



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Estudio del comportamiento básico en
mecanizado del torno
Jashöne M-215-260-E**

Autor:

Alves Vicente, Mónica

Tutor:

Mahillo Isla, Raúl

Dpto. Ciencia de los Materiales e
Ingeniería Metalúrgica, Expresión Gráfica
en la Ingeniería, Ingeniería Cartográfica,
Geodesia y Fotogrametría, Ingeniería
Mecánica e Ingeniería de los Procesos
de Fabricación

Valladolid, Julio de 2017.

AGRADECIMIENTOS:

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor Raúl el buen hacer y la dedicación hasta el último momento, así como todos los conocimientos adquiridos y consejos.

También quiero agradecer el trabajo realizado a Juan José Sanabria, técnico del laboratorio de la sede Francisco Mendizábal, lugar donde se ha realizado gran parte del trabajo, por su atención y esfuerzo.

En el plano personal quiero darle las gracias a Antonio por saber llevarme y por el sacrificio que ha supuesto llegar hasta el día de hoy. A María del Carmen por escucharme, por entenderme y por allanar el camino. Y por último a Concha, por todo.

Gracias a todos los que en algún momento han estado.

“Todo conocimiento empieza con los sentimientos”

Leonardo da Vinci.

Resumen:

En este Trabajo de Fin de Grado se procede a analizar el torno JASHONE M-215-260-E situado en la sede Francisco Mendizábal. Para ello se realiza el mecanizado de un número de piezas iguales y del mismo material. Para dicha fabricación se pone especial cuidado en el proceso seguido por el operario, aunque en todo momento será el proceso que él sigue de forma habitual, de tal forma que el estudio sea lo más fiel a la realidad posible. Posteriormente se procederá a la medición y análisis de los datos obtenidos.

El objetivo de este trabajo es conocer el funcionamiento actual de la máquina, sus limitaciones y las aplicaciones en las que es aceptable su uso, así como las posibles modificaciones a realizar sobre la máquina para la corrección de errores.

Palabras Clave:

- Mecanizado.
- Torno.
- Repetitividad.
- Medida.
- Capacidad.

ÍNDICE.

1. Introducción y objetivos.....	1
2. Descripción del material empleado.....	3
2.1 Torno.	3
2.2 Material.	4
2.3 Instrumentos de medida.....	6
Micrómetro (0-25mm)	6
Micrómetro (25-50mm).....	6
2.4 Herramientas pertenecientes al torno.....	7
Cilindrar.	7
Tronzar.....	7
Refrentar.	8
3. Planos de la pieza.....	11
4. Descripción del proceso de fabricación	17
5. Análisis de datos.....	27
5.1 Análisis de la medida del diámetro.....	29
5.2 Análisis de la medida de la altura.	34
6. Conclusiones.....	41
7. Bibliografía	43
8. Anexos.	45

1. Introducción y objetivos.

Este trabajo de fin de grado nace a partir de varios aspectos, el principal es realizar un análisis real de una de las máquinas propiedad de la Universidad de Valladolid, más concretamente de las usadas por parte del área de ingeniería de Procesos de Fabricación. Debido al interés suscitado por el futuro traslado de la maquinaria perteneciente a la universidad, se decide realizar el estudio sobre una de las máquinas que van a trasladarse para conocer su estado actual y limitaciones. La máquina herramienta elegida ha sido el torno convencional paralelo y fruto de la reflexión de los posibles estudios que pueden realizarse sobre él, se pone de manifiesto una carencia de los laboratorios pertenecientes a las asignaturas del área de Procesos de Fabricación. Esto se corresponde con el análisis de la fabricación en una máquina, la calidad obtenida de ella y las posibles modificaciones que han de realizarse para obtener las piezas deseadas con valores aceptables de tolerancias.

Con esto en mente se decide que este trabajo de fin de grado no se dirige solo a realizar un estudio, si no a proporcionar el material y la información necesarios para futuros laboratorios realizados por alumnos de la Universidad.

Objetivos.

- El primer objetivo es conocer los materiales necesarios para realizar un estudio como el que se plantea, las características, y el funcionamiento de cada uno de ellos.
- Seguir un proceso de fabricación igual para todas las piezas garantizando así la homogeneidad entre ellas. Esto se realiza siguiendo el proceso habitual por parte del operario, obteniendo así el comportamiento real de la máquina.
- Realizar mediciones sobre las piezas fabricadas y estudiar los resultados a raíz de los valores medidos. Para ello y con la idea de seguir unas directrices normalizadas se obtiene la norma AFNOR NF E 60-181, correspondiente a la aceptación de modelos de producción y condiciones necesarias para el estudio.
- Por último, razonar las conclusiones, así como las posibles modificaciones cuya implementación es necesaria para obtener mejores resultados en la fabricación. Estas modificaciones pueden ser sobre la propia máquina o sobre el proceso de fabricación. También se exponen los futuros usos de este estudio y las posibles líneas de trabajo. Este es el objetivo más importante puesto que es el que más afecta al correcto funcionamiento de la máquina.

2. Descripción del material empleado.

En esta primera parte del trabajo se describen los materiales fundamentales para la realización de las piezas y su posterior medición. Se mencionan otros materiales pertenecientes al torno pero su uso no es crítico en la obtención de los resultados, por lo que no es necesaria su descripción específica.

2.1 Torno.

El torno que se ha utilizado para este estudio es el JASHÖNE M-215-260-E, propiedad de la Universidad de Valladolid. Actualmente está ubicado en el laboratorio de Sistemas de Producción y Fabricación de la Sede Francisco Mendizábal, imagen 2.1.



Imagen 2.1: Torno JASHÖNE M-215-260-E.

Las principales características de este torno son las siguientes:

Tabla 2.1: Características del torno JASHÖNE M-215-206-E.

Torno JASHÖNE	
Modelo	M-215-260-E
Distancia entre puntos	1000 mm
Número	17-809-B
Agujero eje cabezal	104
Nariz del eje	Normal
Escote	Si
Velocidades	de 23 a 1000 rpm
Potencia	4,5 Cv

El torno consta tres carros para los movimientos secundarios: longitudinal, transversal y tercer carro orientable; los dos primeros tienen además instalado un visor de cotas. En el movimiento principal, las diferentes velocidades de giro que puede alcanzar se regulan con unas palancas que se pueden poner en distintas posiciones. Estas a su vez activan los engranajes que proporcionan la velocidad final. Conociendo las combinaciones se pueden conocer todas las velocidades posibles alcanzadas por el torno. (EDEBÉ, 1978)

Cabe destacar que a pesar de ser un torno del año 1976 se conserva muy bien debido al mantenimiento llevado a cabo por Juan José Sanabria, técnico del laboratorio donde se encuentra dicho torno, y en un gran estado de limpieza.

2.2 Material.

El material empleado para la fabricación de las piezas es un duraluminio; una aleación ligera de aluminio que contiene magnesio, manganeso y cobre y cuya dureza se aproxima a la de un acero no aleado (Real academia Española, 2014).

El material seleccionado es el aluminio 6082, cuya composición y principales características se muestran en las tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2: Composición del aluminio 6082.

Composición química	
Silicio	0.70 - 1.30 (%)
Hierro	0.5 (%)
Cobre	0.1 (%)
Manganeso	0.4-1 (%)
Magnesio	0.6 - 1.2 (%)
Cromo	0.25 (%)
Cinc	0.2 (%)
Otros	0.1 (%)
Aluminio	RESTO

El precio del aluminio 6082 es de 5€/kg aproximadamente (a fecha 30 de Junio de 2017)

Tabla 2.3: Propiedades del aluminio 6082.

Propiedades físicas (y mecánicas)	
Módulo de Young (Mpa)	70.000
Módulo de rigidez (Mpa)	26.400
Peso específico	0,33
Intervalo de fusión (°C)	575 - 650
Calor específico	894
Densidad (Kg/m ³)	2.710
Conductividad Térmica (W/m·K)	216

La decisión de escoger este material y no otro viene determinada sobre todo por sus propiedades de cara a la buena mecanización, puesto que era la característica más importante para este estudio. También se busca un material que tuviera una buena durabilidad, que mantenga sus características a lo largo del tiempo y no tienda a formar capas de óxido o de suciedad en su superficie con facilidad, siempre y cuando se mantenga debidamente almacenado. Esto se quiere tener en el material elegido por la posible inclusión de estas piezas en un futuro para la realización de prácticas por parte de alumnos de la Universidad de Valladolid. En la imagen 2.2 se puede ver el tocho inicial de material del que se parte.



Imagen 2.2: Tocho inicial de aluminio 6082.

2.3 Instrumentos de medida.

En un principio se pensó en utilizar un micrómetro para las medidas comprendidas entre 0 a 25 mm y un pie de rey decimal para medidas mayores. Esta idea se desechó porque ya con el pie de rey daba variabilidad en la medida, por lo que se decidió utilizar también un micrómetro para las medidas mayores a 25 mm, obteniendo así una mayor precisión en las mediciones.

Para tomar las medidas también se ha empleado un pie para sujetar los instrumentos de medida y que resulte más fácil realizar las mediciones.

Micrómetro (0-25mm)

El micrómetro utilizado para medidas que se encuentran entre (0 – 25 mm) se ha adquirido específicamente para este trabajo, por lo que se evitan posibles errores cometidos por la antigüedad del instrumento y la posible mala calibración del mismo. Según el fabricante, el micrómetro obtenido mide con una precisión de 0.001 mm. Hay que tener en cuenta que, para que esta precisión pueda ser considerada, el instrumento tiene que trabajar entre 0 y 40°C, si no las medidas no pueden estar garantizadas. Aun así el instrumento, en la práctica, tendrá una incertidumbre aproximada de $3 \pm \mu\text{m}$. Algo a tener en cuenta es la forma en la que se almacena el instrumento para que no sufra alteraciones y que futuras medidas no se vean comprometidas. (PRN, 2017)



Imagen 2.3: Micrómetro utilizado de 0 a 25 mm.

Micrómetro (25-50mm)

En el caso de las medidas mayores a 25 mm se ha utilizado el calibre perteneciente al laboratorio que se encuentra en la sede Francisco Mendizábal. Las especificaciones tanto de medición como de conservación son las mismas que para el micrómetro pequeño.

2.4 Herramientas pertenecientes al torno.

Para la fabricación de las piezas se ha decidido utilizar el material existente en el laboratorio (plaquitas y porta herramientas).

Cilindrar.

