidad y su fuerza de corte específica es de 1500 N/mm².

La expresión que se utiliza para calcular la potencia consumida (a mayor potencia consumida, mayor coste), es:

$$P_c = p_s * a_p * f * V_c$$

donde V_c es la velocidad de corte, a_p la profundidad del mismo, f el avance y p_s la fuerza de corte específica.

Manteniendo constantes todos los factores a excepción de p_s , ya que no dependen del material sino de las características del proceso concreto, se observa que, a mayor fuerza de corte específica, mayor potencia consumida y, por tanto, mayor coste.

ISO P		Acero	Fuerza de corte específica k_{c1}	Dureza Brinell
Núm. MC	N.º CMC	Material	N/mm ²	HB
P1.1.Z.AN	01.1	Acero no aleado C = 0,1–0,25%	1500	125
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0,25–0,55%	1600	150
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0,55–0,80%	1700	170
		Acero de baja aleación (elementos de aleación ≤5%)		
P2.1.Z.AN	02.1	No templado	1700	180
P2.1.Z.AN	02.12	Acero para rodamientos de bola	1800	210
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	1850	275
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	2050	350
		Acero de alta aleación (elementos de aleación >5%)		
P3.0.Z.AN	03.11	Recocido	1950	200
P3.0.Z.HT	03.21	Acero de herra. templado	3000	325
		Acero fundido		
P1.5.C.UT	06.1	No aleado	1550	180
P2.6.C.UT	06.2	De baja aleación (elementos de aleación ≤5%)	1600	200
P3.0.C.UT	06.3	Alta aleación (elementos de aleación >5%)	2050	225

Tabla 5. Clasificación de los aceros

En cuanto al resto de materiales, el PVC es un termoplástico y posee una fuerza de corte específica similar a la del acero (1400 N/mm²). Mientras tanto, el valor del aluminio para esta misma propiedad se reduce a la mitad, con una fuerza de corte de 750 N/mm². La fuerza de corte de cada material está directamente relacionada con la dureza del mismo. A mayor dureza, mayor fuerza de resistencia.

El plomo y la madera presentan durezas Brinell muy bajas (4-7HB el plomo y alrededor de 3HB la madera de nogal), por lo que requerirán una menor potencia para ser mecanizados en las mismas condiciones de velocidad de corte, de avance y de profundidad de corte (esto último debe ser igual en todos, ya que siempre se querrá obtener la misma pieza final).

Otro de los problemas que presentan los materiales con valores de dureza altos es que reducen la vida de la herramienta empleada para mecanizar. Para resumir, en la siguiente tabla se incluyen los diferentes costes que habría que tener en cuenta con los diferentes materiales, tanto en el propio precio de la compra como en el uso como material de trabajo. En la segunda columna están representadas las durezas de cada material obtenidas en el ensayo Brinell: dado que una mayor dureza implica una mayor fuerza específica de corte, y esto implica un mayor consumo de potencia, a un valor más alto aquí le corresponderá un mayor coste de torneado. A la hora de relativizar la importancia de ambos criterios, se ha decidido dar mayor importancia al precio de compra del material en sí que a la diferencia en la potencia consumida, ya que esta última se puede regular reduciendo alguno de los otros términos que la definen, y el coste se podría reducir de esa manera, mientras que el

precio del material es un factor que viene de mercado. La ponderación decidida es de 70%-30%, pero antes de aplicarla, y como los valores de ambos criterios tiene diferentes órdenes de magnitud, se trasladarán los valores de las durezas Brinell (van de 0 a 570) proporcionalmente a una escala de 0 a 2,2. Cuanto menor sea el valor obtenido teniendo en cuenta ambos datos y las ponderaciones, resultará más barato fabricar con ese material.

Material	Coste (€/kg)	Dureza Brinell (HB)	Dureza Brinell reducida	Total	Valoración (1-5)
Ponderación	70%		30%		
Madera	2,2	2,8-3,5	0,0108-0,0135	1,543-1,544	1
Acero	0,58	125	0,482	0,551	5
Plomo	1,69	4,0-7,5	0,0154-0,0289	1,188-1,192	3
Plástico (PVC)	0,66	570	2,200	1,122	3
Aluminio	1,62	15-100	0,0579-0,3860	1,151-1,250	3

Tabla 6. Precio y dureza de los materiales

Continuando con las propiedades de los materiales, el siguiente punto a tener en cuenta es la durabilidad. Tanto si se van a usar las piezas de decoración como si se quiere jugar con ellas, interesa que no se estropeen, es decir, que no se oxiden, que no tengan fragilidades demasiado altas, etc.

Tomando una perspectiva general de la situación, lo más importante es que las piezas sean resistentes a los golpes, ya que este es el mayor fenómeno de desgaste al que se van a enfrentar. Comparando las posibilidades de una pieza (que, además, se encuentra en un entorno poco agresivo) de estropearse por corrosión o similares frente a que la pieza se golpee, queda claro que es más probable que reciban impactos fuertes antes de que se estropeen por el paso del tiempo. De hecho, es bastante habitual que una pieza reciba golpes, bien sea durante el juego, mientras se cambia de sitio o estando de decoración por algún otro incidente, por lo que el material seleccionado deberá resistirlos adecuadamente. Esta es la razón por la que la ponderación del criterio de la durabilidad es de 7 sobre 10.

Para comparar los diferentes materiales mencionados anteriormente, se comentarán la influencia de la dureza en el uso diario de la pieza y la fragilidad de cada uno. La fragilidad es la capacidad de un material para fracturarse por no aguantar una deformación permanente, que en este caso se tomará como referencia para evaluar su resistencia a los impactos (caídas, ...). Los materiales con mayor dureza se estropean menos con el uso diario, pues permiten mayores contactos leves, (roces, ...) sin marcarse o estropearse apenas. En cuanto a la fragilidad de los diferentes materiales, la madera, el acero, el PVC y el aluminio son los más tenaces. La diferencia en la durabilidad de los diferentes

materiales se ve reflejada en las tablas 8 y 9, que evalúan las diferentes propiedades al final de este apartado.

Una de las propiedades de las piezas sobre la que más influencia tiene el material que la compone es su peso. No es lo mismo que una pieza sea de plomo, de acero, de madera o de plástico, ni al transportarlas ni al manejarlas para jugar. Tomando como referencia el diseño seleccionado anteriormente, el volumen aproximado de la reina es de 42000 mm³, un dato constante que, unido a la densidad de los diferentes materiales, permitirá calcular los pesos de las piezas y juzgar cuáles son razonables y qué materiales quedarían descartados por su excesivo peso. Cabe destacar que no es lo mismo una pieza de ajedrez que se quiera para jugar, que deberá ser más ligera para asegurar la comodidad y manejabilidad, que una pieza perteneciente a un set decorativo, que se quiera para adornar, donde lo que prima es la estética, tanto de la pieza en sí como del material. En la siguiente tabla quedan reflejadas las densidades de los distintos materiales, que, multiplicadas por el volumen de la pieza, darán su peso final.

Material	Densidad (kg/m ³)	Volumen (mm ³)	Peso (g)
Madera	400-700	42000	16,8-29,4
Acero	7850	42000	329,7
Plomo	11340	42000	476,3
Plástico (PVC)	1420	42000	59,6
Aluminio	2700	42000	113,4

Tabla 7. Peso de los materiales

En base a los diferentes pesos resultantes, los materiales se pueden dividir en tres grupos. En el primero están la madera y el PVC, con unas piezas cuyo peso está claramente por debajo de los 100 gramos y que son las más ligeras, permitiendo un manejo y transporte más sencillo. El segundo grupo lo componen las piezas fabricadas con aluminio, con un peso que ronda los 100 gramos y que, no siendo lo ideal, es todavía trasladable al uso real. En cuanto a los materiales más densos (acero y plomo), son piezas algo pesadas para poder jugar con ellas (bastante por encima de 300 y 400 gramos la reina, respectivamente). La valoración de los diferentes materiales se hará teniendo en cuenta su función. Por ejemplo, la ligereza de las piezas de madera, que viene bien para manejarlas, es un hándicap a la hora de usar las piezas para decorar, ya que tienen menos estabilidad. De todas formas, una vez esté clara la función que van a desempeñar las piezas, la elección del material es fundamental, por lo que la ponderación de este criterio es de 8 sobre 10.

Dentro de las características de los materiales, el último aspecto a considerar es su reciclabilidad. Dado que la vida útil de los juegos de ajedrez, en general, y de sus piezas, en particular, es muy larga, no es un producto que se recicle constantemente. Sin embargo, con ánimo de tener en cuenta la importancia de la economía circular, se ponderará este criterio con un 3 sobre 10. La pregunta que se plantea en este caso es la siguiente: ¿Si se desecha una pieza de ajedrez y se recicla el material del que está hecha, qué grado de parecido tendrá una pieza fabricada con ese material respecto a la original?

Dicho de otro modo, ¿cómo cambian las características de un material después del reciclaje? Muchos materiales, como el acero, el aluminio o el plomo conservan sus características al 100% y pueden ser reutilizados sin que apenas se note la diferencia, pero otros como la madera o el plástico (cuyo reciclaje es además especialmente caro) difícilmente se pueden emplear para la misma función que tenían antes.

Otro de los aspectos a tener en cuenta para decidir el material es la cercanía, sobre todo cuando se quieran piezas decorativas, aunque también para jugar. Es evidente que no es lo mismo tener un tablero delante lleno de frías piezas de acero que de madera, mientras que para decoración hay materiales más bonitos que otros. En otros contextos, por ejemplo, en piezas que encuentran su aplicación en el motor de un coche, este criterio es definitivamente secundario, ya que ahí priman otros aspectos relacionados con el rendimiento global. En cualquier caso, hay que detenerse en cada caso concreto, pero aquí, al tratarse de un ejemplo en el que las piezas están “de cara al público”, la importancia de la estética será alta (8/10).

Por último, tomando una perspectiva algo más global del proyecto, teniendo en cuenta cómo funcionará la producción en un proceso real, hay que contemplar a la pieza en concreto (la reina) dentro del conjunto al que pertenece (el ajedrez). Cuando se vaya a producir la reina, no se hará sola, sino que estará dentro de un grupo de piezas de diferentes formas y características. Habrá que tener en cuenta lo costoso que será hacer la más difícil de ellas (el caballo, por sus detalles y su forma especial) porque de nada sirve hacer algunas piezas rápido y fácilmente si el resto traen muchas complicaciones. En base a lo complicado (por la dificultad de alcanzar una cierta precisión, pero también por el coste) que sea realizar los detalles, se podrá distinguir entre los diferentes materiales para pensar en una producción de todo el conjunto. El caballo es una figura que, naturalmente, no se puede hacer por torneado ni por los métodos usuales de mecanizado. Ahora bien, según qué material se emplee para su fabricación, esta será más fácil y barata o más costosa. Por ejemplo, si se usa un molde y material fundido que se adapte a su forma, se obtendrán los detalles de una forma sencilla, pero esto solo se puede hacer con algunos materiales, como el plomo o el aluminio. Los caballos de plástico se fabricarían mediante inyección, es decir, introduciendo plástico a presión en un molde para obtener la forma final. En cambio, para hacer un caballo de madera no se podrá licuar para que se adapte a una forma concreta, por lo que habrá que marcar los detalles manualmente, un proceso bastante más complicado y costoso que el resto.

Analizar una pieza en el conjunto del que forma parte es algo básico ateniéndose a los procesos de fabricación que se dan en la industria real, por lo que, en un proyecto usual, será un criterio vital. Sin embargo, en este caso el objetivo de emplear una pieza como ejemplo es clarificar los pasos a seguir en el torneado, y no pensar en una producción industrial real. Dicho de otra forma, si esto fuera un proyecto que buscara lucrarse mediante la producción y venta de juegos de ajedrez, este sería un criterio muy importante, pero como no se van a producir esas piezas que dan complicaciones (el objetivo del trabajo es, además, estudiar sólo el torneado), la ponderación que se le dará aquí será baja (4/10).

Cabe destacar que, en este caso, la pieza es muy versátil y se puede fabricar con muchos materiales distintos sin que su funcionalidad se vea apenas alterada. Esto permite elegir entre una gran selección de diferentes materiales en base a sus características y sin estar condicionado por unos requisitos específicos de la pieza en concreto. Esto no es habitual, ya que, normalmente, el sector o la función en los que se acabará empleando lo fabricado tienen unas exigencias concretas que restringen mucho la elección del material. No siempre es posible elegir lo más barato, porque es prioritario satisfacer otras necesidades,

como, por ejemplo, la resistencia a la humedad si se va a colocar en un sitio muy húmedo, etc.

Dada la clara distinción que se ha hecho a lo largo del análisis de los diferentes criterios entre lo que es mejor para piezas empleadas para jugar frente a las que tienen mera función decorativa, en este caso la valoración de los diferentes aspectos se hace en dos tablas separadas, presentadas a continuación.

JUEGO	Coste	Peso	Durabilidad	Reciclabilidad	Estética	Conjunto	Total
Ponderación	19%	22%	19%	8%	22%	10%	
Madera	1,0	5,0	4,0	3,0	5,0	2,5	3,64
Acero	5,0	2,0	5,0	5,0	2,0	5,0	3,68
Plomo	3,0	1,0	3,0	5,0	1,0	5,0	2,48
Plástico (PVC)	3,0	5,0	5,0	3,0	2,0	4,0	3,70
Aluminio	3,0	3,0	5,0	5,0	0	5,0	3,08

1: apenas cumple

5: cumple totalmente

Tabla 8. Criterios para la elección del material (juego)

DECORACIÓN	Coste	Peso	Durabilidad	Reciclabilidad	Estética	Conjunto	Total
Ponderación	19%	22%	19%	8%	22%	10%	
Madera	1,0	1,5	4,0	3,0	3,5	2,5	2,73
Acero	5,0	4	5,0	5,0	2,5	5,0	4,23
Plomo	3,0	4	3,0	5,0	1,0	5,0	3,14
Plástico (PVC)	3,0	1,5	5,0	3,0	3,0	4,0	3,15
Aluminio	3,0	3,5	5,0	5,0	2,0	5,0	3,63

1: apenas cumple

5: cumple totalmente

Tabla 9. Criterios elección material (decoración)

Pese a que aquí se ha mantenido una distinción entre las piezas con fines de decoración y las pensadas para jugar, considerando ambas por igual y valorando todas acorde a los diferentes criterios, antes ya se habían priorizado las usadas para jugar, por lo que la selección se hará con ese objetivo en mente.