Para realizar el cilindrado se utiliza la plaquita DCMT 11T304-PF de la marca ISCAR. Las características principales de la plaquita se muestran en la tabla 2.4 perteneciente al catálogo de la marca (REF CAT).

Tabla 2.4: Propiedades de la plaquita DCMT 11T304-PF

l	11.6	
di	9.52	
S	3.97	
r	0.4	
d1	4.4	
ap (mm)	0.5-3	
f(mm/rev)	0.05-0.25	

La que se ha usado en este caso es la IC8250, es de una dureza media, no puede ser muy dura para que el aluminio no se dañe.

En el caso del portaplaquitas se ha utilizado uno perteneciente a la misma marca y específico para este tipo de plaquitas. Es el SDJCR 2525M-11, trabaja a derechas y como se puede observar por las medidas, la plaquita se ajusta perfectamente, tabla 2.5.

Tabla 2.5: propiedades del portaplaquitas SDJCR 2525M-11

h	25	
b	25	
l1	150	
l2	20	
f	32	

Tronzar.

Para la operación de tronzado se utiliza una plaquita específica para ello. La plaquita utilizada es la DGN 4003C de la marca ISCAR. En la tabla 2.6 están tabulados los valores característicos de ella (ISCAR, 2017). Uno de los más importantes a tener en cuenta es el que denominan en el catalogo "W", tiene un valor de 4 mm y es el ancho de la plaquita. Por lo tanto, si se quiere cortar una longitud de 18 mm, la longitud a la que se coloca la plaquita es de 22 mm, esos 4 mm de diferencia son los que necesita la plaquita para realizar la

operación. En este caso se ha elegido la IC 808, al igual que en el caso del cilindrado se encuentra a mitad de la tabla.

Tabla 2.6: Propiedades de la plaquita DGN 4003C

W	4	
W _{tol}	0.04	
R	0.3	
l Ref	18.8	
f (mm/rev)	0.1-0.3	

El portaplaquitas utilizado es un específico para el uso de la plaquita de tronzar, es también de la marca ISCAR y su denominación es DGFH 32-4. Como se observa en las principales características del portaplaquitas, el ancho tanto máximo como mínimo que puede realizar se corresponde con el valor de 4 mm, el mismo que para la plaquita elegida, tabla 2.7. (ISCAR, 2017)

Tabla 2.7: Propiedades del portaplaquitas DGFH 32-4

B1	32	
W min	4	
W max	4	
A	3.2	
l1	150	
h1	24.8	
Dmax	100	

Refrentar.

En el caso del refrentado se quiere obtener un acabado mejor que en el tronzado, por lo que se estudia utilizar una plaquita de carburo de tungsteno, material muy adecuado para la mecanización de aluminio. La que se usa es la ISO 2 TTM P20/25 perteneciente al laboratorio de la sede Francisco Mendizábal. Se trata de una plaquita soldada, por lo que una vez gastada la herramienta hay que sustituirlo todo. En la imagen 2.4 se observa la plaquita ya montada en el torno y lista para trabajar, como se puede ver en el extremo se encuentra la plaquita rómbica con la que se realiza el refrentado.

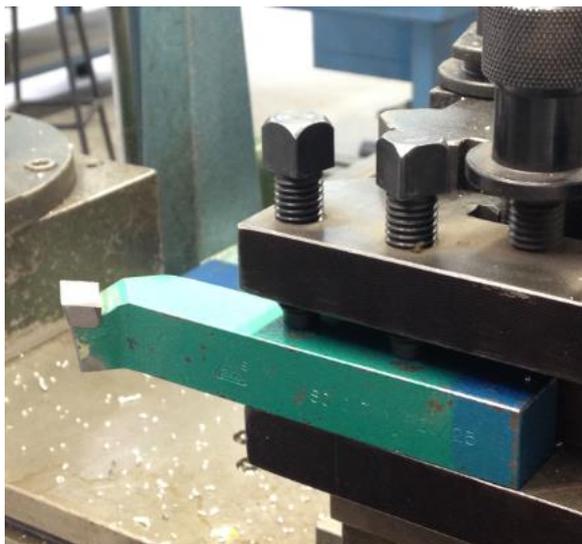


Imagen 2.4: plaquita soldada ISO 2 TTM P20/25

Esta plaquita al estar soldada tiene el inconveniente de que si se daña hay que desechar todo el conjunto, pero a su vez tiene la ventaja de poder ser afilada y seguir funcionando en plenas condiciones. Esto es lo que se realiza sobre esta plaquita antes de proceder al refrentado, para ello se utiliza el esmeril perteneciente al laboratorio de la sede Francisco Mendizábal, imagen 2.5.



Imagen 2.5: Esmeril propiedad de la Universidad de Valladolid

Como se observa en la imagen 2.5 en el esmeril se pueden tener montados dos discos distintos a la vez, eligiendo uno u otro en función del material que se quiera afilar. (Gerling, 1990) En este caso para afilar la plaquita de

refrentado se utiliza el montado en el lado izquierdo de la máquina. Este disco corresponde a piedra al boro, imagen 2.6.



Imagen 2.6: Piedra al boro

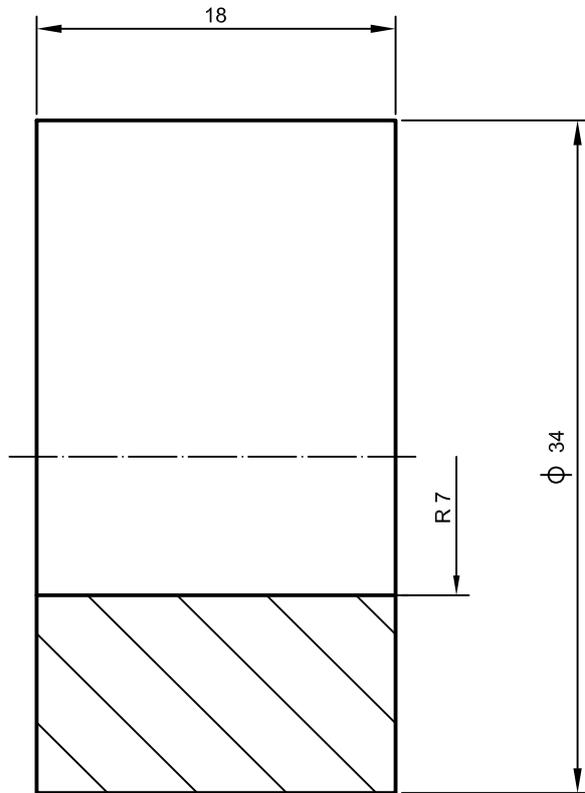
A la hora de refrentar hay que tener cuidado para no marcar las piezas en la superficie cilíndrica, porque se realizan las medidas del diámetro sobre ella. Para evitar estos daños se decide usar un juego de garras blandas perteneciente al material disponible para el uso del torno del laboratorio de Francisco Mendizábal. En la imagen 2.7 se observan las garras ya instaladas en el torno, así como la plaquita mencionada anteriormente. En las garras se aprecian los distintos mecanizados que se han realizado sobre ellas para sujetar varios diámetros de pieza, el de diámetro 34 mm que es el de las piezas se ha mecanizado explícitamente para este trabajo.



Imagen 2.7: Garras blandas mecanizadas

3. Planos de la pieza

En este apartado se presentan los planos de la pieza realizada. El primero de ellos es la pieza que se piensa inicialmente para realizar el estudio. En el segundo plano se representa la pieza final con las medidas nominales finales. No se indican tolerancias por ser calculadas a lo largo del estudio, por lo que no se dispone de ellas en el momento en que se dibujan.



Autor:
Mónica Alves Vicente

Título:
Pieza de estudio

Información adicional:

Matar aristas.
No se muestran tolerancias
por ser objeto de estudio.

Tamaño:
A4

Hoja:
1/1

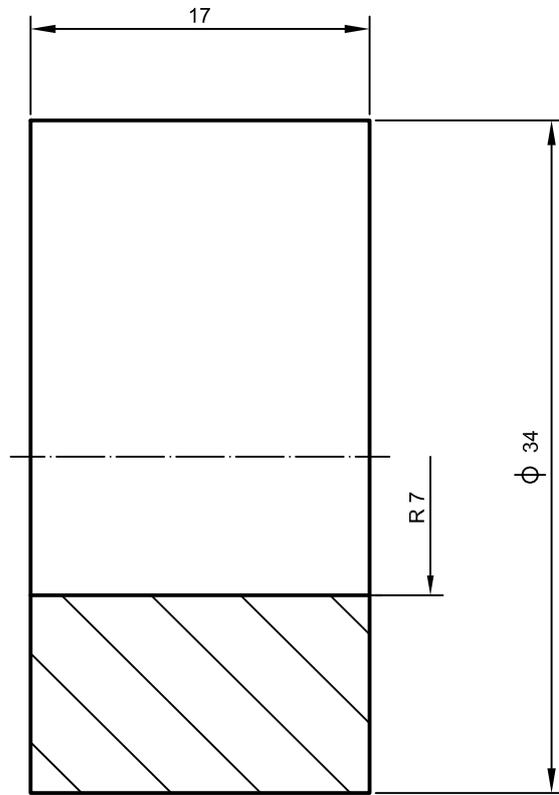
Escala:
2/1

Número de plano:
001

Número de dibujo:
001

Fecha:
11 / 4 /2017

Revisión:
Rev. A



Autor: Mónica Alves Vicente	Título: Pieza de estudio		
Información adicional: Matar aristas. No se muestran tolerancias por ser objeto de estudio.	Tamaño: A4	Hoja: 1/1	Escala: 2/1
	Número de plano: 002 Número de dibujo: 001		
	Fecha: 11 / 4 /2017		Revisión: Rev. A

4. Descripción del proceso de fabricación

El objetivo de este trabajo de fin de grado está enfocado a obtener posibles funcionamientos anómalos, por ello todo el proceso de fabricación se dirige a seguir un método de trabajo cuidadoso pero que a su vez nos proporcione el mayor número posible de variabilidad en los datos obtenidos. De esta forma se podrán obtener resultados veraces pero a su vez contemplando las posibilidades que pueden derivar en la obtención de piezas no aptas.

Todo el trabajo de fabricación realizado sobre las piezas ha sido llevado a cabo por Juan José Sanabria, técnico del laboratorio donde se encuentra el torno. Su experiencia y conocimientos se han tenido en cuenta durante todo el proceso.