Aplicando las ponderaciones establecidas en los anteriores apartados para los diferentes criterios de evaluación, se obtiene que el material ideal para realizar una pieza para decorar es el acero, y como las valoraciones para la pieza para jugar son similares en madera y acero, se trabajará sobre acero.

8. METODOLOGÍA

En este apartado se tratará en profundidad el método seguido para fabricar la pieza que ha sido diseñada previamente. Para ello se partirá del diseño de la pieza de ajedrez elegido anteriormente y el proceso se estructurará en 3 partes:

En primer lugar, se estudiará la estrategia de mecanizado, separando la fabricación de la pieza en las fases de desbaste y acabado y analizando si es necesaria una separación del proceso en dos partes con un tronzado intermedio o se hará todo de una vez y si hay que usar el contrapunto y eje C. Una vez definido esto, habrá que analizar cómo se va a proceder para lograr hacerlo en el menor número de pasadas posibles.

En segundo lugar, tras definir los distintos pasos a seguir, se introducirán en un programa de control numérico por computador (CNC) para luego poder fabricar la pieza en un torno de este tipo.

Por último, se definirá la situación de trabajo, eligiendo tanto los parámetros de corte como la máquina en la que se va a fabricar y sus características.

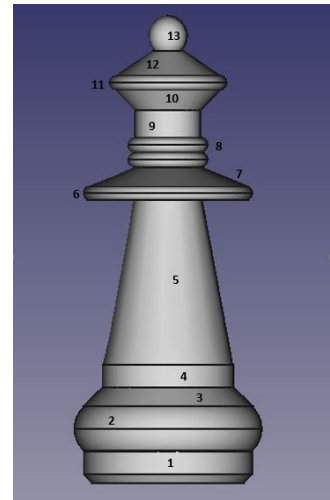


Figura 13. Partes de la pieza

a) Pasos de la fabricación

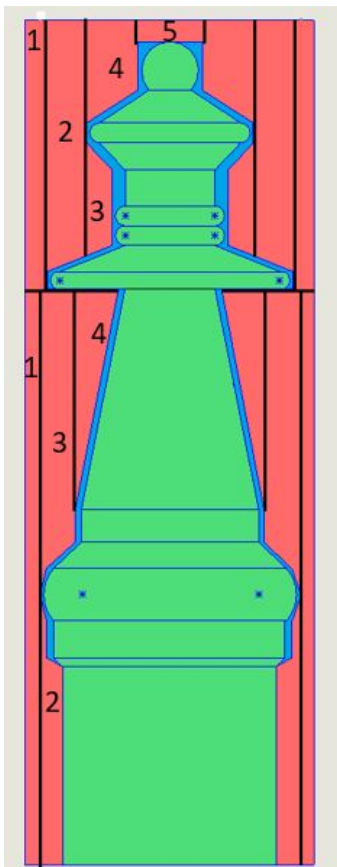


Figura 14. Fases de la fabricación

Lo primero que hay que mencionar es que no hace falta usar el eje C, ya que se trata de una pieza completamente de revolución. El eje C es una herramienta que tienen los tornos de control numérico para poder realizar operaciones de fresado en una de las superficies de la pieza. Esto no es necesario en esta pieza.

En cuanto a la estrategia de mecanizado, lo mejor es separar la pieza en dos partes: la base junto con el cono central (partes 1-5, Fig.13) y la parte superior (6-13). Se comenzará sujetando el redondo por la parte donde luego estará la bola y se mecanizará la base (dejando material de sobra por debajo para poder agarrar después) y luego se le dará la vuelta para mecanizar la parte superior, puesto que si se hiciera todo en la misma posición (sujetando todo el tiempo por la base), la transición entre las partes 6 y 5 sería complicada y el resultado no sería óptimo. Se fabricará la primera parte completa antes de pasar a la otra, es decir, se harán tanto el desbaste como el acabado de esa parte antes de pasar a la otra. Otra opción viable sería hacer todo el desbaste en la misma posición y sólo cambiar la pieza de posición para el acabado de la segunda parte, pero aquí se ha optado por la primera variante, ya que el retraso es similar. Hay que mencionar que cuando se recibe el redondo de material, se le suele practicar una operación de refrentado a la superficie de donde se referencian las medidas para asegurar que es totalmente plana.

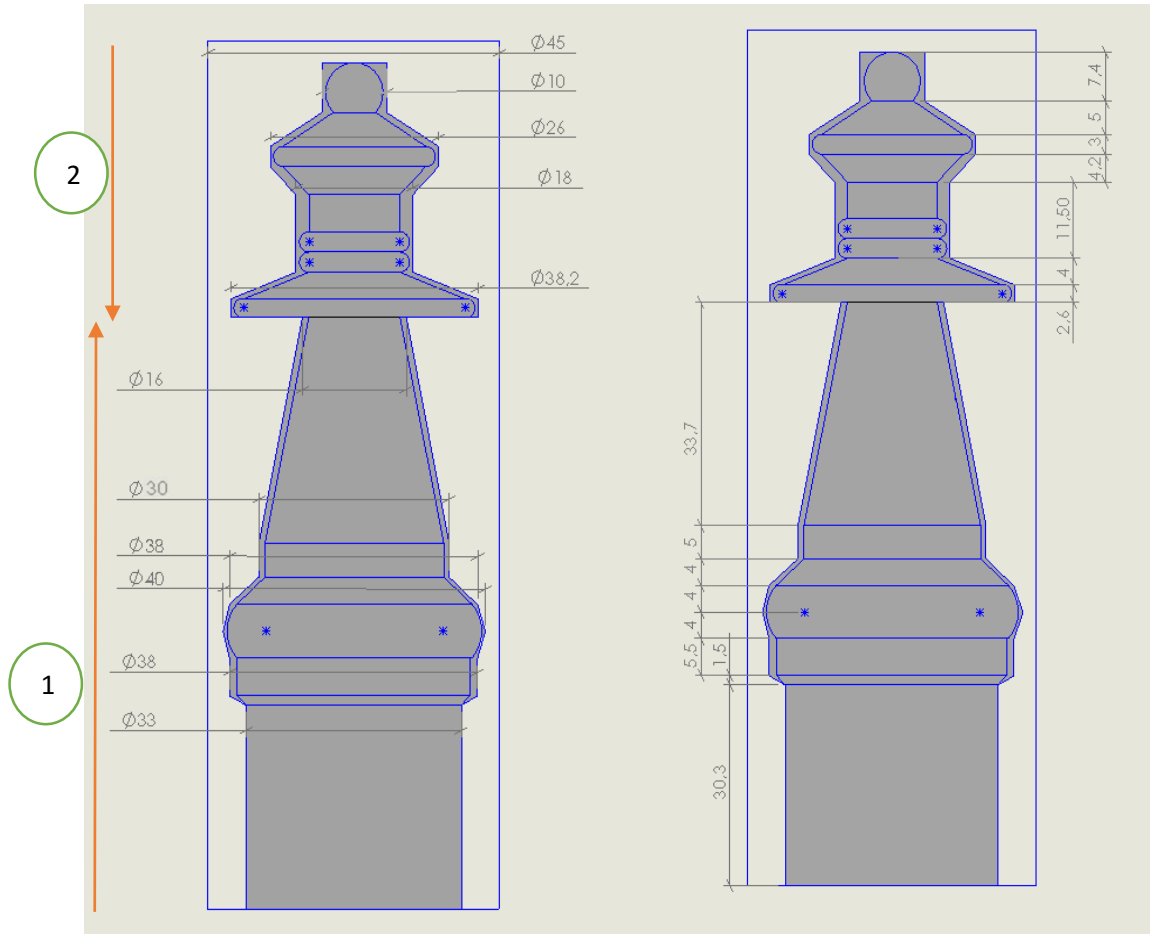


Figura 15. Cotas diametrales y longitudinales del desbaste

En la figura 14 se ven con claridad los pasos a seguir para fabricar la pieza. Se parte de un redondo inicial (de 45 mm de diámetro y longitud 129 mm) y el sobreespesor que se encuentra en la zona de color rojo se eliminará en la fase de desbaste y el resto (zona azul) en el acabado. Con los números se indica el orden que se seguirá al desbastar cada una de las partes. En la figura 15 se definen las cotas escogidas para el desbaste, y las de acabado son conocidas, ya que son las de diseño de la pieza (Fig.12). En el lado izquierdo de la pieza se definen las cotas correspondientes al primer desbaste y en el derecho las que se mecanizarán tras el cambio de posición.

El criterio principal que se ha seguido a la hora de establecer las operaciones ha sido utilizar el menor número de pasadas posible, teniendo en cuenta también que más tarde, en el acabado, las profundidades de pasada no pueden ser muy grandes (máximo 1,5-2 mm), por lo que en algunas partes se ha tenido que perfilar la forma ya en el desbaste. Esto ha ocurrido especialmente en los troncos de cono, ya que, al tener una gran pendiente, si el diámetro del redondo es constante, en la zona más estrecha del cono la profundidad de pasada (del acabado) tendrá que ser muy grande, a veces imposible de realizar. Además, en el tronco de cono 5 se ha dividido la pasada 4 porque precisamente el rango de profundidad de pasada (0-6,5 mm) es muy amplio y acarrearía problemas para elegir la herramienta.

A continuación, se van a listar las pasadas que hay que realizar a partir del redondo en el proceso de desbaste. Como se ha mencionado antes y también se indica en la figura 15, el desbaste se hará en dos partes, primero de abajo a arriba (parte 1) y luego de arriba

abajo (parte 2). En la tabla 10 se detallan las diferentes pasadas a realizar en este proceso. En la parte 2 se ha asumido que la longitud del redondo a desbastar es de 41 mm, así que lo sobrante ($41,0 - 38,1 = 2,9$ mm) habrá que eliminarlo en la última pasada antes del acabado. La longitud del redondo en la parte 1 es de aproximadamente 88 mm. Por lo tanto, se tomará un exceso de 30,3 mm para poder sujetar la pieza en la segunda parte. Esta superficie no tiene ningún interés en ser mecanizada con un acabado superficial bueno, ya que su única función es la de servir como amarre mientras se tornea la segunda parte. Una vez acabado el proceso, se eliminará mediante tronzado ya que no forma parte de la pieza. Por eso, este diámetro no necesitará una operación de acabado y con el desbaste será suficiente. Además, aunque el tronzado deja un acabado malo (en este caso, en la base de la pieza), eso no es relevante aquí, ya que a las piezas de ajedrez se les pone un fieltro en la base para no deteriorar el tablero y que resbalen mejor por él que eliminará el problema del acabado superficial.

En cuanto a la parte del acabado, sus medidas ya están definidas y la decisión más importante que hay que tomar es si y cuándo será necesario un contrapunto. Habitualmente, se recomienda un voladizo máximo en las piezas sujetas por un extremo de 2,5 veces el diámetro, y en este caso el diámetro por donde se sujetará será de 45 o 41 mm ($41 \times 2,5 = 102,5$ mm) y su longitud (sin contar los 30 mm necesarios para sujetarla) es de aproximadamente ese valor. Sin embargo, se trata de una pieza con geometría compleja y menos robusta que otras que se componen únicamente de tramos cilíndricos de distinto diámetro. Por eso, y por estar cerca del límite de lo que se suele considerar factible de hacer con extremo libre, se empleará siempre un contrapunto para sujetar la pieza por los dos extremos. En la quinta pasada del segundo desbaste se prescindirá de él por cuestiones de espacio físico.

	Nº pasada	Diám. inicial _{max} (mm)	a _{pmax} (mm)	L en z (mm)
DESBASTE 1	1	45,0	2,5	88,0
	2	40,0	3,5	41,3
	3	40,0	5,0	46,7
	4a	30,0	3,5	33,7
	4b	23,0	3,5	16,9
DESBASTE 2	1	45,0	3,4	41,0
	2	38,2	6,1	38,0
	3	26,0	4,0	17,3
	4	26,0	8,0	15,3
	5	10,0	5,0	2,9

Tabla 10. Pasadas necesarias y parámetros de mecanizado

b) Programación

Una vez definidas las diferentes operaciones necesarias para el desbaste y el acabado, hay que implementarlas en un programa de control numérico para poder fabricarla. Para ello se empleará el programa de Fagor CNC 8070, un simulador para ordenador igual que los instalados en máquina y que reproduce exactamente su comportamiento. El objetivo

del mismo es definir el recorrido que tendrá que seguir la herramienta mientras la pieza gira para fabricarla. El funcionamiento del programa se irá explicando paralelamente a la programación de la pieza concreta y en este apartado se supondrá una herramienta genérica para concretar en un apartado posterior. El orden que se seguirá aquí será el mismo que el de la fabricación, es decir Desbaste 1- Acabado 1-Desbaste 2- Acabado 2.

Desbaste 1

Se aprovechará esta parte para explicar simultáneamente el funcionamiento del programa de control numérico.

En primer lugar, en el CNC hay que elegir la forma de funcionamiento del torno para luego definir los movimientos. La función G90 indica que se van a usar coordenadas absolutas y no incrementales, es decir, que las cotas se van a definir siempre desde el mismo cero y no como distancias relativas desde el punto anterior. G95 define las unidades del avance como mm/revolución y no como mm/min, por lo que el mismo variará con la velocidad del cabezal, mientras que G96 mantiene la velocidad de corte constante entre la punta de la herramienta y la pieza, optimizando el tiempo de mecanizado. El código M4 indica que el cabezal debe arrancar en ese momento (en sentido antihorario) y el M41 limita la velocidad del cabezal. En esta primera línea también se han definido los parámetros de mecanizado (F: avance, S: velocidad de giro del cabezal, T: herramienta a utilizar, D: corrector asociado a la herramienta), pero aquí se han escogido unos cualquiera para que el programa pueda funcionar y los correctos se calcularán más adelante. En cuanto a las sentencias que regulan el movimiento del torno, G0 indica un movimiento de la herramienta rápido hasta las coordenadas señaladas y G1 es lo mismo, pero cortando material (mecanizando). Mientras no se indique con otra función, la última permanecerá vigente (ejemplo Fig. 16: el G1 de la línea 7 se mantiene hasta la línea 13). El eje Z coincide con el eje longitudinal de la pieza y el X es perpendicular a él, y para este tramo el origen se situará donde comienza el cono central (intersección entre partes 5 y 6 de la Figura 13), a 88 mm del final del redondo. Se utilizará la programación en diámetros, es decir, los valores referidos al eje X se referirán al diámetro de la parte mecanizada.

```

1  G90 G95 G96 F0.15 S180 T2 D1 M4 M41
2  G0 Z90 X45
3  X40
4  G1 Z0
5  G0 Z90
6  X33
7  G1 Z57.7
8  X38 Z56.2
9  Z50.5
10 X40 Z46.7
11 X38 Z42.3
12 X30 Z38.7
13 Z0
14 G0 Z33.7
15 G1 X23 Z16.35
16 Z0
17 G0 Z16.35
18 G1 X16 Z0
19 X45
20 Z90
21
22 M30
    
```

Figura 16. Programa de desbaste 1

En la línea 2 de programa se aproxima la herramienta al redondo y en la tercera línea ya se sitúa en posición (diámetro de la primera pasada). Esta primera pasada se hará a lo largo de todo el tramo para reducir el diámetro a 40 mm (Fig. 17.1). Una vez mecanizado esto, se retrocederá (rápido, con G0, puesto que eso ya está mecanizado) hasta el inicio (Z90, línea 5) para comenzar con la segunda pasada. Las pasadas 2 y 3 (Fig. 17.2/17.3) se hacen seguidas, sin que haga falta retroceder. Tras situar la herramienta en el comienzo en la línea 6, entre las líneas 6 y 13 de programa se define la trayectoria de la herramienta de esta fase (como hay que cortar material, se utiliza la función G1). Para realizar las pasadas 4a y 4b (Fig. 17.4/17.5) hay que retroceder al inicio de las mismas (Z33.7 y

Z16.35) para empezarlas. Por último, para no dejar partes sin mecanizar, se sacará la herramienta perpendicularmente a la superficie de la parte 6 (línea 19, Fig. 17.6).