Para elaborar las piezas se parte de un tocho de material de 400 mm de longitud y 36 mm de diámetro. La fabricación se divide en dos partes, primero el cilindrado para darle el diámetro requerido y después el tronzado para obtener la altura de la pieza. Una de las posibilidades que se baraja a la hora de fabricar las piezas es realizar cada una de ellas independientemente, es decir, cilindrar la longitud requerida para una pieza y tronzar, siguiendo este proceso para cada una de las piezas. Se decide realizar primero un cilindrado de la longitud necesaria para hacer todas las piezas y luego tronzar cada una de ellas. De esta forma se puede dar el efecto de un cilindrado largo, puesto que de hacer cada pieza de forma independiente se corre el riesgo de que algún efecto negativo quede enmascarado.

A la hora de realizar todo el proceso hay que tener en cuenta que las plaquitas y herramientas utilizadas son las existentes en el laboratorio, lo que significa que no son específicas para trabajar el material que se mecaniza. Las plaquitas existentes están diseñadas para mecanizar acero (ángulo de desprendimiento negativo, revestimiento de alúmina y filo redondeado no agudo), aunque el fabricante también da indicaciones para trabajar sobre una gama de materiales bastante amplia entre las que se encuentra el duraluminio elegido. Con las herramientas de diseño específico para la aleación de aluminio (ángulo de desprendimiento positivo, sin revestimiento y filo agudo) se podrían obtener calidades mejores en las piezas. Se decide proceder así porque en condiciones reales de trabajo estas plaquitas son las disponibles actualmente para ser utilizadas.

Para realizar el cilindrado se amarra el tocho con un plato de tres garras autocentrante. Se mide la parte del tocho que queda fuera del plato (será la longitud máxima que se puede cilindrar sin mover el amarre) para que sea suficiente a la hora de elaborar el número de piezas requeridas para el estudio. En este estudio se cilindra una longitud de 300mm. Se da un punto en el otro

extremo del tocho (contrapunto) para amarrar el tocho entre punto y contrapunto, esto es entre el plato de tres garras y el contrapunto giratorio, imagen 4.1. De esta forma se intenta que el cilindrado se realice de la forma más homogénea posible.

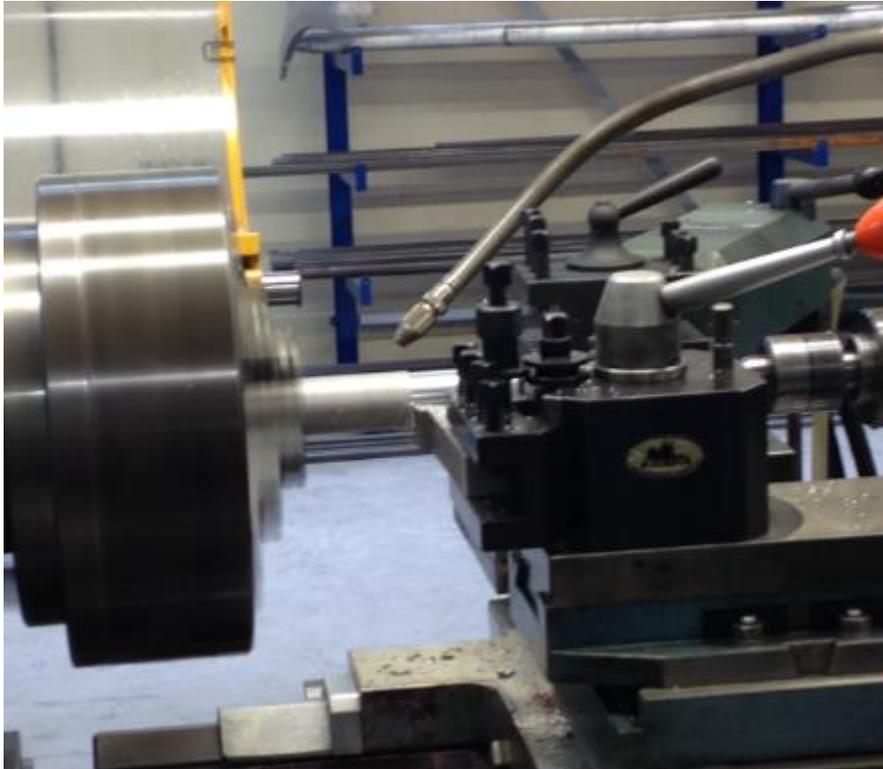


Imagen 4.1: Cilindrado inicial del tocho con contrapunto.

El cilindrado se ejecuta con una velocidad de giro del torno de 620 rpm. En el proceso se observa que la viruta es corta, se rompe bien y no deja pegotes, lo cual significa que tanto el avance como la velocidad elegidos son los óptimos a pesar de no ser plaquitas específicamente indicadas para trabajar con aluminio. Esto es importante para que no queden restos de viruta adheridos a la superficie de la barra que puedan falsear los datos del diámetro que se obtienen después. Una vez concluido el cilindrado de 34 mm de diámetro se procede a cortar la longitud elegida para la barra (300 mm). De esta manera queda el cilindrado hecho y se ha obtenido una barra del diámetro elegido.

La longitud de la barra es mayor que la necesaria para realizar el número de piezas, esto es así porque es necesario tener una parte del cilindro amarrado al plato de tres garras para poder tronzar. Al acabar el corte realizado se observa que no se ha cortado hasta el mismo centro del cilindro (algo que es normal). Esto no es preocupante porque para el estudio que se realiza se puede simplemente dejar ese sobrante en la parte de la pieza que queda amarrada o, si fuera necesario usar la longitud completa de la pieza, se puede rebajar esa

parte y que quede apto para el uso. En la imagen 4.2 se observa el restante que queda al finalizar una operación de tronzado.



Imagen 4.2: pieza cilindrada y tronzada a 300 mm.

El problema de que quede un restante al tronzar no es preocupante al haber cortado longitud suficiente para hacer las piezas, sin embargo, a la hora de obtener la pieza final sí puede serlo. Al tronzar las piezas la herramienta avanza hacia el centro del cilindro, una vez está en las proximidades, los esfuerzos a los que se somete la herramienta son muy grandes. Esto puede causar una mala calidad del tronzado, una mala viruta que se quede adherida a la superficie (falseando luego las medidas que se toman), una viruta que no rompa y se enrede en la herramienta provocando el tener que interrumpir el proceso o incluso la rotura o inutilización de la plaquita.

Por todo esto se toma la decisión de realizar un taladro en el centro del cilindro antes de tronzar cada pieza, de esta forma se evitan los posibles problemas causados por tener que cortar el diámetro entero. Esto se puede realizar porque para las medidas que se quieren tomar no afecta el hecho de tener un taladro, además ayuda a obtener un proceso más seguro y de mayor calidad, a la vez que ayuda al operario a realizar la operación de tronzado.

Para proceder a taladrar la pieza lo primero que hay que hacer es, con una broca de puntos, hacer contrapunto en el extremo de la pieza y marcar el inicio del taladro. Es ahí donde toca la broca y empieza a taladrar. En la imagen 4.3 se observa la broca de puntos utilizada, es la IZAR 4 x 12,50 HSS, el 4 corresponde a los milímetros de la punta.



Imagen 4.3: Broca de puntos.

Una vez marcado el inicio del taladro con la broca de puntos se cambia la herramienta y se pone la broca. En este caso la broca elegida es de 14 mm de diámetro para metal. La elección de esa medida se realiza porque es una broca normalizada, que se encuentra en el laboratorio y que permite obtener una superficie lateral en la pieza suficiente para realizar las mediciones oportunas.

Para colocar la broca en el contrapunto hay que tener en cuenta que el agujero en el contrapunto del torno es un cono Morse del número 5, por lo que es necesaria la utilización de casquillos de transición (dos casquillos en este caso de transiciones 1-3 y 3-5) que permitan la sujeción de la broca elegida cuyo mango es un cono Morse del número 1. Una vez posicionada la broca se procede a taladrar la pieza. El taladrado se realiza a 365 rpm. En este proceso no preocupa la calidad que se puede obtener porque no va a ser medido, pero aun así se observa que la extracción de la viruta es buena y que no se ha dañado la pieza en este proceso. En la imagen 4.4 se observa el cilindro una vez taladrado. Este proceso es de gran ayuda a la hora de tronzar las piezas. Se ahorra tiempo y se protege la máquina y la herramienta.



Imagen 4.4: Cilindro taladrado.

Una vez llegado este punto, la operación restante para obtener las piezas es la de tronzado. Como se puede observar en el plano de la pieza, se quieren obtener 18 mm de altura. Para llegar a esa longitud se utiliza el visor de cotas del que dispone el torno. El visor de cotas del torno tiene sobre el papel una precisión de una centésima, aunque según experiencias previas del operario nos comunicó que no era cierto y que la precisión era levemente menor.

Para saber a qué distancia del extremo hay que realizar el corte para que la pieza sea de la altura deseada hay que saber la anchura de la herramienta. El ancho de la herramienta usada para tronzar es de 4mm. Por lo tanto, haciendo “cero” en el extremo de la pieza, la medida que hay que tomar es de 22 mm (18 mm de la pieza y 4 mm de la herramienta). La imagen 4.5 corresponde a la realización de la segunda pieza desde que se hizo cero en el visor de cotas, por esta razón el visor marca 44. El valor de la parte de arriba corresponde al diámetro, en este caso como se está tronzando ese valor no es significativo.



Imagen 4.5: Visor de cotas del torno.

Las piezas han sido realizadas de dos en dos para evitar posibles errores debido a la oscilación de la pieza en caso de que la mayor parte de la pieza se encuentre fuera del plato de tres garras. De existir esa oscilación se corre el riesgo de que la herramienta se enganche y se falseen las medidas tomadas a posteriori. Cada vez que se realizan dos piezas se para el torno y se saca una parte de la pieza del plato de tres garras (esa parte que se saca debe ser suficiente para cilindrar otras dos piezas). Una vez realizado esto se ha perdido

la referencia del visor de cotas, por lo que se hace un pequeño refrentado para coger otra vez la referencia a “cero” del visor de cotas y se mueve el carro transversal del torno hasta obtener en el visor de cotas el valor 22 (o 44, según sea la primera pieza o la segunda) que es lo necesario para obtener la altura de la pieza. En la imagen 4.6 se observa cómo se está realizando el tronzado de una de las piezas mientras otra ya finalizada esta reposando sobre el torno hasta que coge una temperatura adecuada para su manipulación.