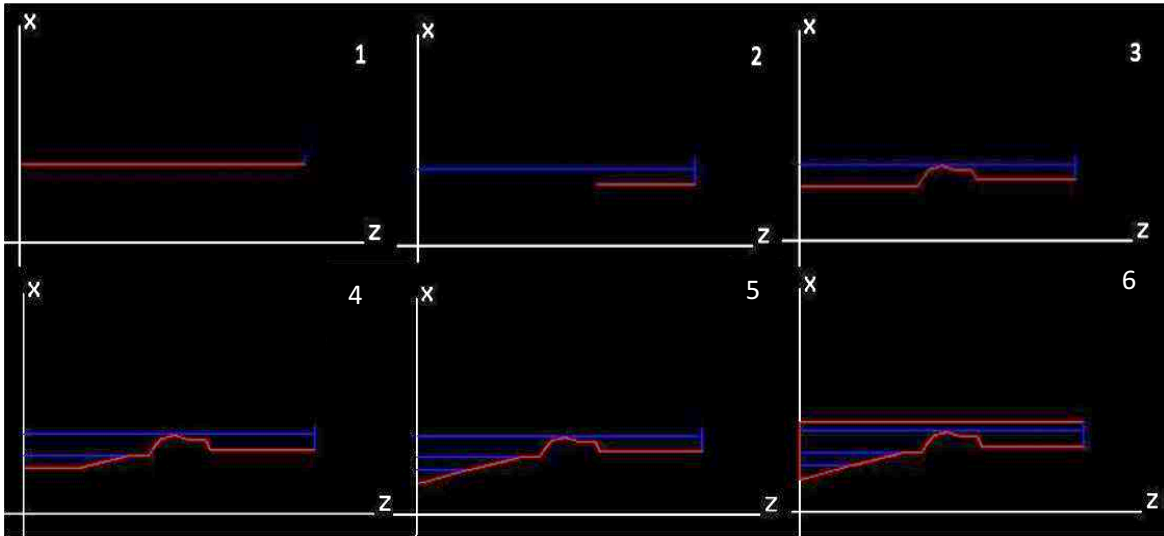


Figura 17. Pasos desbaste 1

Acabado 1

Este proceso es conceptualmente igual que el anterior, únicamente añade una nueva función (G3), para trazar tramos de circunferencia. En la línea 8 de programa se define el contorno del toroide 2 de la figura con el punto donde acaba dicha forma y su radio. Esta función traza la circunferencia en sentido antihorario. Además, se emplea la función G41 para la compensación de radio a izquierdas (la herramienta queda en este caso a la izquierda de la pieza en el sentido de mecanizado) y se puede hacer todo de una pasada, como se observa en la figura 18. También es importante aquí la salida de la herramienta perpendicular al eje, no sólo por la anterior razón de no dejar esquinas sin mecanizar, sino también para dejar esa superficie con un acabado superficial final bueno.

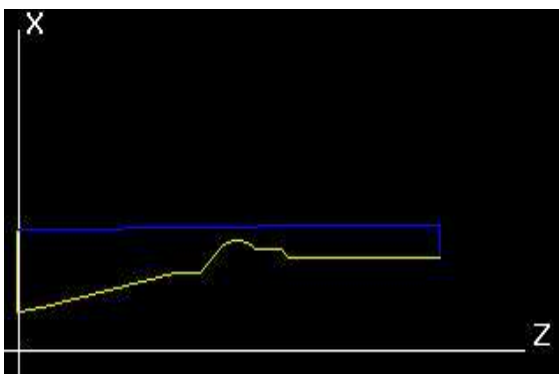


Figura 18. Acabado 1

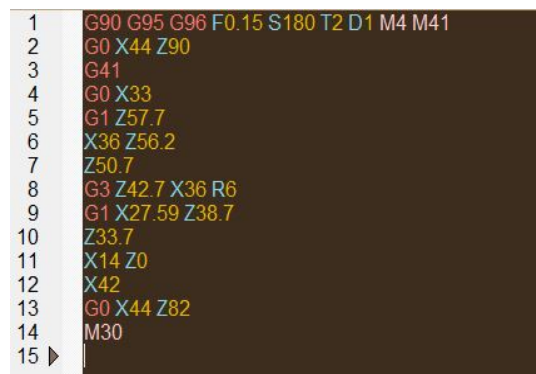


Figura 19. Programa acabado 1

Desbaste 2

Esta operación de desbaste es algo más compleja que la anterior, ya que hay un tramo de “valle” (lo que será la pasada 3) entre dos partes con diámetros más grandes y no se va a poder hacer todo seguido. Para facilitar la visualización, se añade un detalle (Fig. 20) de la zona a mecanizar en este apartado.

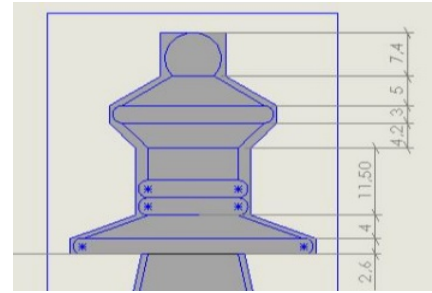


Figura 20. Detalle desbaste 2

```

1 G90 G95 G96 F0.15 S180 T2 D1 M4 M41
2 G0 X47 Z45
3 X38.2
4 G1 Z0
5 G1 X45
6 G0 Z42
7 X26
8 G1 Z5.42
9 G0 Z22.7
10 G1 X18 Z18.5
11 Z7
12 X38.2 Z3
13 G0 Z42
14 X10
15 G1 X10 Z30.7
16 X26 Z25.7
17 G0 Z42
18 X0
19 G1 Z38.1
20 G1 X10
21 M30
    
```

Figura 21. Programa desbaste 2

En las dos primeras pasadas no hay nada destacable respecto a los anteriores procesos, excepto que en la segunda pasada se deja algo del final sin mecanizar (se hará luego al sacar la herramienta tras la tercera pasada). En la línea 9 se pone la herramienta al comienzo de la zona de la pasada 3 y se realiza la misma, sacando ahora sí la herramienta de forma que se deja el perfil deseado (Fig. 22.4, línea diagonal). Para la cuarta pasada se lleva la herramienta al final de la pieza y se realiza sin ningún tipo de complicación (líneas 14-16, Fig. 22.5/22.6). La función de la última pasada es eliminar el material que queda en exceso “encima” de la bola para empezar con el acabado directamente en la punta.

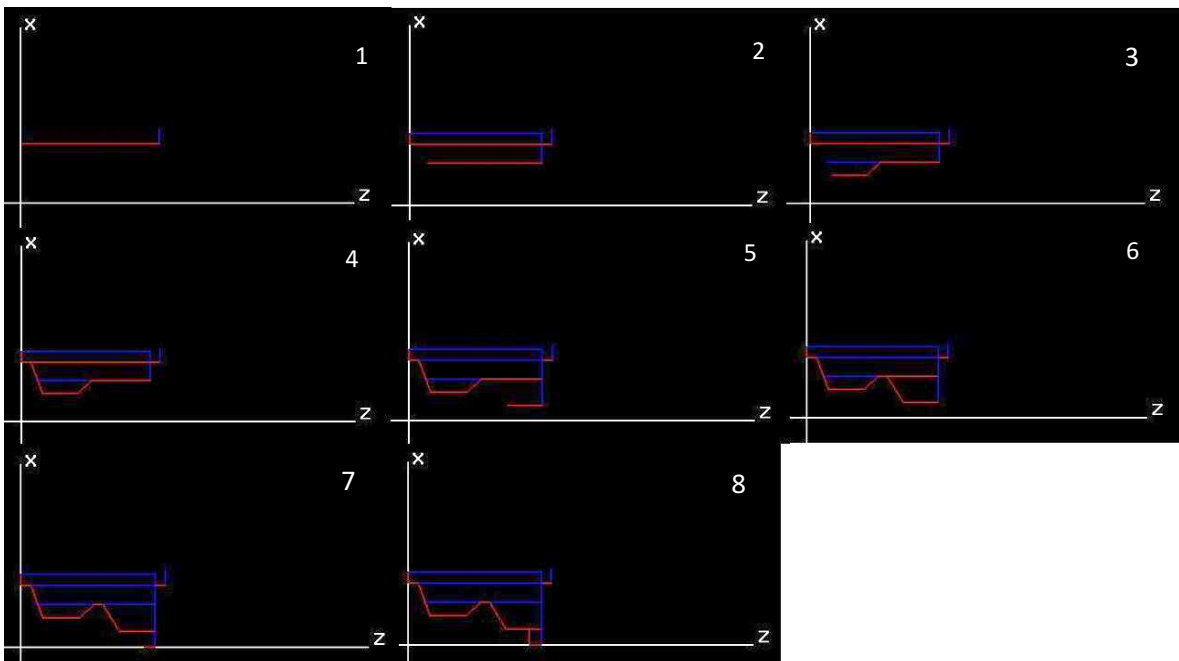


Figura 22. Pasos desbaste 2

Acabado 2

En este caso no hay variaciones conceptuales respecto al primer proceso de acabado, pese a que se trata de una geometría más compleja, con múltiples tramos redondeados.

```

1 G90 G95 G96 F0.15 S180 T2 D1 M4 M41
2 G41
3 G0 X16 Z 43
4 X0
5 Z37.8
6 G3 X6.6 Z30.3 R4.43
7 G1 X22 Z25.7
8 G3 X22 Z22.7 R1.5
9 G1 X14 Z18.5
10 Z13
11 G3 X14 Z10 R1.5
12 G3 X14 Z7 R1.5
13 G1 X34.2 Z3
14 G3 X34.2 Z0 R1.5
15 G0 X40
16 Z41
17 M30|
    
```

Figura 24. Programa acabado 2

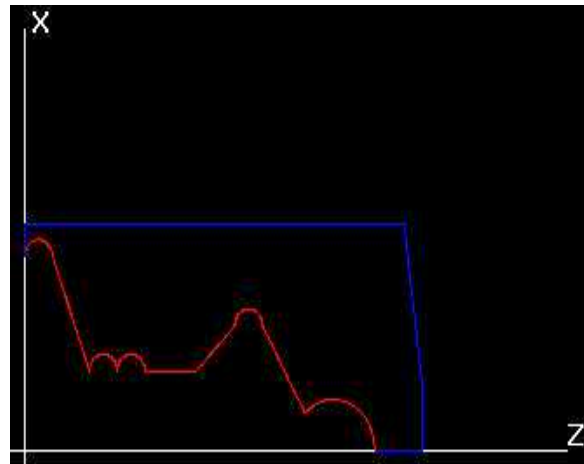


Figura 23. Acabado 2

c) Elección de las herramientas

Tras pensar cómo se va a fabricar la pieza e implementarlo en un programa de control numérico, hay que elegir las herramientas a emplear. Para ello, y dado que en este caso la pieza será de acero, se ha empleado el catálogo de herramientas de la empresa sueca Sandvik (versión del 2012), líder mundial en el ámbito del mecanizado. Todas las capturas de pantalla que se empleen procederán de ese manual y la página se indicará en el título de las mismas. También se ha usado de ese manual la tabla de clasificación de los aceros (tabla 5).

Forma de la plaquita									
Torneado longitudinal/ refrentado		•	•	•	•	••	•		
Perfilado			••			•	•	••	
Refrentado		••	•	•		•	•		
		•• = Forma de plaquita recomendada		• = Forma de plaquita alternativa					

Tabla 11. Forma de las herramientas (A7)

El procedimiento que se va a seguir para elegir todas las herramientas va a ser el siguiente: se escogerán la forma y el tamaño de todas las herramientas (ya que se obtienen de las mismas tablas) y luego se irán concretando proceso a proceso los tipos exactos necesarios y los parámetros de mecanizado.

El primer desbaste, si bien es cierto que tiene alguna pasada de cilindrado puro, lo que más le caracteriza es el contorneado de las pasadas 2 y 3, por lo que se usará una herramienta con forma D (tabla 11) para este proceso. Además, esta forma es válida también para el cilindrado. El otro desbaste tiene una forma más del tipo cilindrado y además requiere profundidades de pasada mayores, por lo que se optará por la forma C.

Por último, ambos procesos de acabado son evidentemente procesos de contorneado, y se escogerá la forma V por delante de la D por tener un ángulo de punta (entre el filo principal y el filo secundario) más agudo y poder definir mejor los detalles.