Imagen 4.6: Tronzado de una pieza.

Para el tronzado se utiliza una velocidad de 365 rpm. El avance de la herramienta se realiza de forma manual por el operario para garantizar que no hay ningún enganche que puede dañar la herramienta o la pieza. El taladro realizado previamente, aparte de ayudar al operario con la operación de tronzado, también proporciona una manera segura y sencilla de agarrar la pieza final al quedar cortada del resto. Hay que tener en cuenta que las piezas recién mecanizadas están a una temperatura muy elevada. Obviamente, la opción de que el operario agarre la pieza final con la mano es inviable por seguridad.

Otra de las opciones es dejar caer las piezas cuando se finaliza el tronzado. Esta opción se deshecha debido a que se ha intentado tratar las piezas con el mayor cuidado posible para intentar evitar errores ajenos a los producidos por el propio torno, y ese golpe a la alta temperatura que se encuentran las piezas puede falsear las medidas. Por lo tanto el taladrado realizado también sirve para utilizar un gancho de plástico que cuando queda poco para que la pieza cortada quede libre del resto, se introduce por el agujero, de esta forma el operario actúa de forma más segura, la pieza no sufre ningún daño y puede ser dejada en un lugar apartado hasta que se enfría. En la imagen 4.7 se observa

como el operario recoge la pieza que está a punto de ser finalizada con el gancho.



Imagen 4.7: Pieza siendo recogida por el operario.

Según se van cilindrando las piezas, estas van siendo numeradas para realizar el estudio posterior. Este es un paso muy importante como se comprobaba en el análisis de resultados.

Con las piezas ya tronzadas se observa que el acabado superficial del tronzado no es aceptable, por lo que se decide realizar una operación más sobre la pieza, la de refrentado. En la imagen 4.8 se puede observar cada una de las pasadas que ha realizado la herramienta.



Imagen 4.8: Pieza tronzada.

Con la intención de no dañar la superficie cilíndrica de la pieza, que tiene un buen acabado, se deciden utilizar garras blandas autocentrantes para la sujeción. Se utilizan las garras blandas pertenecientes al laboratorio. Estas garras tienen mecanizados varios diámetros, cuanto menor es el diámetro mayor es la profundidad que tiene en la garra con el objetivo de poder amarrar distintos diámetros con unas mismas garras. Para este caso las garras no tienen la medida de diámetro 34 mm que tienen las piezas, por lo que se decide mecanizarlas, de esta forma se asegura que las piezas estén bien centradas. Es un mecanizado interior por lo que se utiliza la parte frontal de la torreta del torno.

Las garras blandas son mecanizadas específicamente para el diámetro con el que se han realizado las piezas, esto se realiza amarrando un tope en el interior de las garras a la altura donde se quiere que quede la profundidad del diámetro. Después de esto se mecanizan como si se tratara de un cilindrado interior.

A la vista del acabado obtenido en el tronzado trabajando con plaquitas específicas de acero, e intentando obtener las mejores piezas posibles, se decide buscar una plaquita que proporcione un mejor acabado a la pieza. En el laboratorio se encuentra una plaquita soldada de carburo de tungsteno, material adecuado para la mecanización del aluminio. Para poder usarla obteniendo el mejor acabado posible se afila en la esmeriladora con la piedra al boro. El ángulo de desprendimiento de esta plaquita es positivo, como se dijo al principio de este apartado es una característica de las plaquitas específicas de aluminio.

Se mecanizan las piezas a 620 rpm, el avance utilizado es el CE con 32/56, esto da un avance de 0,11 mm/rev, imagen 4.9.

POSICION PALANCA	32/32		32/36		32/40		32/44		32/48		32/52		32/56		32/60		32/70		32/97		32/127	
	LONG.	TRANC.	LONG.	TRANC.																		
C - D	3,65	0,38	3,25	0,34	2,90	0,30	2,65	0,28	2,40	0,25	2,25	0,23	2,10	0,21	1,95	0,20	1,46	0,16	1,20	0,12	0,95	0,09
C - E	1,85	0,19	1,65	0,17	1,45	0,15	1,35	0,14	1,25	0,13	1,15	0,11	1,05	0,11	0,9	0,10	0,70	0,072	0,62	0,06	0,46	0,045
B - D	0,90	0,095	0,80	0,09	0,70	0,08	0,65	0,075	0,60	0,07	0,50	0,065	0,55	0,06	0,50	0,055	0,35	0,036	0,31	0,03	0,23	0,022
B - E	0,45	0,050	0,40	0,045	0,36	0,04	0,35	0,035	0,30	0,032	0,28	0,03	0,26	0,028	0,24	0,026	0,17	0,018	0,15	0,015	0,12	0,011
A - D	0,22	0,024	0,20	0,022	0,18	0,019	0,17	0,018	0,16	0,017	0,14	0,015	0,13	0,014	0,12	0,013	0,08	0,009	0,07	0,007	0,06	0,005
A - E	0,11	0,012	0,10	0,011	0,085	0,009	0,08	0,008	0,075	0,0075	0,07	0,007	0,065	0,0065	0,060	0,006	0,040	0,004	0,035	0,0035	0,030	0,003

Imagen 4.9: Tabla de avances del torno.

El operario fija la pieza con las garras blandas, hace cero en el visor de cotas y mecaniza 0,5 mm por cada lado de la pieza. Al estar la pieza introducida siempre la misma longitud en el plato de tres garras, si no se modifican los valores fijados en el visor de cotas siempre se mecaniza la misma longitud en cada una de las piezas. Aun así como el plato de tres garras lo permite se puede introducir un pie de rey sin haber movido la pieza y realizar una medición aproximada.

Al final de cada refrentado se realiza un pequeño chaflán en la parte del cilindrado para matar aristas vivas y que el manejo de la pieza sea más seguro, esta operación no afecta a las mediciones.



Imagen 4.10: Pieza finalizada.

La imagen 4.10 pertenece a la pieza final, si se compara con la imagen 4.8 se aprecia la gran diferencia que se puede observar visualmente entre antes y después del refrentado.

Una vez terminada la pieza se procede a realizar las mediciones, tanto del diámetro como de la altura.

5. Análisis de datos.

La fabricación de las piezas es parte fundamental de este trabajo, de ellas se obtienen las medidas necesarias para llevar a cabo el estudio. Se obtiene la norma AFNOR NF E 60-181 con el fin de seguir unas pautas ya establecidas para el análisis de la capacidad del torno.

Antes de proceder al análisis de los datos se toman las medidas sobre las piezas. Con la intención de cometer el menor error posible, se toman cuatro medidas por pieza y magnitud, de esta forma se pueden detectar y eliminar medidas que se alejen de la medida real por algún error.

La medición de las piezas se realiza al menos 8 horas después de haber sido fabricadas como indica la norma, así la pieza ya está térmicamente estable y no se cometen errores por la dilatación térmica debida al aumento de temperatura provocado en la fabricación. Una vez obtenidos estos valores se sigue la norma para obtener los coeficientes de capacidad. La obtención de los coeficientes viene dada por las siguientes formulas (AFNOR, 2001):

$$CAM = \frac{L_s - L_i}{D_i}$$

$$CPK = \text{Min}(CPK_i, CPK_s),$$

siendo

$$CPK_i = \frac{\bar{x} - L_i}{D_{p,i}}$$

y

$$CPK_s = \frac{L_s - \bar{x}}{D_{p,s}}$$

Se debe comprobar si la distribución de las medidas sigue una distribución normal o no, para ello se utiliza el test de Shapiro-Wilk (AFNOR, 2001). El test de Shapiro-Wilk consiste en calcular la estadística de prueba W suponiendo que la muestra pertenece a una distribución normal. $W_c = \frac{b^2}{s^2}$

Para obtener s^2 :

- Ordenar las piezas de tal forma que la magnitud de estudio quede ordenada de menor a mayor.
- Se obtiene la media total de los valores estudiados.
- Para cada pieza se obtiene el cuadrado de la diferencia entre el valor medio y el correspondiente a dicha pieza.

- La suma de estos últimos valores es s^2 .

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})$$

La obtención de b^2 varía según el número de datos n sea par o impar, el que caso que se estudia es de un número par. Si el valor de n es par, el valor de k es igual a $n/2$.

$$b^2 = \sum_{i=1}^k a_i (y_{n-i+1} - y_i)$$

Siendo los valores de a magnitudes tabuladas, imagen 5.1.

Coeficientes a_{in} para el contraste de Shapiro-Wilks

n	i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2		0.7071										
3		0.7071	0.0000									
4		0.6872	0.1677									
5		0.6646	0.2413	0.0000								
6		0.6431	0.2806	0.0875								
7		0.6233	0.3031	0.1401	0.0000							
8		0.6052	0.3164	0.1743	0.0561							
9		0.5888	0.3244	0.1976	0.0947	0.0000						
10		0.5739	0.3291	0.2141	0.1224	0.0399						
11		0.5601	0.3315	0.2260	0.1429	0.0695	0.0000					
12		0.5475	0.3325	0.2347	0.1586	0.0922	0.0303					
13		0.5359	0.3325	0.2412	0.1707	0.1099	0.0539	0.0000				
14		0.5251	0.3318	0.2495	0.1802	0.1240	0.0727	0.0240				
15		0.5150	0.3306	0.2495	0.1878	0.1353	0.0880	0.0433	0.0000			
16		0.5056	0.3290	0.2521	0.1988	0.1447	0.1005	0.0593	0.0196			
17		0.4968	0.3273	0.2540	0.1988	0.1524	0.1109	0.0725	0.0359	0.0000		
18		0.4886	0.3253	0.2553	0.2027	0.1587	0.1197	0.0837	0.0496	0.0163		

Imagen 5.1: Ejemplo de las tablas para el valor a en el test de Shapiro-Wilk.

Una vez obtenido b^2 se tiene todo lo necesario para obtener el valor de W_c . Con este W_c se puede comprobar la relación que tiene con el término W_t , que también se encuentra tabulado.

El test de Shapiro-Wilk basa su resultado en un contraste de hipótesis. En este caso la hipótesis nula es que la distribución es normal. Se rechaza la hipótesis nula si $W_c < W_t$. Cuando esto ocurre se rechaza la hipótesis nula, por lo que no se puede decir que la distribución sea normal. El nivel de significación es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo esta verdadera, imagen 5.2. En definitiva, cuando mayor sea el valor de W_c mayor posibilidad hay de que la distribución sea normal. Valores de W_c por debajo de 0,9 no pueden ser considerados para una distribución normal.

Niveles de significación para el contraste de Shapiro-Wilks.

n	0.01	0.02	0.05	0.1	0.5	0.9	0.95	0.98	0.99
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959	0.998	0.999	1.000	1.000
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935	0.987	0.992	0.996	0.997
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927	0.979	0.986	0.991	0.993
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927	0.974	0.981	0.986	0.989
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928	0.972	0.979	0.985	0.988
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932	0.972	0.978	0.984	0.987
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935	0.972	0.978	0.984	0.986
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938	0.972	0.978	0.983	0.986
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940	0.973	0.979	0.984	0.986
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943	0.973	0.979	0.984	0.986
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945	0.974	0.979	0.984	0.986
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947	0.975	0.980	0.984	0.986
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950	0.975	0.980	0.984	0.987
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952	0.976	0.981	0.985	0.987
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954	0.977	0.981	0.985	0.987
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956	0.978	0.982	0.986	0.988

Imagen 5.2: Ejemplo de los niveles de significación en el test de Shapiro-Wilk.

Se realiza el análisis de las medidas del diámetro y la altura por separado.

5.1 Análisis de la medida del diámetro.

El diámetro tiene un valor nominal de 34 mm, por lo que se utiliza el micrómetro correspondiente para 25 mm a 50 mm. Las medidas obtenidas del diámetro de las piezas son las siguientes:

Tabla 5.1: Medidas tomadas del diámetro.

Nº Pieza	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Media
1	34,047	34,021	34,033	34,046	34,037
2	34,003	34,001	34,006	34,009	34,005
3	33,985	33,987	33,983	33,981	33,984
4	33,961	33,963	33,96	33,961	33,961
5	33,952	33,949	33,951	33,951	33,951
6	33,943	33,946	33,944	33,944	33,944
7	33,939	33,942	33,942	33,941	33,941
8	33,935	33,936	33,935	33,935	33,935
9	33,920	33,919	33,920	33,920	33,920
10	33,923	33,922	33,923	33,923	33,923

Se han tomado cuatro medidas en cuatro puntos distintos del diámetro, con esas medidas se saca el valor medio del diámetro para cada pieza y se trabaja sobre esos valores medios. Con las medidas de cada pieza se obtiene el valor medio de todas las piezas, la desviación estándar de las medidas y los valores máximo y mínimo.

Tabla 5.2: Valores característicos de las medidas del diámetro.

Media	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo
33,96005	0,037690958	34,03675	33,91975

Poniendo los límites inferior y superior como si fueran el máximo y el mínimo queda un valor de CAM = 0,517. Con esos límites queda un intervalo de tolerancia de 0,117, el cual es muy bajo. Esto quiere decir que para este intervalo de confianza el modelo no sería adecuado para la fabricación. Para obtener un CAM mayor o igual que 1,3 el intervalo de tolerancia es de 0,3. Por lo tanto para intervalos de tolerancia mayores o iguales a 0,3 el modelo seguido tiene la suficiente tolerancia y el torno se puede usar sin problema. Con esa tolerancia el intervalo de valores del diámetro queda: [33,85; 34,15]mm.

Con los límites que se han establecido se calcula el CPK, para este caso tiene un valor de 0,973. Al ser el CPK menor que 1,33 se advierte que hay un problema de centrado. (Área de ingeniería de procesos de fabricación, 2017)

Procediendo a la comprobación de Shapiro-Wilk se calcula el valor de s^2 .

Tabla 5.3: Cálculo de s^2 para el test de Shapiro-Wilk en el diámetro.

	Nº Pieza	Media	diferencia entre valor y la media	-> al cuadrado
i=1	9	33,920	-0,040	0,002
i=2	10	33,923	-0,037	0,001
i=3	8	33,935	-0,025	0,001
i=4	7	33,941	-0,019	0,000
i=5	6	33,944	-0,016	0,000
i=6	5	33,951	-0,009	0,000
i=7	4	33,961	0,001	0,000
i=8	3	33,984	0,024	0,001
i=9	2	34,005	0,045	0,002
i=10	1	34,037	0,077	0,006
s^2				0,013

Hay que tener en cuenta que las operaciones se han realizado en una hoja de cálculo, por lo que en la tabla no se representan todos los decimales que se han valorado.

Para el cálculo de b se han utilizado los parámetros tabulados que se muestran en la imagen 5.1 correspondientes a $n=10$. Se obtienen los siguientes valores.

Tabla 5.4: Cálculo de b para el test de Shapiro-Wilk en el diámetro.

$i=1$	0,0671463
$i=2$	0,0269862
$i=3$	0,01043737
$i=4$	0,0024786
$i=5$	0,00025935
b	0,10730782

Teniendo los valores de s y b se obtiene el valor de $W_c = 0,9$. Este valor se compara con W_i cuyos valores están representados en la imagen 5.2. El valor de 0,9 se encuentra situado entre 0,869 y 0,938 que corresponden a niveles de significancia de 0,1 y 0,5 respectivamente. Extrapolando estos valores se obtiene que la posibilidad de que la hipótesis cero se rechace siendo verdadera es de un 30%, por lo que con una confianza del 70% se puede decir que la distribución no es normal.

Hasta aquí se ha seguido la norma, sin embargo teniendo en cuenta el valor del CPK y el resultado obtenido del test de Shapiro-Wilk se lleva el análisis más allá. Lo primero que se hace es observar la proyección que siguen las medidas tomadas y se observa que el diámetro medido tiende a ser cada vez menor según avanza el número de pieza. Este hecho hace sospechar que el torno no está centrado y en lugar de maquinar cilindros realiza conos.

Si el torno hace conos las medidas no siguen una distribución normal, siguen una distribución uniforme. Para comprobar si es así se implementa un test de Kolgomorov en MatLab con los valores medios de las piezas y bajo el supuesto de que es una distribución uniforme (Fz. de Troconiz) Esta comprobación da como resultado que las medidas siguen una distribución uniforme con una confianza del 95%. Esto confirma, según los supuestos realizados, que la pieza obtenida es un cono. Para saber lo pronunciado que puede ser el ángulo del cono se grafican las medidas obtenidas a lo largo de la longitud de la pieza.

Tabla 5.5: Valores del diámetro en función de la longitud.

Nº pieza	Longitud del cilindro	Media del diámetro
1	22	34,03675
2	44	34,00475
3	66	33,984
4	88	33,96125
5	110	33,95075
6	132	33,94425
7	154	33,94100
8	176	33,93525
9	198	33,91975
10	220	33,92275

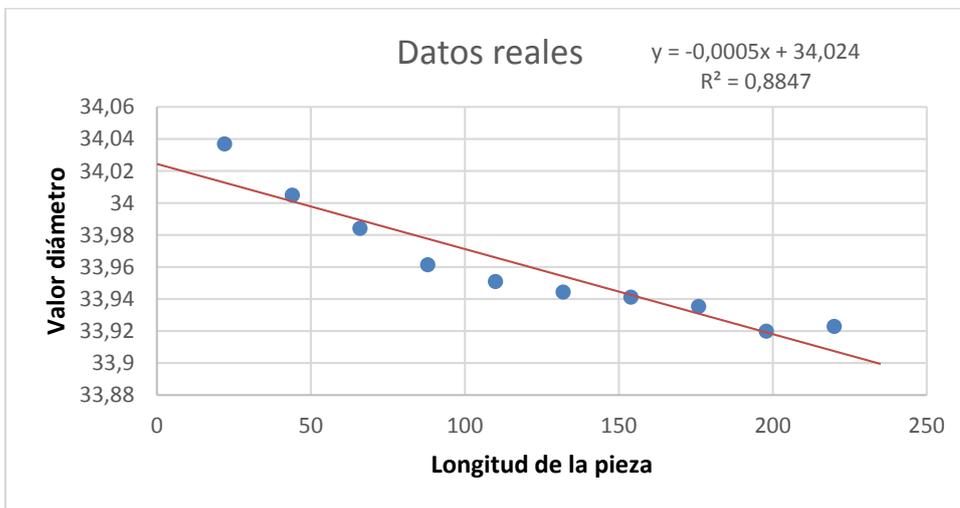


Imagen 5.3: Gráfica de los valores del diámetro en función de la longitud.

En la gráfica se observa que la evolución del diámetro es cada vez menor según avanza la longitud de la pieza, es decir, el cilindrado empieza con un diámetro mayor que con el que acaba. Se grafica también la recta hallada con la aproximación por mínimos cuadrados. Con las formulas obtenidas de esta aproximación se ve que el valor de R^2 es próximo a uno, lo que significa que la aproximación es aceptable. También se obtiene la ecuación que sigue la recta. Con esta ecuación se puede conocer la pendiente (-0,0005), y con la pendiente el valor del ángulo que forman las generatrices del cono (α). El diámetro cuando $x=0$ es 34,024 mm; cuando $x=220$ (longitud total) es 33,914mm.

$$\frac{34,024 - 33,914}{220} = \tan \alpha$$

$$\alpha = 0,0286^\circ$$

Habiendo comprobado que el torno no está centrado y realiza conos, se procede a la corrección de los valores obtenidos para comprobar analizar los supuestos valores que se obtendrían si se corrige el torno.

Tabla 5.6: Valores corregidos del diámetro.