Selección del tamaño de plaquita

Acabado	Medio	Desbaste
Operaciones a pequeñas profundidades de corte avance bajos.	Operaciones de desbaste medio a ligero. Amplia gama de combinaciones de profundidades de corte y avances.	Operaciones para grandes avances y eliminación de material
$f_n = 0.1 - 0.3 \text{ mm/r}$.004 - .012 pulgadas/r	$f_n = 0.2 - 0.5 \text{ mm/r}$.008 - .020 pulgadas/r	$f_n = 0.5 - 1.5 \text{ mm/r}$.020 - .059 pulgadas/r





Forma de la plaquita	Tamaño de plaquita  iC	Profundidad de corte (a_p), mm, pulgadas																						
		Acabado					Desbaste																	
		Medio					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
 80°	06 1/4																							
	09 3/8																							
	12 1/2																							
	16 5/8																							
	19 3/4																							
	25 1																							
 55°	07 1/4																							
	11 3/8																							
	13 .512																							
	15 1/2																							
 35°	11 1/4																							
	13 .512																							
	16 3/8																							
	22 1/2																							

Figura 25. Tamaño de la herramienta (A8)

A continuación, se elegirá el tamaño de cada herramienta, basándose en la figura 25. Comenzando por la herramienta tipo D del primer desbaste, la máxima profundidad de pasada aquí será de 5 mm, por lo que habrá que usar el tamaño 15, que abarca profundidades desde 0 hasta ese valor. Siguiendo el mismo criterio para la segunda parte del desbaste ($a_{pmax} = 6,1 \text{ mm}$), se deberá optar entre los tamaños 16, 19 y 25. Dado que las de 16 y 19 tienen un límite inferior menor que la de 25 y en las formas cónicas va a haber que penetrar en la pieza desde profundidades pequeñas, se escogerá entre esos dos tamaños. De entre ellos se tomará la de tamaño 19 por abarcar un rango más amplio de a_p . Para el proceso de acabado, la profundidad de pasada máxima será de 2 mm (en la zona del cilindro 9 (Fig.13)). Todas las herramientas de forma V cumplen esta especificación, pero se elegirá la de tamaño 16 por una razón que tiene que ver con el tipo concreto de herramienta que se va a utilizar y que se verá más adelante. A partir de aquí

se irá proceso a proceso para elegir las herramientas exactas y los parámetros de mecanizado.

En todos los procesos se usarán plaquitas negativas, ya que son las que se recomiendan para procesos de torneado exterior, tanto de desbaste como de acabado, mientras que las positivas se deben usar para piezas más largas y esbeltas y para torneados interiores.

Desbaste 1

Para elegir la herramienta concreta hay que entrar en la tabla 12 (está recortada) para plaquitas negativas, concretamente en las de tipo D para desbaste medio (hasta $a_p=5$ mm), y analizar cuáles son las apropiadas para mecanizar un acero poco aleado (según la norma ISO, el acero con bajo contenido en aleación es del grado P). Si la herramienta deseada tiene una estrella negra en una columna, significa que existe en una calidad que puede mecanizar acero y que encima se recomienda para ello, mientras que una estrella blanca indica que se puede usar como opción alternativa. Si no hay ninguna estrella en la intersección entre fila y columna significa que esa herramienta concreta no está disponible en esa calidad. De todas las herramientas de tipo D disponibles para el desbaste medio, únicamente las tres primeras aparecen como recomendadas para una calidad de herramienta, y además se puede usar alguna otra. De entre las múltiples herramientas disponibles de estos tres tipos, que están posibles en el tamaño deseado (15), se elegirá la que mayor radio de punta tenga porque aumenta la seguridad del filo y es apropiado para grandes profundidades de corte. El radio de punta está definido por los dos últimos dígitos del nombre de la herramienta, por lo que se elegirá cualquiera de las



	ISO	r	IC	P				M				K				S										
				1515	1525	4205	4215	4225	5015	1115	1125	2015	2025	2035	235	3005	3205	3210	HT3A	1105	1115	1125	HT0A	HT3A	S05F	
Medio	DNMX-WMX 	DNMX 15 04 08-WMX	15	1/2	☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 15 04 12-WMX			☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 15 04 16-WMX			☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 15 06 08-WMX			☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 15 06 12-WMX			☆	☆	☆	☆			☆															
	DNMX-WM 	DNMX 11 04 08-WM	11	3/8	☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 11 04 12-WM			☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 15 04 08-WM	15	1/2	☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 15 04 12-WM			☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMX 15 04 16-WM			☆	☆	☆	☆			☆															
	DNMG-PM	DNMG 11 04 04-PM	11	3/8	☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMG 11 04 08-PM			☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMG 11 04 12-PM			☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMG 15 04 04-PM	15	1/2	☆	☆	☆	☆			☆															
		DNMG 15 04 08-PM			☆	☆	☆	☆			☆															
DNMG-MM	DNMG 11 04 08-MM	11	3/8							☆	☆	☆	☆													
	DNMG 11 04 12-MM									☆	☆	☆	☆													
	DNMG 15 04 08-MM	15	1/2							☆	☆	☆	☆													
	DNMG 15 04 12-MM									☆	☆	☆	☆													
	DNMG 15 06 08-MM									☆	☆	☆	☆													
DNMG-KM	DNMG 11 04 08-KM	11	3/8													☆	☆									
	DNMG 11 04 12-KM															☆	☆									
	DNMG 15 04 08-KM	15	1/2													☆	☆									
	DNMG 15 04 12-KM															☆	☆									
	DNMG 15 06 08-KM															☆	☆									
DNMG-SM	DNMG 15 04 04-SM	15	1/2																	☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG 15 04 08-SM																			☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG 15 04 12-SM																			☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG 15 06 04-SM																			☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG 15 06 08-SM																			☆	☆	☆	☆	☆	☆	
DNMG-SMR	DNMG150408-SMR	15	1/2									☆								☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG150412-SMR											☆								☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG150608-SMR											☆								☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG150612-SMR											☆								☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG150616-SMR											☆								☆	☆	☆	☆	☆	☆	
DNMG-QM	DNMG 11 04 04-QM	11	3/8			☆	☆						☆													
	DNMG 11 04 08-QM					☆	☆						☆													
	DNMG 11 04 12-QM					☆	☆						☆													
	DNMG 15 04 04-QM	15	1/2			☆	☆						☆							☆	☆	☆	☆	☆	☆	
	DNMG 15 04 08-QM					☆	☆						☆							☆	☆	☆	☆	☆	☆	
DNMG-SM*	DNMG 15 04 08-SM	15	1/2			☆	☆						☆													
	DNMG 15 04 12-SM					☆	☆						☆													
	DNMG 15 06 04-SM					☆	☆						☆													
	DNMG 15 06 08-SM					☆	☆						☆													
	DNMG 15 06 12-SM					☆	☆						☆													

Tabla 12. Herramientas desbaste 1 (A27-28)

únicamente las tres primeras aparecen como recomendadas para una calidad de herramienta, y además se puede usar alguna otra. De entre las múltiples herramientas disponibles de estos tres tipos, que están posibles en el tamaño deseado (15), se elegirá la que mayor radio de punta tenga porque aumenta la seguridad del filo y es apropiado para grandes profundidades de corte. El radio de punta está definido por los dos últimos dígitos del nombre de la herramienta, por lo que se elegirá cualquiera de las

que acabe en 16. La única diferencia es el espesor de la misma (los dos dígitos anteriores al radio de punta) y su diseño (la cuarta letra). Se optará por la DNMG 150616-PM. Esta herramienta está disponible en cuatro calidades diferentes (4205, 4215, 4225, 4235), aunque prioriza la 4225. Una vez conocida la herramienta que se va a utilizar, hay que calcular los parámetros de mecanizado que definirán el proceso. En primer lugar, Sandvik recomienda un rango de avances concreto para cada herramienta, que se puede encontrar en las tablas A500 hasta A503. Dentro de ese rango se elegirá el mayor (para reducir el tiempo de mecanizado), con el que después se determinará la velocidad de corte. Los valores de la tabla que corresponden a las herramientas seleccionadas se muestran en la tabla 14.

$t = \frac{L}{V_c}$ $V_c = \frac{\pi * D * N}{1000}$ $N = \frac{V_f}{f}$ $F_c = ps * S_c$ $P_c = \frac{F_c * V_c}{60}$	t: Tiempo de mecanizado [s]
	V_c : Velocidad de corte (perpendicular al eje de giro) [m/min]
	D: Diámetro de la pieza [mm]
	N: Velocidad de rotación de la pieza [rpm]
	V_f : Velocidad de avance (paralela al eje) [mm/min]
	f: Avance [mm/rev]
	F_c : Fuerza de corte [N]
P_c : Energía específica de corte [N/mm ²]	
S_c : Sección de viruta [mm ²]	
P_c : Potencia de corte	

Figura 26. Fórmulas de torneado

Recomendaciones de velocidad de corte, valores métricos

Las recomendaciones son válidas si se utiliza refrigerante.

ISO P	N.º CMC	Acero	Fuerza de corte específica K_{ct}	Dureza Brinell	<<<< RESISTENCIA AL DESGASTE				
					CT5005	CT5015	GC1525	GC15	
					h_{max} , mm	feed f_m , mm/r			
Núm. MC	N.º CMC	Material	N/mm ²	HB	0.05-0.1-0.2	0.05-0.1-0.2	0.05-0.1-0.2	0.1-0.2-0.3	Velocidad de corte (V_c), m/min
P1.1.Z.AN	01.1	Acero no aleado C = 0,1-0,25%	1500	125	730-590-485	650-540-440	560-465-380	300-250-215	
P1.2.Z.AN	01.2	C = 0,25-0,55%	1600	150	650-530-420	570-480-385	495-415-335	275-225-195	
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0,55-0,80%	1700	170	-	510-425-340	430-365-295	260-215-185	
P2.1.Z.AN	02.1	Acero de baja aleación (elementos de aleación ≤5%) No templado	1700	180	530-450-360	480-400-320	375-320-255	220-175-150	
P2.1.Z.AN	02.12	Acero para rodamientos de bola	1800	210	-	-	-	190-155-135	
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	1850	275	395-325-250	285-235-190	200-165-135	140-115-100	
P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	2050	350	320-260-200	230-190-150	160-135-110	110-95-80	
P3.0.Z.AN	03.11	Acero de alta aleación (elementos de aleación >5%) Recocido	1950	200	-	395-330-250	260-215-175	-	
P3.0.Z.HT	03.21	Acero de herra. templado	3000	325	-	195-165-130	145-115-90	-	
P1.5.C.UT	06.1	Acero fundido No aleado	1550	180	-	260-215-175	225-185-145	-	
P2.6.C.UT	06.2	De baja aleación (elementos de aleación ≤5%)	1600	200	-	270-225-170	175-145-105	-	
P3.0.C.UT	06.3	Alta aleación (elementos de aleación >5%)	2050	225	-	200-165-125	140-115-85	-	
TENACIDAD >>>>									
GC1515	GC1125	GC3005	GC4205	GC4215	GC4225	GC2015	GC4235	GC30	GC2025
0.1-0.2-0.3	0.1-0.2-0.3	0.1-0.3-0.5	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.1-0.4-0.8	0.15-0.25-0.4	0.1-0.4-0.8
310-290-255	310-290-255	520-415-340	620-450-330	570-405-300	510-345-245	440-300-210	425-275-200	305-260-215	295-200-145
280-235-245	280-235-225	470-370-305	560-405-295	510-365-265	455-305-215	400-270-190	380-245-180	275-235-195	265-180-130
285-260-230	260-235-210	445-355-290	530-385-275	460-330-240	425-290-205	370-250-175	365-235-170	260-220-185	250-170-120
295-200-125	-	500-375-300	610-410-285	560-370-260	460-305-215	395-265-190	300-185-135	215-180-150	220-145-100
-	-	-	530-350-250	460-305-215	395-265-190	350-230-160	250-155-110	190-160-130	195-125-85
195-100-40	-	275-215-175	330-230-175	300-210-155	255-180-140	260-180-140	185-120-85	135-115-95	145-95-65
160-80-34	-	225-170-140	265-185-140	240-170-125	205-145-110	210-145-115	150-95-70	110-95-80	115-75-50
-	-	370-275-225	445-295-215	405-270-200	300-205-150	260-180-130	240-155-105	-	185-125-85
-	-	180-130-105	220-140-105	200-130-95	135-95-75	115-85-65	110-70-50	-	85-55-38
-	-	275-220-185	335-235-185	300-215-170	240-180-130	210-155-110	185-140-100	-	140-105-80
-	-	270-200-170	290-205-155	260-185-140	210-140-100	180-120-85	165-100-70	-	125-80-55
-	-	205-155-130	225-150-115	205-135-105	185-125-90	160-110-75	145-95-65	-	110-75-50

Tabla 13. Recomendaciones velocidades de corte (A516-517)

Para la herramienta que se utilizará en este proceso, la profundidad de pasada recomendada está entre 1 y 6 mm y el avance entre 0,23 y 0,65 mm/rev. Por lo tanto, el avance será de 0,65 mm/rev. Con este valor se entrará en la tabla 13. Aquí es donde entran en juego las diferentes calidades, puesto que en cada una de ellas sólo está permitido un rango concreto de avances y hay unas velocidades de corte diferentes para cada uno de ellos. En el caso particular de este proceso, la calidad GC4235 no está contemplada, por lo que habrá que elegir entre las tres restantes. Como todas permiten un avance de 0,65 mm/rev, habrá que elegir la calidad que pueda trabajar con una velocidad de corte mayor para ese valor de avance. Interpolando linealmente entre los valores de la tabla, se observa que será la calidad GC4205 la que trabaje con una velocidad de corte mayor ($V_c=392$ m/min), que será por tanto la empleada en este primer proceso de desbaste.