Nº pieza	Valor rectificado
1	34,02375
2	34,00275
3	33,993
4	33,98125
5	33,98175
6	33,98625
7	33,994
8	33,99925
9	33,99475
10	34,00875

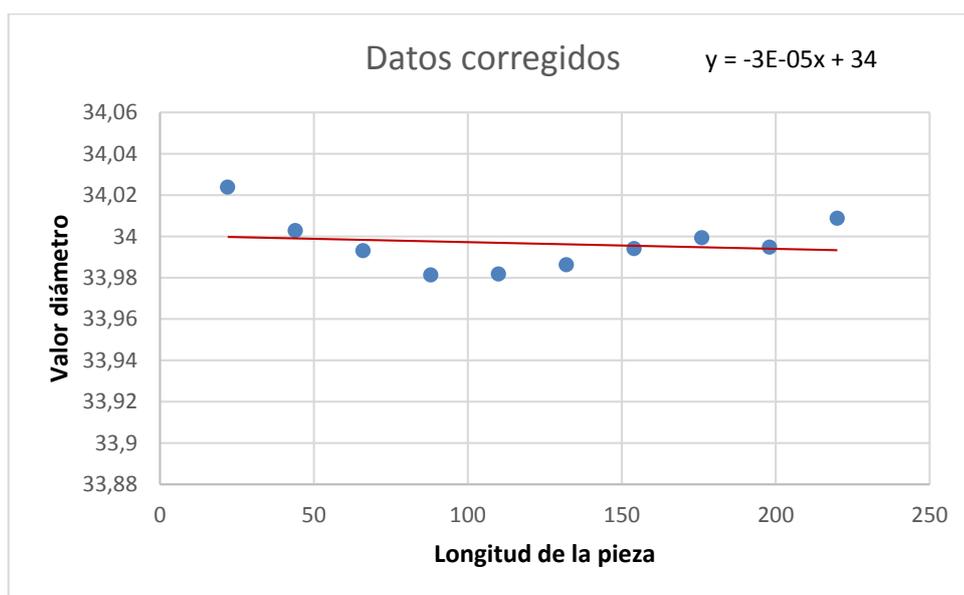


Imagen 5.4: Gráfica de los valores rectificados del diámetro frente a la longitud.

Una vez realizada la corrección de los valores se advierte que ahora las medidas oscilan entorno al valor de 34 elegido para el diámetro. Graficando los valores corregidos igual que los reales se observa que el valor de pendiente ha disminuido en más de un orden de magnitud, de hecho queda una pendiente muy baja y el ángulo que tiene ahora el cono es del valor de $1,71 \times 10^{-6} \text{ }^\circ$. Esto quiere decir que en 200 mm de longitud cilindrada el diámetro varía 0,006 mm. En el caso sin corregir, cada 200 mm cilindrados el diámetro varía 0,2 mm. Como se puede observar hay una mejora considerable.

Con estos valores corregidos se vuelve a realizar el test de Shapiro-Wilk, se obtiene un valor de $W_c = 0,933$, 3 décimas por encima del anterior con los valores reales (se recuerda que cuanto más próximo a uno el valor de W_c con más confianza se puede decir que la distribución es normal).

También se calcula de nuevo el CPK con los valores corregidos para comprobar si se mejora el problema de centrado detectado en las medidas reales. Para realizar los cálculos se han considerado los mismos límites que se usaron para los valores reales, queda $CPK = 3,76$ que es mayor que 1,33 por lo que el problema de centrado ha quedado solucionado. De hecho con la corrección realizada se podrían obtener intervalos de tolerancia menores y que el proceso siga estando centrado. Se pueden obtener valores razonables con intervalos de tolerancias menores a 0,2 mm.

Estos valores obtenidos de la corrección son completamente aceptables para considerar que el torno funciona correctamente, por lo que la principal conclusión que se obtiene de este análisis es que hay que realizar una corrección sobre el torno para que deje de realizar conos al cilindrar longitudes largas. Para longitudes de cilindrado cortas puede ser aceptable el estado en el que se encuentra sin la corrección.

5.2 Análisis de la medida de la altura.

La altura tiene un valor nominal de 18 mm, por lo que se utiliza el micrómetro correspondiente que mide desde 0 a 25 mm. Las medidas obtenidas en las mediciones son las siguientes (como en el diámetro se toman cuatro medidas en cuatro puntos diferentes):

Tabla 5.7: Valores medidos de la altura en la pieza tronzada.

Nº Pieza	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Media
1	18,076	18,068	18,057	18,060	18,065
2	18,060	18,072	18,071	18,070	18,068
3	18,070	18,070	18,090	18,076	18,077
4	18,024	18,023	18,018	18,034	18,025
5	18,085	18,129	18,103	18,092	18,102
6	18,056	18,032	18,061	18,031	18,045
7	17,939	17,935	17,947	18,013	17,959
8	18,093	18,079	18,116	18,073	18,090
9	18,128	18,088	18,089	18,100	18,101
10	18,009	18,000	18,005	18,005	18,005

Con las medidas de cada pieza se obtiene el valor medio de todas las piezas, la desviación estándar de las medidas y los valores máximo y mínimo. Es con el valor medio de cada pieza con el que se trabaja a partir de ahora.

Tabla 5.8: Valores característicos de las medidas tomadas de la altura tronzada.

Media	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo
18,0519	0,0442	18,1023	17,9585

Teniendo los valores con los que se va a trabajar se procede a calcular los coeficientes de capacidad. Cogiendo como límites superior e inferior los valores máximo y mínimo correspondientes queda un valor del CAM = 0,542. Con dichos límites queda un intervalo de tolerancia con valor 0,144 mm. Para obtener un CAM con valor mayor o igual a 1,3 es necesario fijar un intervalo de tolerancia de valor 0,35. Con este nuevo intervalo de tolerancia quedan los siguientes límites superior e inferior [18,175; 17,825] mm. Estos límites a primera vista parecen muy altos teniendo en cuenta las calidades que se pueden obtener del torno, aun así se continua con el análisis.

Con los límites establecidos se procede al cálculo del valor del CPK, en este caso se obtiene un valor de 0,928. El CPK da un valor muy por debajo de 1,3 lo que indica que puede haber un problema de centrado. Una vez calculadas las capacidades se procede a la comprobación de la normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk. Lo primero es calcular s^2 .

Tabla 5.9: Cálculo de s^2 para los valores de la altura tronzada.

	Nº Pieza	Media	diferencia entre valor y la media	->al cuadrado
i=1	7	17,959	-0,095	0,009
i=2	10	18,005	-0,049	0,002
i=3	4	18,025	-0,029	0,001
i=4	6	18,045	-0,009	0,000
i=5	1	18,065	0,012	0,000
i=6	2	18,068	0,015	0,000
i=7	3	18,077	0,023	0,001
i=8	8	18,090	0,037	0,001
i=9	9	18,101	0,048	0,002
i=10	5	18,102	0,049	0,002
s^2				0,019

Al igual que en el caso del diámetro se ha utilizado una hoja de cálculo, por lo que se han considerado más decimales que los que aparecen en la tabla.

Para el cálculo de b se han utilizado los valores tabulados de la imagen 5.1, en este caso son los mismos que se utilizaron en la comprobación del diámetro por ser n del mismo valor $n=10$.

Tabla 5.10: Cálculo de b para los valores de la altura tronzada.

i=1	0,08250
i=2	0,03176
i=3	0,01402
i=4	0,00386
i=5	0,00012
b	0,13226

Una vez obtenidos los valores de s y b se lleva a cabo el cálculo del parámetro $W_c = 0,911$. Este valor se ha de comparar con W_t , se encuentra entre los valores 0,869 y 0,938, que corresponden al 0,1 y 0,5 de probabilidad respectivamente. Según este resultado no se puede asegurar que las medidas sigan una distribución normal.

Con los datos obtenidos de los coeficientes de capacidad y del test de Shapiro-Wilk se sospecha que hay algo que no es correcto en el procedimiento de tronzado.

Al igual que con el diámetro la primera opción es examinar las cuatro medidas obtenidas de cada pieza. Lo más remarcable es la diferencia y variabilidad que hay entre las medidas de una misma pieza. Estas diferencias son apreciables en toda y cada una de las piezas, por lo se procede a una inspección visual, en ella se observa que el acabado lateral de las piezas no es muy bueno, tiene una rugosidad alta apreciable a simple vista. Por todo esto se decide realizar un refrentado para obtener un mejor acabado sobre todas las piezas y posteriormente volver a tomar las medidas y realizar el análisis.

Para el refrentado se decide quitar medio milímetro de cada lado de la pieza, quedando así un valor nominal de 17 mm. Para medir se procede de la misma forma que cuando se mide la pieza tronzada, también con el micrómetro de 0–25 mm. Las medidas obtenidas se muestran a continuación en la tabla 5.11:

Tabla 5.11: Valores medidos de la altura refrentada.

Nº Pieza	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Media
1	16,929	16,921	16,9	16,903	16,913
2	16,898	16,896	16,892	16,890	16,894
3	16,912	16,904	16,914	16,917	16,912
4	16,932	16,935	16,927	16,925	16,930
5	16,914	16,911	16,901	16,906	16,908
6	16,941	16,945	16,944	16,940	16,943
7	16,938	16,928	16,924	16,94	16,933
8	16,936	16,925	16,934	16,934	16,932
9	16,840	16,859	16,881	16,886	16,867
10	16,862	16,893	16,888	16,858	16,875

Trabajando con los valores medios se vuelve a obtener la media, la desviación estándar, el valor mínimo y el máximo.

Tabla 5.12: Valores característicos de las medidas obtenidas de la altura refrentada.

Media	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo
16,9106	0,0254	16,9425	16,8665

Con estos valores se puede realizar una primera comparación con los obtenidos del tronzado. La desviación estándar de las medidas ha disminuido a casi la mitad. Lo que quiere decir que las medidas, y por lo tanto la fabricación de las piezas, es más uniforme.

Trabajando ya con los valores medios de cada pieza se procede a obtener los coeficientes de capacidad en este caso. Considerando los valores máximos y mínimos obtenidos como si fueran los límites correspondientes se calcula un CAM de 0,5. Una vez más, al igual que en los estudios anteriores, se calcula el intervalo de tolerancia para el cual se considera el modelo apto según estos coeficientes. Con un intervalo de tolerancia de 0,2 mm se obtiene un CAM de 1,31, este valor ya es suficiente para dar por bueno el modelo de fabricación. Comparando esto con los valores obtenidos del tronzado se pone de manifiesto una disminución significativa del intervalo de tolerancia necesario para obtener un modelo apto. En el caso del tronzado era necesario aplicar un intervalo de al menos 0,35 mm, mientras que después del refrentado se puede garantizar un intervalo de tolerancia de 0,2 mm para el modelo. Esto supone una mejora significativa del modelo de fabricación.

A la vista de las medidas se procede a la implantación de los límites mínimo y máximo. El intervalo de tolerancia es de 0,2 mm, procediendo como en los

casos anteriores se reparte de forma simétrica, lo que da unos límites de [17,1; 16,9] mm. Una vez establecidos los límites se calcula el valor del CPK que en este caso da un valor de 0,14. Se observa que el valor del CPK ha disminuido respecto al estudio correspondiente solo a la pieza tronzada.

Analizando el procedimiento que se ha seguido para la fabricación de las piezas se advierte que la medida de 17 mm tomada como referencia en el torno la ha realizado el operario con un pie de rey común, con una incertidumbre de 0,1 mm, a parte de los errores que pueden cometerse visualmente al medir. Las medidas son más homogéneas pero el centrado no ha mejorado, por lo que se sugiere que se utilice de ahora en adelante un pie de rey digital para intentar evitar este tipo de fallos.

Sobre las medidas obtenidas con el refrentado también se realiza el estudio de comprobación de normalidad de las medidas de Shapiro-Wilk. Como en los casos anteriores lo primero es el cálculo de s^2 .

Tabla 5.13: Cálculo de s^2 para los valores obtenidos de la altura refrentada.

	Nº Pieza	Media	diferencia entre valor y la media	->al cuadrado
i=1	9	16,867	-0,044	0,0019
i=2	10	16,875	-0,035	0,0012
i=3	2	16,894	-0,017	0,0003
i=4	5	16,908	-0,003	0,0000
i=5	3	16,912	0,001	0,0000
i=6	1	16,913	0,003	0,0000
i=7	4	16,930	0,019	0,0004
i=8	8	16,932	0,022	0,0005
i=9	7	16,933	0,022	0,0005
i=10	6	16,943	0,032	0,0010
			s^2	0,0058

Al igual que en los casos anteriores todos los cálculos correspondientes al test de Shapiro-Wilk se han implementado en una hoja de cálculo. Para el cálculo de b se utilizan los mismos valores que se encuentran en el ejemplo de la imagen 5.1 para $n=10$.

Tabla 5.14: Cálculo de b para los valores obtenidos de la altura refrentada.

i=1	0,04362
i=2	0,01884
i=3	0,00819
i=4	0,00266
i=5	0,00006
b	0,07337

Con los valores obtenidos de s y b se procede al cálculo del coeficiente W_c que en este caso da un valor de 0,93. Es un valor mayor que el obtenido en el tronzado y por lo tanto con más posibilidades de tratarse de una distribución normal. Sin embargo el test no acaba de ser definitivo por encontrarse al límite, por lo que se procede a realizar la gráfica que correspondería a estos valores si fueran normales con el fin de observar si dicha gráfica se aproxima a la conocida como normal:

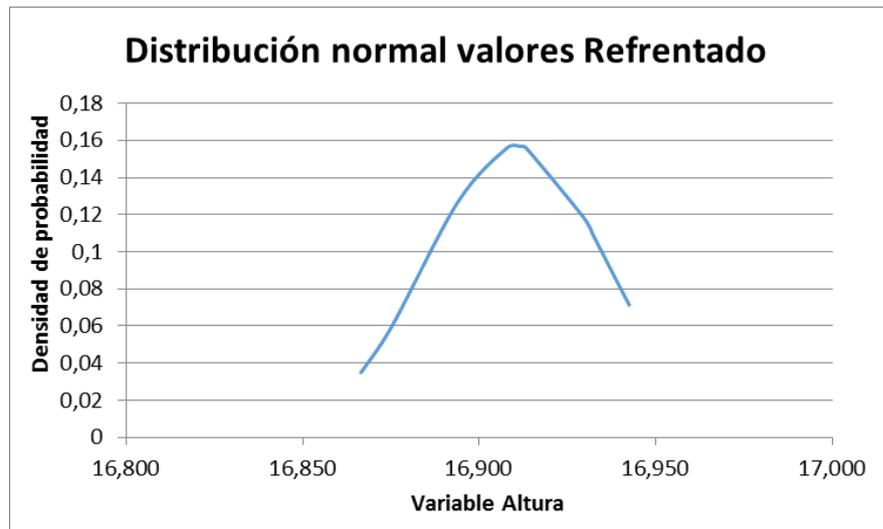


Imagen 5.5: Gráfica de la distribución normal que siguen los valores de la altura refrentada.

A la hora de determinar los ejes se han puesto los límites superior e inferior considerados y se puede observar que con los valores obtenidos no hay ninguno que salga de estos límites. La gráfica se aproxima a la forma que debe tener una distribución normal, por lo que con el valor obtenido del test de Shapiro-Wilk y la gráfica se puede concluir que efectivamente esta distribución sí es normal y pueden aplicarse los resultados de los test de capacidad tal y como se habían calculado. Se recuerda que la condición de normalidad de las medidas viene impuesta por la norma a la hora de calcular los coeficientes. (AFNOR, 2001).

Al mejorar también el test de Shapiro-Wilk se consolida la idea de que el error se ha cometido en la medición de la pieza en el torno con el pie de rey común. Sin embargo este hecho no es excluyente para afirmar que el torno está repitiendo bien.

6. Conclusiones

Si se tienen en cuenta los objetivos marcados al inicio del trabajo se obtiene que:

- Se han descrito de forma específica todos los materiales necesarios para llevar a cabo un estudio de estas características.
- Se ha descrito de forma detallada el proceso que se ha seguido para la fabricación de cada una de las piezas. Se hecho, en los anexos se encuentran las fichas de fabricación que se han de seguir para realizar el estudio.
- Se han realizado las mediciones y los estudios sobre estos valores siguiendo la norma y buscando alternativas cuando no ha sido posible seguir la norma.

Respecto a las conclusiones se ponen de manifiesto varios factores:

- Es necesario realizar una corrección sobre el torno para que deje de hacer conos cuando cilindra longitudes grandes. La desviación es de 0,0286 grados, por lo que se recomienda desplazar el carro con un reloj comparador para corregir este defecto. Si se desean realizar cilindros de longitud corta (por debajo de 50 mm) se puede dar por bueno el estado actual del torno.
- A la hora de tronzar o refrentar se recomienda que se utilice un pie de rey digital para evitar errores de medición ajenos al torno. También se ha puesto de manifiesto el aumento de la calidad obtenida si se realizan operaciones de acabado sobre las piezas y si se buscan soluciones para utilizar plaquitas más aptas al material mecanizado.
- Se recomienda repetir este estudio después de realizar la corrección sobre el torno con las sugerencias expuestas, así como que se repita de forma periódica para garantizar el buen mecanizado.

7. Bibliografía

- Área de ingeniería de procesos de fabricación. (2017). *Apuntes de Sistemas de Producción y Fabricación*. Valladolid: UVA.
- AFNOR. (2001). *NF E60-181*. Francia.
- EDEBÉ, E. T. (1978). *Tecnología mecánica 3 Máquinas herramientas*. Barcelona: EDEBÉ.
- Fz. de Troconiz, A. (s.f.). *Probabilidades, Estadística, Muestreo*. Albacete: TÉBAR FLORES.
- Gerling, H. (1990). *Alrededor de las MÁQUINAS-HERRAMIENTA*. Barcelona: REVERTÉ S.A.
- ISCAR. (2017). *Catalogos ISCAR*. Recuperado el Mayo de 2017, de <http://www.iscarib.es/catalogs.aspx/CountryId/14>
- PRN. (2017). *Hoja de especificaciones de Micrometro Electrónico 0-25 mm*.
- Real academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española*. Madrid: ESPASA.

8. Anexos.

En estos anexos se encuentra la gama de fabricación que se ha seguido para la fabricación de estas piezas, y que debe seguirse para repetir el estudio.



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

GAMA DE FABRICACIÓN

Operaciones	Nombre	Sentido	Máquina	Portaherramientas	Herramientas	Tipo de amarre	ap(mm)	D ext final (mm)	n torno (rpm)	f (mm/rev)	L (mm)
OP.00	Refrentado inicial	A derechas de fuera a adentro	Torno Jashöne M-215-260-E	SDJCR 2525M-11	DCMT 11T304-PF IC8250	Plato de 3 garras autocentrante	Manual (hasta conseguir limpieza)	38 (aprox.)	620	Manual	400
OP.01	Punto de apoyo en centro	A derechas	Torno Jashöne M-215-260-E	Portabrocas convencional 1-13mm y transición MK3-MK5	IZAR 4 x 12,50 HSS	Plato de 3 garras autocentrante	Manual	38 (aprox.)	620	Manual	400
OP.02	Cilindrado exterior	A derechas	Torno Jashöne M-215-260-E	SDJCR 2525M-11	DCMT 11T304-PF IC8250	Plato de 3 garras autocentrante y apoyo en contrapunto	2	34	620	0,11	300
OP.03	Tronzado de la longitud cilindrada	Perpendicular al eje longitudinal	Torno Jashöne M-215-260-E	DGFH 32-4	DGN 4003C IC 808	Plato de 3 garras autocentrante	Manual	34	365	Manual	300
OP.04	Taladrado	A derechas	Torno Jashöne M-215-260-E	Transiciones MK1-MK3 y MK3-MK5	Broca Diámetro 14 mm	Plato de 3 garras autocentrante	-	34	365	Manual	300
OP.05	Tronzado de cada una de las piezas	Perpendicular al eje longitudinal	Torno Jashöne M-215-260-E	DGFH 32-4	DGN 4003C IC 808	Plato de 3 garras autocentrante	Manual	34	365	Manual	18
OP.06	Refrentado acabado	Perpendicular eje longitudinal	Torno Jashöne M-215-260-E	ISO 2 TTM P20/25		Plato de 3 garras blandas autocentrante	0.5	34	365	0,11	17.5
OP.07	Refrentado acabado	Perpendicular eje longitudinal	Torno Jashöne M-215-260-E	ISO 2 TTM P20/25		Plato de 3 garras blandas autocentrante	0.5	34	365	0,11	17



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

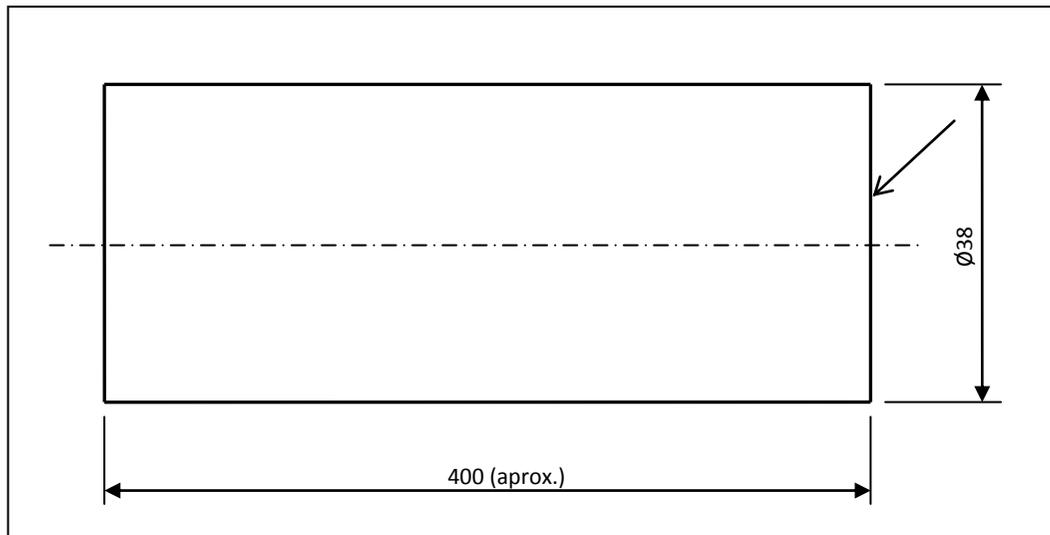
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 1

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.00: Refrentado tocho inicial
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras autocentrante
Refrigerante	No
Comentarios	Mismas condiciones de amarre que la operación anterior.