Plaquita	Profundidad recomendada			Avance recomendado		
	$a_p = \text{mm}$			$f_n = \text{mm/r}$		
	Min		Máx.	Min		Máx.
CNMG190624-PR	5	2	10	0.5	0.32	0.9
VNMG160408-PM	2	0.5	4	0.3	0.15	0.5
DNMG150616-PM	3	1	6	0.4	0.23	0.65

Tabla 14. Avances y profundidades de pasada recomendados (A500-503)

Desbaste 2

Siguiendo la misma línea que en el proceso anterior, primero hay que seleccionar el tipo concreto de herramienta, que en este caso hay que buscarla entre las de la forma C. Antes ya se ha seleccionado el tamaño 19 y el valor de profundidad de pasada sobrepasa los 6 mm, por lo que se buscará la herramienta entre las de desbaste. Como ya se ha explicado el proceso de selección antes y aquí hay mucha más variedad de herramientas, en la tabla 15 sólo se muestran las que pueden mecanizar acero. Existe el tamaño 19 en los tres tipos que aparecen, y se seguirá utilizando el criterio de mayor radio de punta. Por similitud con el anterior proceso se optará por la CNMG 190624-PR, que existe en las calidades 4205, 4215, 4225 y 4235, pero hay varias válidas. En cuanto a los parámetros de corte,



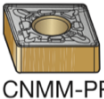
	ISO	□	iC	P						
				GC1515	GC1925	GC4205	GC4215	GC4225	GC4235	GC5015
 CNMM-WR Wiper TECHNOLOGY	CNMM 12 04 08-WR	12	1/2			☆	☆	☆		
	CNMM 12 04 12-WR					☆	☆	☆		
	CNMM 12 04 16-WR					☆	☆	☆		
	CNMM 16 06 12-WR	16	5/8			☆	☆			
	CNMM 16 06 16-WR					☆	☆	☆		
	CNMM 19 06 16-WR	19	3/4			☆	☆	☆		
 CNMG-PR	CNMG 12 04 08-PR	12	1/2			☆	☆	☆	☆	
	CNMG 12 04 12-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMG 12 04 16-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMG 16 06 08-PR	16	5/8			☆	☆	☆	☆	
	CNMG 16 06 12-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMG 16 06 16-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMG 16 06 24-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMG 19 06 08-PR	19	3/4			☆	☆	☆	☆	
	CNMG 19 06 12-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMG 19 06 16-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMG 19 06 24-PR					☆	☆	☆	☆	
 CNMM-PR	CNMM 12 04 08-PR	12	1/2			☆	☆	☆	☆	
	CNMM 12 04 12-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMM 12 04 16-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMM 16 06 08-PR	16	5/8			☆	☆	☆	☆	
	CNMM 16 06 12-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMM 16 06 16-PR					☆	☆	☆	☆	
	CNMM 19 06 12-PR	19	3/4			☆	☆	☆	☆	
	CNMM 19 06 16-PR					☆	☆	☆	☆	
CNMM 19 06 24-PR					☆	☆	☆	☆		

Tabla 15. Herramientas desbaste 2 (A23)

a pesar de que el avance recomendado para esta herramienta es entre 0,32 y 0,9 mm/rev, las diferentes calidades no soportan avances mayores de 0,8 mm/rev, por lo que se utilizará este valor. La calidad empleada será GC4205 porque permite la mayor velocidad de corte ($V_c=330$ m/min).

Acabado

Viendo la tabla de herramientas tipo V que pueden mecanizar acero, queda claro por qué sólo se podía elegir el tamaño 16 (sólo hay disponibles de ese tamaño). Los dos primeros tipos son los que permiten más calidades, y en este caso también se buscará el mayor radio de punta posible, para disminuir la rugosidad superficial, que es inversamente proporcional al radio de punta.



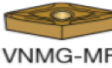
	ISO	16	3/8	P						
				GC	GC	GC	GC	GC	GC	CT
 VNMG-PF	VNMG 16 04 04-PF			☆	☆	☆	★	☆		
	VNMG 16 04 08-PF			☆	☆	☆	★	☆		☆
 VNMG-LC	VNMG 16 04 04-LC	16	3/8	☆	☆		★	☆		
	VNMG 16 04 08-LC			☆	☆		★	☆		
 VNMG-MF*	VNMG 16 04 04-MF	16	3/8					☆		☆
	VNMG 16 04 08-MF							☆		☆
	VNMG 16 04 12-MF							☆		☆

Tabla 16. Herramientas para acabado (A39)

Entre ellos se va a elegir el primer tipo también por similitud con los anteriores y porque es capaz de mecanizar con más calidades que el segundo. Por eso, la herramienta elegida para el acabado será la VNMG 160408-PF. El rango de avances recomendado aquí es desde 0,15 hasta 0,5 mm/rev, y se tomará $f=0,5$ mm/rev para reducir el tiempo de mecanizado. La calidad con mayor velocidad de corte ($V_c=454,3$ m/min) para dicho avance es otra vez la GC4205.

A modo de resumen de este apartado sobre la selección de herramienta, se presentan los resultados obtenidos en una tabla junto con algunos de los parámetros de mecanizado.

	Desbaste 1	Desbaste 2	Acabado
Forma de la plaquita	D	C	V
Tamaño de la plaquita	15	19	16
Ángulo de la herramienta	Negativo	Negativo	Negativo
Tipo de herramienta	DMNG 15 06 16-PM	CMNG 19 06 24-PR	VMNG 16 04 08-PF
Avance	0,65 mm/rev	0,8 mm/rev	0,5 mm/rev
Velocidad de corte	392,0 m/min	330,0 m/min	454,3 m/min

Tabla 17. Herramientas y parámetros de corte escogidos

d) Máxima potencia necesaria

Para elegir el torno con el que se fabricará la pieza, hay que calcular la potencia que tendrá que suministrar y la velocidad a la que deberá ser capaz de girar la pieza para seleccionar el apropiado.

La potencia se expresa como el producto de la velocidad de corte por la fuerza de corte, que a su vez es el resultado de multiplicar la fuerza específica de corte característica del material por la sección de viruta. En torneado, ésta es igual al avance por la profundidad de pasada. La expresión de la potencia, dejando de lado las unidades típicas de cada variable, quedaría por tanto de la siguiente forma:

$$P_c = p_s * a_p * f * V_c.$$

La fuerza específica de corte del acero escogido es 1500 N/mm² (tabla 5), mientras que tanto el avance como la velocidad de corte están ya definidos para los diferentes procesos. Permanece por tanto la potencia como función proporcional a la profundidad de pasada a_p , aumentando si ésta aumenta y disminuyendo si se reduce. Como lo que va a limitar la selección del torno va a ser la potencia máxima que va a proporcionar, se calculará la potencia máxima (correspondiente a la profundidad de pasada máxima) necesaria en todo el proceso y se elegirá un torno con capacidad mayor. En la siguiente tabla se muestran los valores de las diferentes variables para cada proceso y el valor de la potencia de corte máxima necesaria.

	DESBASTE 1	DESBASTE 2	ACABADO
p_s (N/mm ²)	1500	1500	1500
a_{pmax} (mm)	5	8	2
f (mm/rev)	0,65	0,80	0,50
V_c (m/min)	392,0	330,0	454,3
POTENCIA max. (kW)	31,85	52,80	11,36

Tabla 18. Potencias de corte necesarias

La potencia máxima necesaria para llevar a cabo el proceso completo de fabricación de esta pieza es de 52,8 kW.

En cuanto a la capacidad que ha de tener la máquina-herramienta para hacer girar la pieza, estará determinada por la rotación máxima que alcanzará la pieza en las condiciones de corte establecidas. La relación entre la velocidad de corte y la de rotación está dada por la expresión:

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

donde V_c se expresa en m/min, D en mm y N en rpm.

	DESBASTE 1	DESBASTE 2	ACABADO
V_c (m/min)	392	330	
D_{\min} (mm)	23	10	
N_{\max} (rpm)	5425	10504	N_{\max} (torno)

Tabla 19. Velocidades de rotación necesarias

A la hora de calcular estos valores, sólo se ha tenido en cuenta el criterio de hacer mínimo el tiempo de mecanizado, sin que la futura máquina-herramienta que vaya a fabricar la pieza impusiera ninguna limitación, por lo que una vez elegida ésta, habrá que recalcularlos. Esta búsqueda del equilibrio entre lo que recomienda la herramienta y lo que permite la máquina es lo más complejo de la selección de parámetros porque cuando un lado pide una cosa, el otro la contraria y viceversa. En la parte del acabado, aunque previamente se ha calculado una velocidad de corte teórica, no se va a poder utilizar, ya que al mecanizar el final de la bola de la punta se trabaja con diámetros muy pequeños por lo que a velocidad de corte constante la velocidad de rotación se disparará. Como eso no es posible, habrá que trabajar con una velocidad de corte variable correspondiente a la máxima velocidad de rotación que pueda dar el torno. Esta forma de trabajar se utilizará en la segunda parte del acabado y en el mecanizado del cono central en la primera (por la gran diferencia de diámetros), mientras que el acabado de la base se hará a velocidad de corte constante (los diámetros grandes permitirán una V_c mayor) para mejorar la productividad.

e) Elección del torno

Para decidir el torno concreto en el que se va a fabricar la pieza, se ha optado por elegir entre los fabricados por la empresa vasca CMZ por una razón fundamental: la programación del proceso se ha hecho con el simulador de Fagor (también ubicada en Bizkaia) y estos tornos, por cercanía y colaboración, lo podrán utilizar, mientras que otros fabricados en el extranjero es probable que no lo permitan. Además, CMZ ha sido durante mucho tiempo líder internacional en el sector de la máquina-herramienta.

Los tornos disponibles en ese catálogo (<https://www.cmz.com/es/tornos-cnc>) se pueden separar en dos grupos: los de las series TA y TD y los de la serie TX. Esta separación se hace en base a las capacidades máximas de las máquinas de cada grupo para proporcionar una velocidad de rotación y una potencia a la pieza. Aunque hay diferentes series dentro de las TA y TD, se fabrican los mismos modelos y tienen estas características iguales en todas las series (cada modelo tiene valores distintos y no todos están disponibles para todas las series). En cambio, sólo hay dos series dentro de la TX: la Y2 y la Y3, que tienen exactamente las mismas propiedades en cuanto a limitaciones geométricas (máximo diámetro torneable, ...) y a capacidad para aportar potencia y velocidad de rotación, pero difieren en la tecnología: ambas están pensadas para aumentar la productividad, pero la Y3 es más moderna e incluye, entre otros, 3 torretas, además de eje Y para cada una de ellas y dos cabezales. La tabla 20 es la tabla de características de la máquina que se presenta en el catálogo de varias series TA y TD (esta en concreto es la TA Z640). En las series TX se aportan los mismos datos, pero referidos a ambos cabezales. Entre todas las características, hay que elegir las más

restrictivas en cuanto al mecanizado de la pieza y en base a ellas se elegirá el torno concreto.

DATOS TÉCNICOS		TA15						TA20						TA25						
		TA15	TA15M	TA15Y	TA15S	TA15MS	TA15YS	TA20	TA20M	TA20Y	TA20S	TA20MS	TA20YS	TA25	TA25M	TA25Y	TA25S	TA25MS	TA25YS	
Datos generales	Diámetro de volteo máximo sobre bancada (mm)	760																		
	Diámetro de volteo máximo sobre carro (mm)	600																		
	Diámetro máximo torneable (mm)	460																		
	Distancia entre cara de plato y punto (mm)	/640	730			-			713			-			713			-		
	Distancia entre cara del plato y punto (mm)	/640	-			666			-			649			-			649		
	Recorrido eje Y (mm)	-	-	+70	-	-	+70	-	-	+70	-	-	+70	-	-	+70	-	-	+70	
Cabezal	Velocidad máxima (rpm)	4500						4000						4000						
	Paso de barra (mm)	52						66						66						
	Diámetro del plato (mm)	175 / 210						210						250 / 210						
	Paso de barra del plato (mm)	56 / 52						66						66						
	Potencia cabezal (kW) (max./56 40%)	14 / 8						22 / 15						35 / 19						
	Par de giro (Nm)	292 (max) 153 (56 40%)						366 (max) 286(56 40%)						900 (max) 363 (56 40%)						
Torreta	Nº de posiciones	12																		
	Velocidad de giro (rpm)	12000																		
	Potencia (kW) max./56 40%	11,3/8,1																		
	Par de giro (Nm)	75																		
Peso	Peso bruto (kg)	/640	5700 (*)			6100 (*)			5900 (*)			6300 (*)			5900 (*)			6300 (*)		

Tabla 20. Todas las propiedades (TA Z640)

Lo primero que tiene que cumplir la pieza es que su mayor diámetro sea menor que el máximo torneable y el de volteo máximo, ya que si no la pieza no se podría sujetar ni mecanizar. En este caso, el redondo del que se parte es de diámetro 45 mm, por lo que no habrá ningún problema en este aspecto (las TX admiten un diámetro máximo torneable de 255 mm). La otra dimensión máxima que no se puede rebasar es la distancia entre el plato y el otro extremo (entre los dos platos en las TX, <650 mm), que tampoco se supera, ya que la de la pieza es de menos de 150 mm. Por último, la pieza debe entrar en el agujero del husillo principal, cuyo diámetro (paso de barra) también está tabulado. El diámetro de 45 mm cabrá en ambos grupos de series, ya que ninguno es inferior a 52 mm.

DATOS TÉCNICOS		TX66 Y3 Quattro	TX52 Y3 Quattro
Datos generales	Diámetro máximo torneable (mm)	255	255
	Distancia entre las caras de los platos (mm)	639	647
Cabezal izquierdo	Velocidad máxima (rpm)	4000	5000
	Nariz del eje	ASA 8" A2	ASA 6" A2
	Paso de barra (mm)	66	52
	Diámetro del plato (mm)	210	175
	Potencia cabezal (kW) (52 30min/51)	18,5/15	18,5/15
	Par de giro (Nm) (52 30min/51)	165/135	140/115

Tabla 21. Parámetros de los modelos TX66 Y3 / TX52 Y3

Dado que todas las máquinas disponibles cumplen con los “requisitos geométricos”, se decidirá el modelo en función de la potencia y la velocidad de rotación que pueda aportar el cabezal. Los dos valores que aparecen en la fila de la potencia se deben a que la máquina no opera todo el rato a su potencia máxima, sino que se considera un régimen intermitente de carga denominado S6 (que implica que nunca se deja de mecanizar, pero se suministra más o menos potencia en ciclos para evitar sobrecalentamientos) con máximos de potencia en el valor de P_{max} . Dado que en la fabricación de la pieza de ajedrez se necesitarán potencias diferentes en momentos diferentes y sólo se usará la máxima en situaciones puntuales, se puede asumir que el máximo valor de los dos que aparecen será el que tenga que ser igual o mayor que la potencia máxima necesaria. En el caso de las series TX y algunos modelos de la TD, sólo puede funcionar en clases de servicio S1 (régimen continuo) o S2/S3 (parando/reduciendo cada poco tiempo para enfriar la máquina), como se ve en la tabla 21. El segundo caso no interesa aquí ya que se busca una producción continua sin grandes parones, por lo que habrá que optar por el menor valor de la potencia suministrada. Se ha escogido el cabezal izquierdo porque a igualdad de velocidad de rotación puede dar más potencia.

Por otro lado, los parámetros de corte elegidos en el apartado anterior se han escogido para lograr el menor tiempo de mecanizado posibles y teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante de herramientas, pero sin considerar la maquinaria disponible, que va a limitar también algunos valores. Por lo tanto, el objetivo de este apartado será también redefinir estos parámetros para reducir el tiempo de mecanizado ajustándose a un torno real.

En la siguiente tabla se asocian los modelos disponibles en el catálogo de CMZ con sus respectivas velocidades de rotación y potencia máximas.

Modelo	TA15/TD15	TA20/TD20	TA25/TD25	TA30	TD30
N_{max} (rpm)	4500	4000	4000	3500	3500
P_{max} (kW)	14	22	35	42	40
Modelo	TD35	TD45	TD55	TX66	TX52
N_{max} (rpm)	3000	2200	1600	4000	5000
P_{max} (kW)	39	39	39	15	15

Tabla 22. Características de los modelos de torno.

En primer lugar, se pueden descartar rápidamente los modelos TA20/TD20, TD45, TD55, TD30 y TX66, ya que para todos ellos hay otro que para la misma velocidad de rotación permite una potencia mayor o viceversa.

Modelo	TA15/TD15	TA20/TD20	TA25/TD25	TA30	TD30
N _{max} (rpm)	4500	4000	4000	3500	3500
P _{max} (kW)	14	22	35	42	40
Modelo	TD35	TD45	TD55	TX66	TX52
N _{max} (rpm)	3000	2200	1600	4000	5000
P _{max} (kW)	39	39	39	15	15

Tabla 23. Modelos de torno descartados

Para elegir entre los modelos restantes hay que decidir si es más importante como criterio la potencia máxima o la velocidad de rotación. Esto es subjetivo, pero aquí se va a optar por la intermedia y se usará el modelo TA25/TD25.

Una vez obtenidas las limitaciones de la máquina en cuanto a velocidad de rotación y potencia hay que redefinir los parámetros de corte de todas las operaciones para ajustarse a ellas.

Lo primero que hay que hacer es reducir la velocidad de rotación de la pieza en todas las operaciones y una de las formas de lograrlo es bajando la velocidad de corte.

En la primera operación de desbaste, si se trabaja a velocidad de corte constante, ésta vendrá determinada por el valor en la zona de menor diámetro (donde N será máxima). En el cálculo de V_c se toma el diámetro de la pieza antes del mecanizado, por lo que aquí se usará $D_{min}=23$ mm, correspondiente a la pasada 4b.

Como

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

entonces $V_{Cmax}=289$ m/min. Entre las calidades permitidas para la herramienta usada en este proceso, la que permite un mayor valor para el avance a esta velocidad es la GC4225, donde le corresponde un avance de 0,68 mm/rev. Además, este valor del avance está entre los recomendados para la herramienta usada en este proceso.

Sólo falta comprobar si la potencia necesaria está dentro de los límites:

$$P_c = \frac{p_s * f * a_p * V_c}{60} = \frac{1500 * 0,68 * 5 * 289}{60} = 24565 \text{ W}$$

por lo que el torno podría soportar esta operación.

En la segunda zona de desbaste hay que tener en cuenta que el diámetro mínimo mecanizado es muy pequeño (10 mm), lo que implicará una velocidad de corte muy baja en esa zona. Será un sacrificio que hay que hacer y que no supone gran problema, ya que se trata de un tramo corto. Se calculará por tanto en base a la zona central de diámetro 18mm (diámetro inicial 26 mm). Se utilizará esa velocidad de corte constante en los tramos igual o más anchos, mientras que las pasadas 4 y 5 se harán a velocidad de rotación constante e igual a 4000 rpm. Siguiendo el mismo procedimiento que en la primera parte, ahora $V_c=226,2$ m/min y usando esta vez la calidad GC4225, que es la que permite

velocidades tan bajas, el avance será igual a 0,72 mm/rev. La potencia será de 24,84 kW, dentro de lo permitido. En su cálculo se ha usado como profundidad de pasada máxima 6,1 mm (la de la pasada 2), ya que la máxima se da en la última pero ahí la velocidad de corte se reduce también, por lo que la potencia ya no será tan alta.

Para finalizar, en el acabado la potencia no restringe la velocidad de corte, ya que la profundidad de pasada es tan pequeña que nunca se va a superar la potencia máxima. Las dos operaciones de acabado se analizarán por separado por sus diferentes características geométricas.

En la primera, se trabajará a V_c constante hasta la zona del cono central, ya que ahí seguir haciéndolo restringiría mucho su valor por el pequeño valor del diámetro. Por lo tanto, la velocidad de corte en el primer tramo será de:

$$V_c = \frac{\pi \cdot 30 \cdot 4000}{1000} = 377 \text{ m/min}$$

restringida por el menor diámetro.

Para que el avance recomendado por el fabricante para este valor esté dentro de los recomendados habrá que volver a usar la calidad GC4225, obteniendo $f=0,45$ mm/rev.

La potencia necesaria será:

$$P_c = \frac{1500 \cdot 0,45 \cdot 2 \cdot 377}{60} = 8482,5 \text{ W.}$$

Como se había predicho, este valor está muy por debajo del límite. En cuanto a la zona de V_c variable, no habrá ningún problema con la potencia, por lo que sólo habrá que cambiar la programación.

El segundo tramo de acabado incluye diámetros muy diferentes entre sí, por lo que lo más sencillo será utilizar una velocidad de rotación constante (igual a la máxima) y que la velocidad de corte vaya variando. Tomando como referencia la calidad GC4225, se usará el avance intermedio $f=0,4$ mm/rev, que además está dentro del rango recomendado, para así estar cerca de lo habitual tanto para V_c altas como bajas. No hay ningún peligro de superar la potencia disponible. Como no siempre se van a poder usar valores de V_c y f recomendados y relacionados entre sí, las herramientas se van a desgastar más rápidamente, pero no tiene excesiva importancia por ser un tramo corto.

Por último, se presentan los valores corregidos de los parámetros de mecanizado en la siguiente tabla:

	DESBASTE 1	DESBASTE 2	ACABADO 1	ACABADO 2
f (mm/rev)	0,68	0,72	0,45	0,40
ap_{max} (mm)	5	8	2	2
V_c (cte/vble)	constante	por zonas	por zonas	variable
V_c_{max} (m/min)	289,0	226,2	377,0	467,5
N_{max} (rpm)	4000	4000	4000	4000
P_{max} (kW)	24,57	24,84	8,48	9,35

Tabla 24. Parámetros de mecanizado corregidos.

f) Tiempos de mecanizado

La fórmula de la que se obtiene el tiempo de mecanizado es:

$$t = \frac{L}{f \cdot N}$$

donde L es el desplazamiento de la herramienta en el plano XZ.

Los cálculos de las longitudes de cada tramo se harán en base a las características geométricas de cada operación y no se incluyen en este trabajo.

En los tramos de acabado, el diámetro inicial en las pasadas no es constante, por lo que, en el primer tramo, donde V_c es constante, la velocidad de rotación también variará. Se tomará un valor medio del diámetro para el cálculo de N sin que el tiempo de mecanizado se desvíe mucho del real.

Para facilitar la visualización, se presenta la siguiente tabla para cada proceso.

		f (mm)	V _c (m/min)	L (mm)	D _{medio} (mm)	N (rpm)	t (s)
DESBASTE 1	Pasada 1	0,68	289,0	88,00	45,0	2044,3	3,79
	Pasada 2	0,68	289,0	42,84	40,0	2300,0	1,64
	Pasada 3	0,68	289,0	48,48	40,0	2300,0	1,86
	Pasada 4a	0,68	289,0	34,06	30,0	3066,4	0,98
	Pasada 4b	0,68	289,0	17,21	23,0	4000,0	0,38
DESBASTE 2	Pasada 1	0,72	226,2	41,00	45,0	1600,0	2,14
	Pasada 2	0,72	226,2	39,05	38,2	1884,9	1,73
	Pasada 3	0,72	226,2	21,62	26,0	4000,0	0,45
	Pasada 4	0,72	vble	19,73	26,0	4000,0	0,41
	Pasada 5	0,72	vble	2,90	10,0	4000,0	0,06
ACABADO 1	Pasada 1	0,45	377,0	27,03	35,0	3428,7	1,05
	Pasada 2	0,45	vble	34,42	23,0	4000,0	1,15
ACABADO 2	Pasada 1	0,40	vble	64,12	22,0	4000,0	2,40
t_{tot}							18,04

Tabla 25. Tiempos de mecanizado

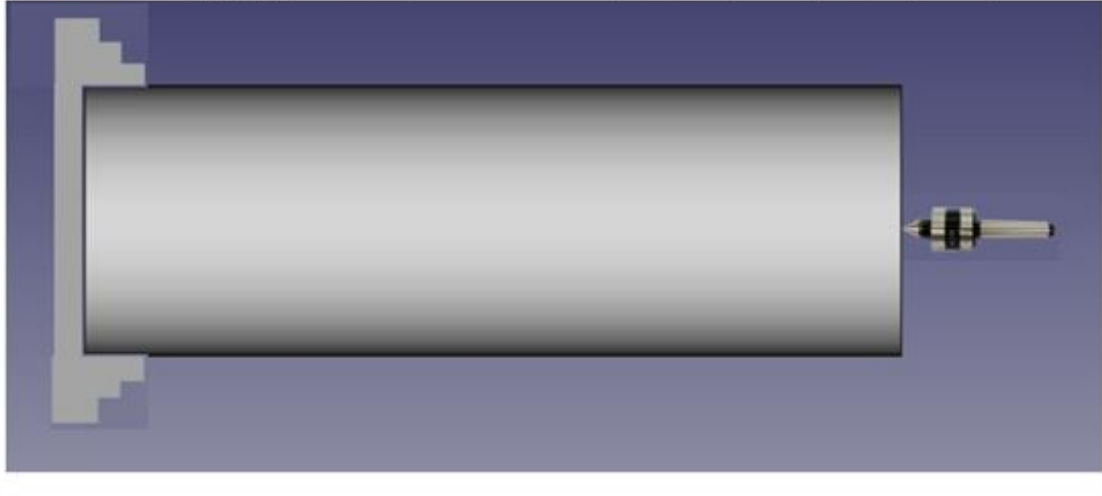
g) Hoja de proceso

La hoja de proceso es el documento que describe el trabajo a realizar para la fabricación de la pieza. En ella están definidos los diferentes pasos, así como las condiciones de trabajo de cada uno de ellos. En ésta en concreto, para las características de algunos de los pasos, con velocidades de corte constantes y variables alternando, habrá que tener en cuenta estos cambios que no se reflejan en la hoja de proceso, pero que sí se han definido

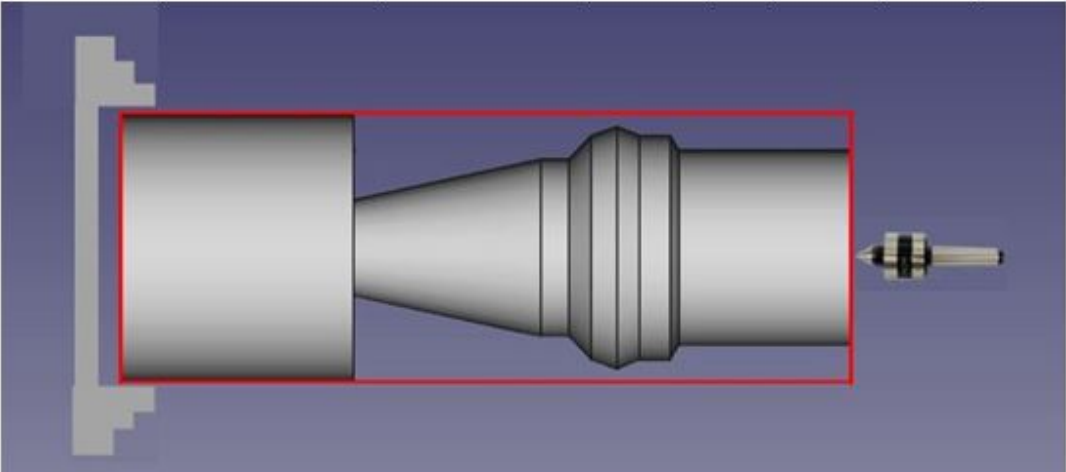
anteriormente. La hoja de proceso correspondiente a la fabricación de la pieza de ajedrez estudiada se incluye a continuación y en cada paso se incluye una simulación en 3D de cómo quedaría la pieza después de realizarlo. Además, se añade un croquis del contrapunto y del plato de garras para ilustrar el sentido del mecanizado (desde el contrapunto al plato).

HOJA DE PROCESO		Nº de hoja: Hoja Nº:	1
Máquina: Torno CNC modelo TA25 (CMZ)	Número de pieza: 1	Bruto: ∅ 45*129	
Pieza: Reina de ajedrez	Material: Acero no aleado	Autor: Mikel Fernández de Gamboa Andrio	

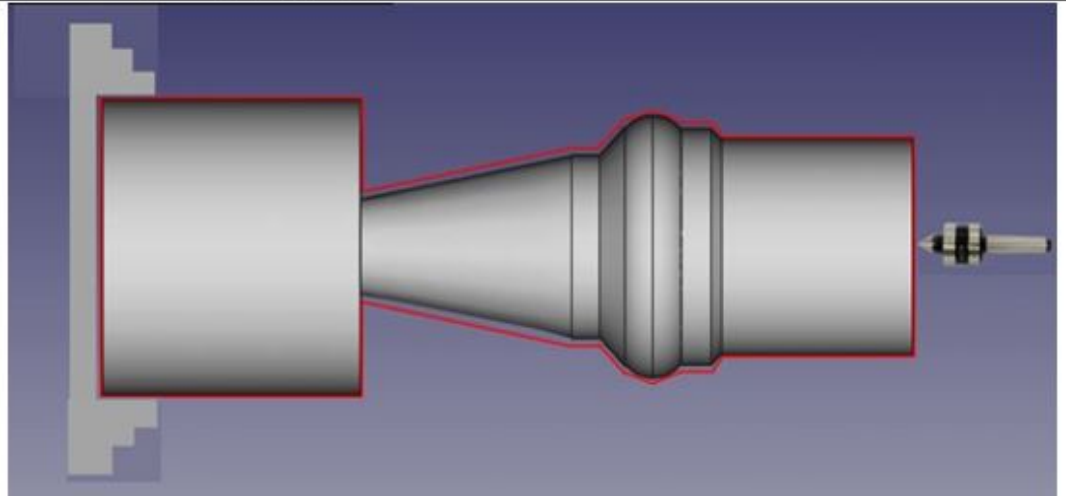
Número de:	Descripción de:	Utillajes	Condiciones de corte				Tiempo (s)
Fase	Fase	Herramientas	V _c (m/min)	N _{max} (rpm)	f _z (mm/rev)	a _{pmax} (mm)	
Subfase	Subfase	Aparatos de control					
Operación	Operación						
1							
1							
	Colocación del tocho inicial						



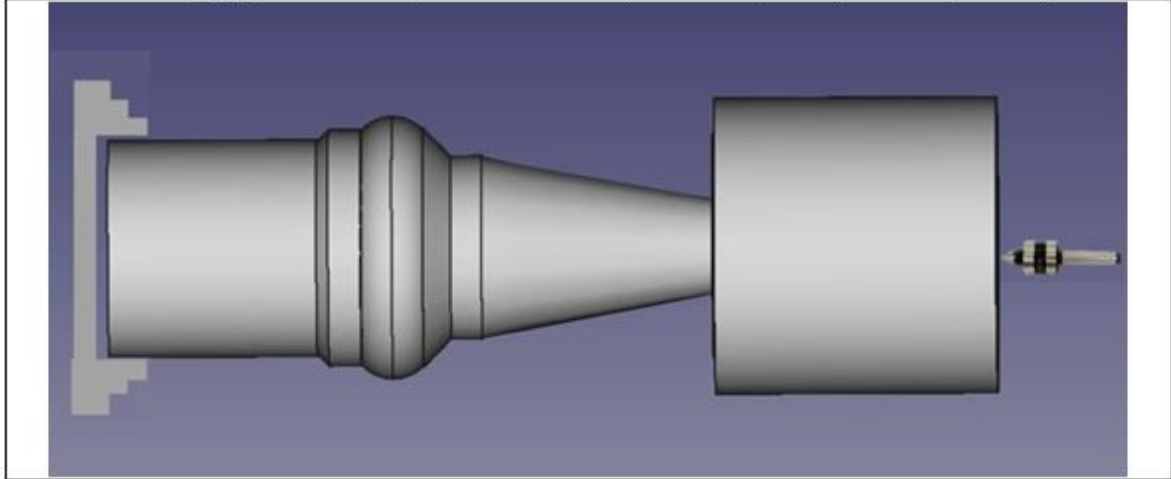
Número de:	Descripción de:	Utillajes	Condiciones de corte				Tiempo (S)
Fase	Fase	Herramientas	V_c (m/min)	N_{max} (rpm)	f_c (mm/rev)	a_{max} (mm)	
Subfase	Subfase	Aparatos de control					
Operación	Operación						
2			289	4000	0,68	5	8,65
1	Desbaste	DMNG 15 06 16-PM					
	Contorneado						



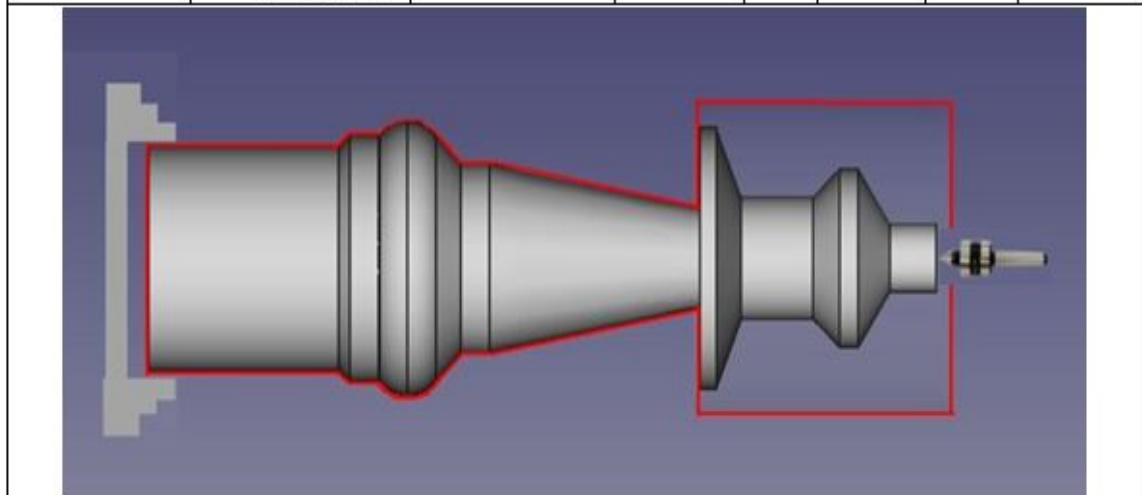
Número de:	Descripción de:	Utillajes	Condiciones de corte				Tiempo (S)
Fase	Fase	Herramientas	V_c (m/min)	N_{max} (rpm)	f_c (mm/rev)	a_{max} (mm)	
Subfase	Subfase	Aparatos de control					
Operación	Operación						
2			v_{ble} (max=377)	4000	0,45	2	2,2
2	Acabado	VMNG 16 04 08-PF					
	Contorneado						



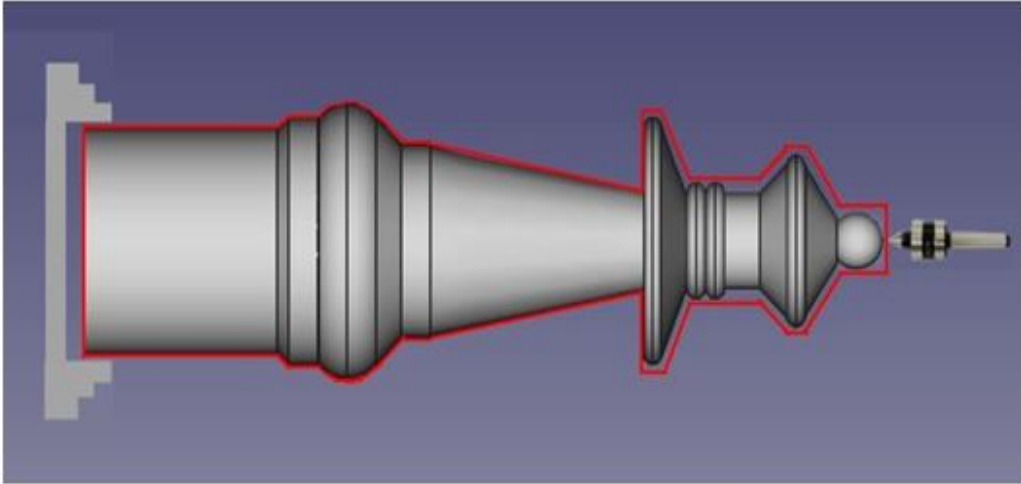
Número de:	Descripción de:	Utillajes	Condiciones de corte				Tiempo (S)
Fase	Fase	Herramientas	V_c (m/min)	N_{max} (rpm)	f_c (mm/rev)	a_{max} (mm)	
Subfase	Subfase	Aparatos de control					
Operación	Operación						
3							
1							
	Dar la vuelta a la pieza						



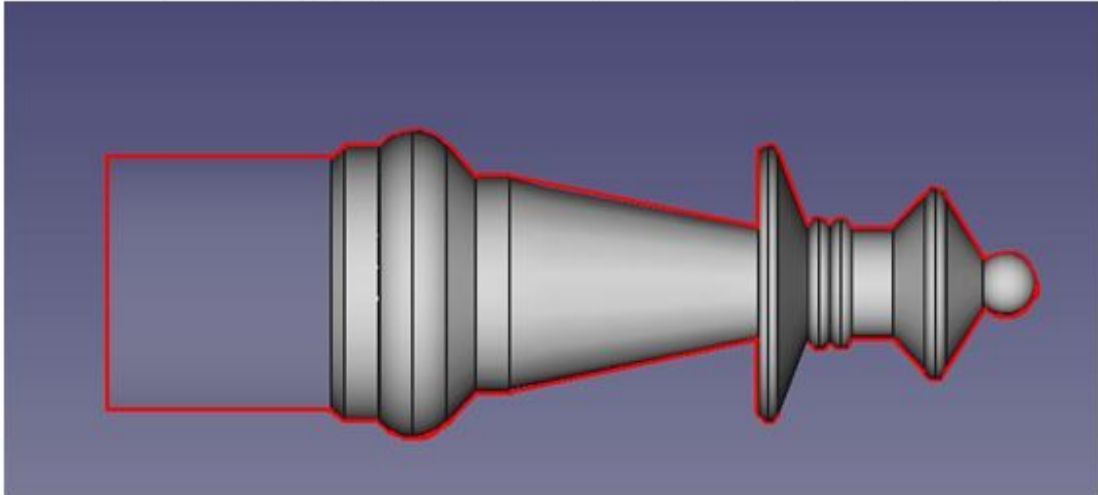
Número de:	Descripción de:	Utillajes	Condiciones de corte				Tiempo (S)
Fase	Fase	Herramientas	V_c (m/min)	N_{max} (rpm)	f_c (mm/rev)	a_{max} (mm)	
Subfase	Subfase	Aparatos de control					
Operación	Operación						
4							
1	Desbaste	CMNG 19 06 24-PR	$vble$ (max=226,2)	4000	0,72	8	4,79
	Contorneado						



Número de:	Descripción de:	Utillajes	Condiciones de corte				Tiempo (S)
Fase	Fase	Herramientas	V_c (m/min)	N_{revs} (rpm)	f_z (mm/rev)	a_{max} (mm)	
Subfase	Subfase	Aparatos de control					
Operación	Operación						
4			$vble$ ($max=467,5$)	4000	0,4	2	2,4
2	Acabado Contorneado	VMNG 16 04 08-PF					



Número de:	Descripción de:	Utillajes	Condiciones de corte				Tiempo (S)
Fase	Fase	Herramientas	V_c (m/min)	N_{revs} (rpm)	f_z (mm/rev)	a_{max} (mm)	
Subfase	Subfase	Aparatos de control					
Operación	Operación						
5							
1							
	Tronzado						



9. TAREAS

a) Resumen de tareas

- **Tarea 1. Selección de la pieza**

Para explicar con mayor claridad todos los pasos necesarios para definir el proceso de fabricación de una pieza, es muy recomendable elegir un ejemplo concreto y basar las explicaciones en él. La primera tarea de este proyecto consiste en la selección de dicha pieza ejemplo (en este caso, la reina) teniendo en cuenta sobre todo su idoneidad como modelo para ilustrar los conceptos teóricos explicados.

Duración: 18/10/2018 – 19/10/2018 (2 días)

- **Tarea 2. Diseño conceptual de la pieza**

El diseño conceptual de la pieza es la fase en la que se definen los requerimientos que ha de cumplir la pieza para que sea útil en el uso al que está destinada. En este caso, esta tarea ha consistido en la elección del diseño detallado de la pieza (fuertemente condicionada por su capacidad para ser mecanizada en un torno) y la selección de su material. Para esto último se han tenido en cuenta varios aspectos como el precio, la durabilidad o la reciclabilidad.

Duración: 28/10/2018 – 13/01/2019 (11 semanas)

- **Tarea 3. Diseño en CAD (3D)**

Mientras se finalizado el diseño conceptual de la pieza, y con el plano final ya decidido, se ha realizado el diseño en 3D de la pieza. Para ello se ha utilizado el programa FreeCAD.

Duración: 15/11/2018 – 25/11/2018 (11 días)

HITO 1: Diseño en CAD (25/11/2018)

- **Tarea 4. Selección de la secuencia de operaciones de mecanizado**

La pieza final se obtiene partiendo de un redondo inicial de material cilíndrico al que se realizan sucesivas operaciones de mecanizado hasta que adopte la forma deseada. Al principio se elimina mucho material y se aproxima la forma final (desbaste) para después precisar los detalles en las pasadas de acabado, donde la cantidad de viruta arrancada es mucho menor. En esta tarea se ha determinado tanto el orden de las pasadas como sus características. Las diferentes pasadas de desbaste hay que definir las prestando especial atención a las profundidades de pasada para no hacerlas excesivamente profundas. Esta pieza en concreto tiene diámetros muy diferentes entre sí, por lo que se ha separado cada proceso en varias pasadas distintas, con el fin de no obtener un valor de la profundidad demasiado elevado en cada una de ellas.

Duración: 02/04/2019 – 09/04/2019 (8 días)

- **Tarea 5. Programación en CNC**

Una vez definidas todas las pasadas y su orden, se ha procedido con su programación en un programa de control numérico por ordenador (en concreto, se ha usado el de Fagor). Dado que se va a trabajar con una máquina de este tipo, este paso es indispensable para poder fabricar la pieza. Además, se han simulado los diferentes procesos paso a paso para ilustrarlos mejor. Esta programación se ha hecho con unos parámetros de corte arbitrarios que se corregirán más adelante.

Duración: 16/04/2019 – 25/04/2019 (10 días)

HITO 2: Programas de CNC (25/04/2019)

- **Tarea 6. Selección de las herramientas y parámetros de mecanizado**

Después de determinar las características de todas las pasadas, se ha pasado a explicar el procedimiento para elegir las herramientas adecuadas para cada una de ellas, al igual que los parámetros de corte que definirán el mecanizado (avance y velocidad de corte). Para ello se ha usado el catálogo de herramientas de Sandvik. Está todo explicado en detalle en el trabajo, por lo que no se van a dar muchas explicaciones aquí, pero sí se va a remarcar que se van a obtener valores provisionales porque aún no se han impuesto las restricciones de la máquina.

Duración: 25/04/2019 – 06/05/2019 (14 días)

- **Tarea 7. Selección de máquina-herramienta**

Para seleccionar en qué máquina se va a fabricar la pieza, se ha elegido un catálogo (CMZ) y se ha calculado la potencia máxima provisional necesaria para elegir un torno capaz de suministrarla. El otro parámetro que condiciona esta selección es la velocidad de rotación máxima que puede transmitir la máquina a la pieza. Tras analizar todas las máquinas del catálogo se ha concluido que ninguna era capaz de ofrecer los valores necesarios (calculados respecto a los parámetros provisionales de la Tarea 6). Por lo tanto, se ha elegido la máquina que más se acerca a lo calculado previamente y se han modificado los parámetros de mecanizado de forma que se cumplieran todas las restricciones.

Duración: 29/05/2019 – 08/06/2019 (11 días)

- **Tarea 8. Cálculo de tiempos de mecanizado**

Para poder realizar la hoja de procesos, hay que calcular el tiempo de mecanizado de cada uno de los procesos. Para ello se han usado los parámetros definitivos calculados tras la selección de la máquina.

Duración: 08/06/2019 – 12/06/2019 (15 días)

- **Tarea 9. Redacción hoja de proceso**

Tras definir las diferentes operaciones, seleccionar la máquina y elegir las herramientas y parámetros de corte óptimos, se ha redactado la hoja de proceso de la fabricación de la pieza. En ella se resumen todos los pasos, se indican sus características y, además, se incluye un modelo de cómo queda la pieza tras cada una de las operaciones. Éste era el objetivo principal del trabajo, por lo que una vez acabado se ha finalizado también la redacción del mismo.

Duración: 12/06/2019 – 19/06/2019 (8 días)

HITO 3: Documentación del trabajo (19/06/2019)

- **Tarea 10. Gestión del proyecto**

Una vez finalizado el trabajo, se ha realizado el análisis de los gastos realizados, tanto de los costes de personal como del material amortizable y del fungible. Para ello se han tenido en cuenta los salarios de los participantes, así como la amortización del material (ordenador) y las licencias empleadas.

Duración: 15/04/2019 – 19/04/2019 (5 días)

b) Diagrama de Gantt

Para reflejar cronológicamente el desarrollo del proyecto, se ha empleado el siguiente diagrama de Gantt:

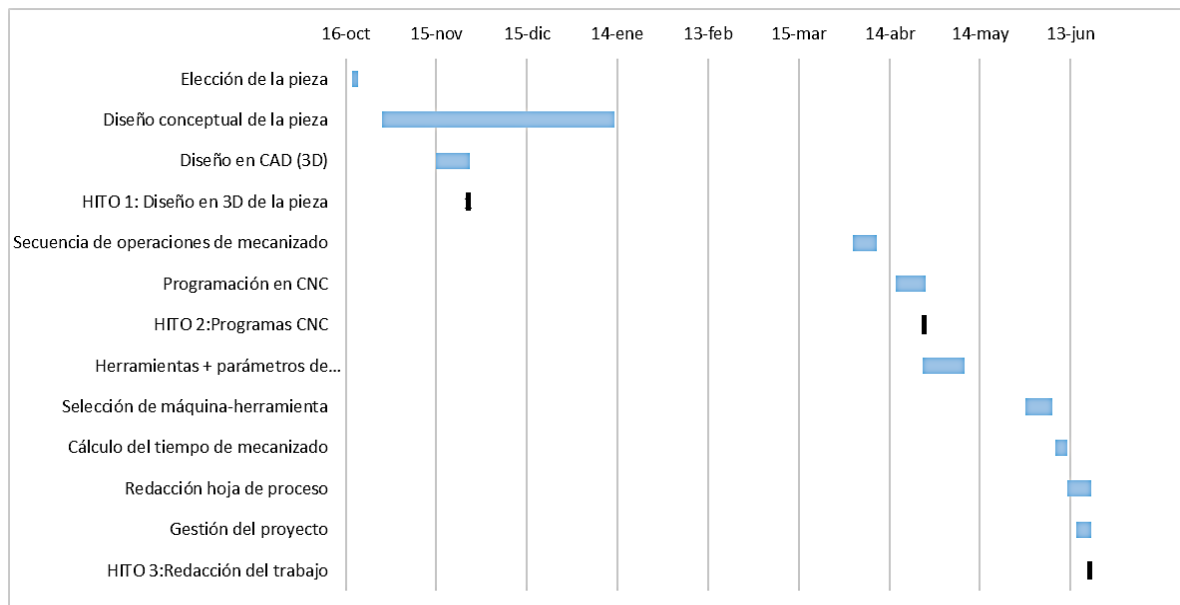


Figura 27. Diagrama de Gantt

10. DESCARGO DE GASTOS

En el análisis de los gastos necesarios para la realización del trabajo se incluirán tres aspectos: los gastos de personal, el material amortizable y el material fungible, así como un resumen final.

En primer lugar, en el trabajo han participado dos personas, el alumno y la tutora encargada de la supervisión. Dentro del tiempo dedicado por el alumno, se incluye el invertido en la búsqueda de información, en la planificación, en el desarrollo de cada una de las partes, en la realización de cálculos y en la redacción del trabajo. Por otro lado, también se tendrán en cuenta las horas dedicadas a reuniones entre ambos participantes para puestas en común y correcciones, evidentemente en ambas personas. En el caso de la tutora, se contabilizará además el tiempo dedicado a la lectura y corrección del trabajo.

Debido a la diferencia en titulación y experiencia, el coste horario de la tutora será superior al del alumno, pero el mayor tiempo dedicado por este último hará que su coste total sea mayor.

	nº horas	Coste (€/h)	Coste total (€)
Alumno	250	20	5000
Tutora	20	50	1000
Subtotal (€)			6000

Tabla 26. Costes de personal

Por otro lado, están los costes del material amortizable. Esta categoría incluye a los gastos que se asumen en un momento concreto pero sus efectos positivos se recogen en varios. Un ejemplo sería la compra de la licencia de un software por una empresa al comenzar un proyecto nuevo (con una duración determinada), pero que se puede utilizar para otros trabajos y a lo largo de un tiempo mayor. Por lo tanto, hay que prorratear el coste de estos activos en función de la cantidad de uso para el proyecto y total que se les dé. En este caso, los activos amortizables son el ordenador utilizado para realizar el proyecto y los softwares empleados (Office, CAD y el simulador CNC).

Se considerará que la amortización del ordenador es a 5 años y la de los softwares a 2 años.

De las 250 horas que se ha dedicado el alumno al trabajo, se considera que entre reuniones con la tutora (5 h) y planificación y realización de cálculos (45 h), ha habido 50 horas en las que no se ha usado el ordenador. Por lo tanto, el uso de éste ha sido de unas 200 horas. Hay que tener en cuenta que gran parte de la documentación (libros, manuales, ...) se ha usado en formato digital, por lo que esto ha incrementado el uso de este sistema. El precio del ordenador es de 300€.

En cuanto a las licencias de los softwares y los propios programas, se ha usado una versión gratuita de CAD (FreeCAD), suficiente para cubrir las necesidades, por lo que su coste es nulo, al igual que el del simulador de Fagor. Por otro lado, el precio de la licencia de Microsoft Office es de 69 € anuales (<https://products.office.com/es-es/buy/office>), que como se va a considerar una amortización a 2 años, el total será de 138 €. De las 200 horas invertidas usando el ordenador, se estima que 100 se han empleado en la búsqueda de información y en lectura y trabajo de la documentación. Aprender a usar CAD y generar

la pieza y los diferentes pasos de la fabricación en ese programa ha llevado 25 horas, mientras que la implementación de los pasos de la fabricación y su simulación en el software de control numérico, además de aprender a dominarlo, se ha hecho en 10 horas. El resto del tiempo (65 h), se ha dedicado a redactar el trabajo y corregirlo, por lo que se han empleado las herramientas de Microsoft Office, principalmente Word.

Para el cálculo del tiempo de amortización de los diferentes activos, se supondrá que se van a utilizar durante el tiempo indicado anteriormente (2 y 5 años), pero 8 horas al día (un turno). Para los tiempos en los que se esté trabajando en otros proyectos, se seguirá asumiendo que el uso de Microsoft Office será de un 32,5% del uso total del ordenador. Para el resto de los programas, cuyo coste es nulo, no hace falta asumir su uso en otros proyectos, ya que el coste de la amortización será cero. Además, mientras que lo que ofrece Office se usa en la mayoría de los trabajos, CAD y el control numérico son más específicos y no se usarán tanto en otras aplicaciones.

A continuación, se calcula como ejemplo el tiempo de amortización del ordenador:

$$\text{Tiempo de amortización (h)} = 5 \text{ años} * \frac{365 * 24 \text{ h}}{1 \text{ año}} * \frac{8 \text{ h uso}}{24 \text{ h}} = 14600 \text{ horas uso}$$

Por otro lado, la amortización se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Amortización (€)} = \frac{\text{Coste (€)} * \text{Uso (h)}}{\text{Tiempo de amortización (h)}}$$

	Precio (€)	Uso (h)	Tiempo de amortización (h)	Amortización (€)
Ordenador	300	200	14600	4,11
Licencia CAD	0	25	-	0
Licencia Fagor CNC	0	10	-	0
Licencia Microsoft Office	138	65	5840	1,54
			Subtotal (€)	5,65

Tabla 27. Costes de amortización

Como material fungible se entiende a todo aquel que no se puede usar sin que sea consumido, es decir, que una vez usado no se puede sacar más provecho de él. Un ejemplo son los libros: una vez que se ha obtenido toda la información de ellos no se puede sacar más, en contraposición, por ejemplo, a los programas de ordenador, que tras usarlos para algo concreto pueden emplearse en otro proyecto.

En este proyecto, el único uso que se ha hecho de material fungible es precisamente la bibliografía y algo de material de oficina. Además de internet, se han empleado una serie de manuales (de CAD, del simulador CNC y de Sandvik), todos gratuitos, por lo que no repercutirán en el coste final. En cuanto al material de oficina, se pueden considerar folios y material de escritura, pero cuyo uso y precio es bajo y se tomará un valor de 10 € (5 € de folios y otro tanto de bolígrafos).

	Coste (€)
Bibliografía	0
Material de oficina	10
Subtotal (€)	10

Tabla 28. Costes de material fungible

Los costes totales del proyecto serán la suma de las tres categorías, es decir, 6015,65 €.

Como conclusión a esta parte, cabe destacar que la gran mayoría de los costes proceden de los costes de personal. Esto se debe a que el material informático empleado ha sido en gran parte gratuito y lo que ha costado dinero, se ha utilizado poco en comparación con el tiempo en el que se supone que se va a amortizar. En cambio, el tiempo dedicado por los dos participantes ha sido extenso y costoso. La otra fuente de gastos posibles, los materiales fungibles, han supuesto muy pocos gastos precisamente por el gran uso del ordenador.

11. CONCLUSIONES

Echando la vista atrás a los objetivos de este trabajo, se puede concluir que se han alcanzado íntegramente.

En primer lugar, se ha definido geométricamente la pieza que ha servido como ejemplo y se ha modelizado en 3D mediante un software de diseño asistido por ordenador.

En cuanto a los pasos de la fabricación, se ha optado por separar el proceso en dos partes, cada una con desbaste y acabado, y usar el contrapunto siempre que ha sido posible (por razones de espacio físico). Entre ellas se le dará la vuelta a la pieza para mecanizar por el otro lado. En cada uno de los subprocesos se han definido las diferentes pasadas que hay que realizar, y también se han programado todos en un simulador CNC.

La siguiente parte del trabajo trata sobre la determinación de los parámetros de mecanizado y condiciones de trabajo de cada uno de los subprocesos. Se ha seleccionado el acero no aleado como material de la pieza, y se han seleccionado tres herramientas diferentes en base al catálogo de Sandvik. Para el primer desbaste se usará una del tipo DMNG 15 06 16-PM, para el segundo la CMNG 19 06 24-PR y para los dos procesos de acabado se usará la VMNG 16 04 08-PF.

Tras elegir unos parámetros de corte y avances provisionales para tener una referencia de la potencia máxima que se iba a necesitar, se ha elegido un torno del modelo TA25 del catálogo de CMZ. Con las restricciones impuestas por esta máquina, se ha modificado los parámetros de mecanizado para no superar sus límites (velocidad de rotación de la pieza máxima de 4000 rpm y potencia máxima de 35 kW). El valor del avance se encuentra ente 0,4 y 0,72 mm/rev y la velocidad de corte, restringida por la velocidad de rotación, llega a alcanzar 467,5 m/min. Con estos parámetros se ha calculado el tiempo de mecanizado de cada una de las partes, resultando en un tiempo total de 18,04 segundos.

Una vez definidas tanto las características de la pieza como las condiciones de trabajo, se ha redactado la hoja de proceso, es decir, se ha cumplido el objetivo principal del trabajo. Esta hoja de proceso está dividida en siete pasos, y en cada uno se indica cuál es progreso respecto al anterior, así como sus condiciones de trabajo.

Por lo tanto, como se ha indicado al comienzo de este apartado, los objetivos fijados inicialmente se han cumplido en su totalidad y se ha redactado la hoja de procesos final, además de explicar claramente cada uno de los pasos a seguir para llegar a ella.

12. REFERENCIAS

- SANDVIK Coromant. Formación Manual. Tecnología de Mecanizado de Metal (2017)
- SANDVIK Coromant. Herramientas de torneado (2012)
- Simulador CNC Fagor. Manual del usuario (Ref: 1307)
- Simulador CNC 8070 Fagor. Manual de ejemplos, modelo T (Ref: 0706)
- <http://www.ricardogomez.com/matematicas/ajedrez> (26/12/2018, 12:30)
- www.123ajedrez.com (26/12/2018; 13:00)
- <http://latiendadeajedrez.com/content/10-guia-tamano-de-piezas> (26/12/2018; 17:00)
- <http://elalfilinquieto.blogspot.com/2016/02/la-piezas-de-ajedrez.html> (26/12/2018; 17:00)
- <https://www.cnccookbook.com/neat-cnc-chess-set/> (28/12/2018; 12:20)
- <https://edoc.site/practica-3-ajedrez-pdf-free.html> (06/12/2018; 14:00)
- <http://www.epetrg.edu.ar/apuntes/principiosdetorneado.pdf> (28/12/2018; 19:00)
- <https://www.coursehero.com/file/p1d8jc7/DUREZA-DUCTILIDAD-Y-FRAGILIDAD-MATERIAL-ACERO-ALUMINIO-PL%C3%81STICO-VIDRIO/> (29/12/2018; 12:30)
- <http://latiendadeajedrez.com/4-piezas-de-madera> (09/01/2019; 12:00)
- https://plasticker.de/preise/pms_en.php?kat=Mahlgut&aog=A&show=ok&make=ok (09/01/2019; 13:30)
- <http://web.mit.edu/course/3/3.11/www/modules/props.pdf> (09/01/2019; 13:30)
- <https://www.maderea.es/> (10/01/2019)
- http://www.laservalencia.com/descargas/TABLA_COM_QUIMICA.pdf (10/01/2019; 18:00)
- <http://mmc-permanent.learnways.com/courses/131/material-properties.html> (12/01/2019; 13:30)
- <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/principales-operaciones-de-un-torno/> (16/02/2019; 11:30)
- <https://www.areatecnologia.com/herramientas/torno.html> (16/02/2019; 12:15)
- <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/principales-operaciones-de-un-torno/> (16/02/2019)
- http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/721_ca.pdf (16/02/2019; 15:30)
- <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/pages/default.aspx> (16/02/2019; 16:00)
- <https://www.cmz.com/es/tornos-cnc> (02/06/2019; 20:00)
- <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17109/Aplicaci%C3%B3n%20industrial%20de%20motores%20de%20inducci%C3%B3n.%20Clases%20de%20servicio.pdf?sequence=1> (03/06/2019; 19:00)