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se amarra el tocho con el plato de 3 garras y se refrenta la cara presentada hasta conseguir limpieza	SDJCR 2525M-11	DCMT 11T 304-PF IC 8250	manual	620



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

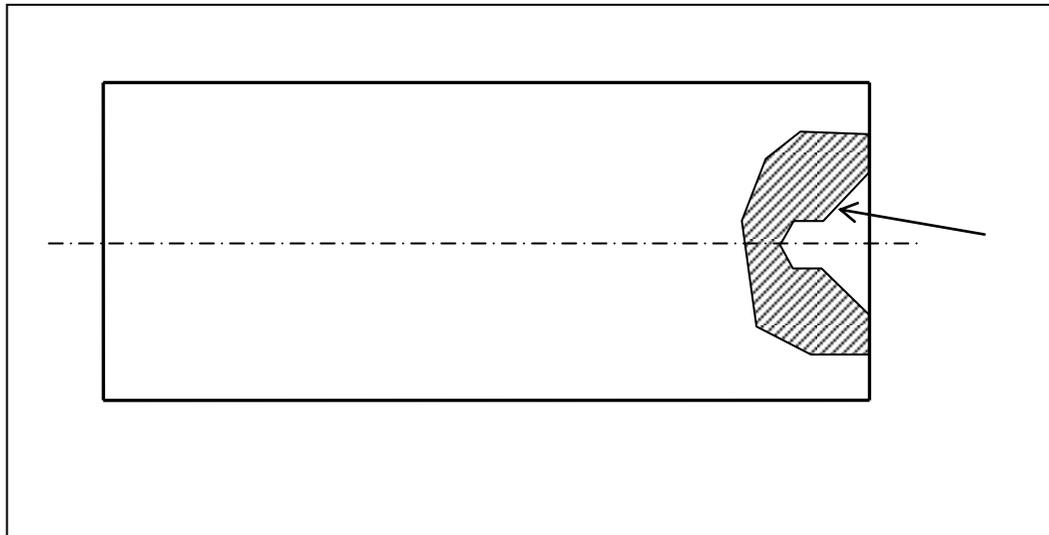
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 2

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.01: Dar centro para punto de apoyo
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras autocentrantes
Refrigerante	No
Comentarios	Se realiza la operación con sujeción plato de tres garras duras autocentrantes dejando poco voladizo del tocho inicial.

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se taladra con la broca de centro hasta conseguir apoyo suficiente	Portabrocas convencional 1-13mm y transición MK3-MK5	IZAR 4 x 12,50 HSS	manual	620



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

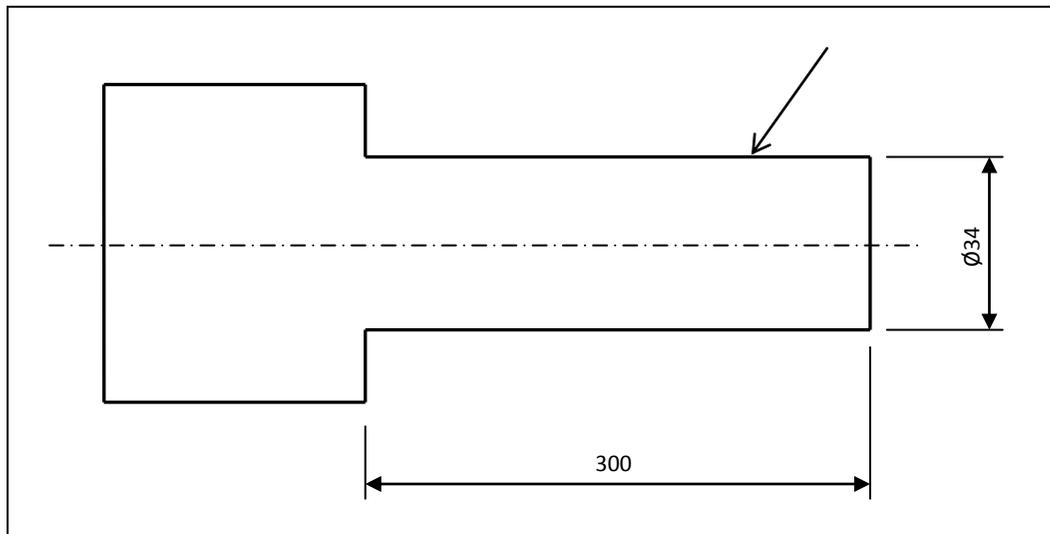
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 3

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.02: Cilindrar longitud de 300 mm a diámetro de 34mm
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras
Refrigerante	No
Comentarios	Se realiza la operación con sujeción entre plato de tres garras y punto de apoyo en contrapunto. Al finalizar la operación se comprueba el diámetro con un pie de rey común.

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se amarra el tocho con el plato de 3 garras y se cilindra una longitud de 300 mm.	SDJCR 2525M-11	DCMT 11T 304-PF IC 8250	0,11	620



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

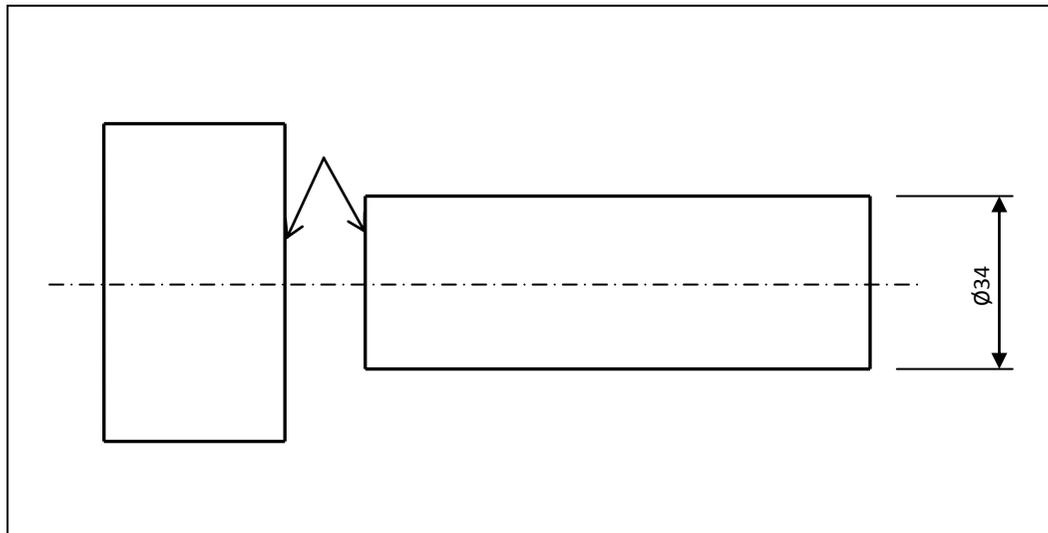
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 4

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.03: Tronzado de barra
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras autocentrantes
Refrigerante	No
Comentarios	Se atiende a que la barra no se caiga al terminar de tronzar

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se amarra el tocho con el plato de 3 garras autocentrantes y se tronza dejando libre la longitud cilindrada en la etapa anterior.	DGFH 32-4	DGN 4003C IC 808	Manual vigilando no enganchar	365



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

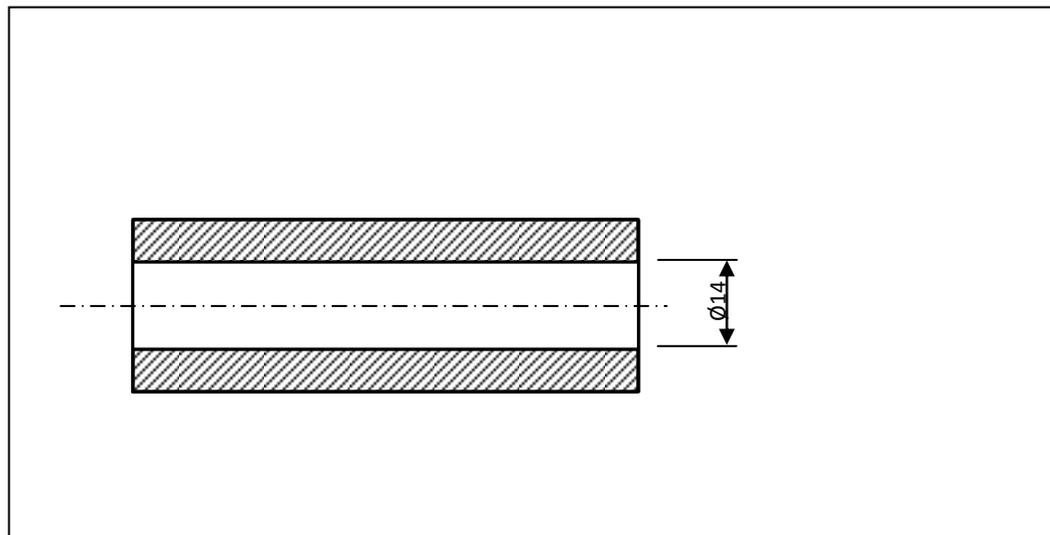
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 5

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.04: Tronzar la longitud cilindrada
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras autocentrantes duras
Refrigerante	No
Comentarios	Dejar poco voladizo exterior y proteger pieza de las garras para no marcar. Aprovechar longitud de broca.

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se taladra en eje aprovechando la longitud de la broca	Transiciones conos MK1-MK3 y MK3-MK5	Broca 14mm	Manual liberando viruta en ciclos	365



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

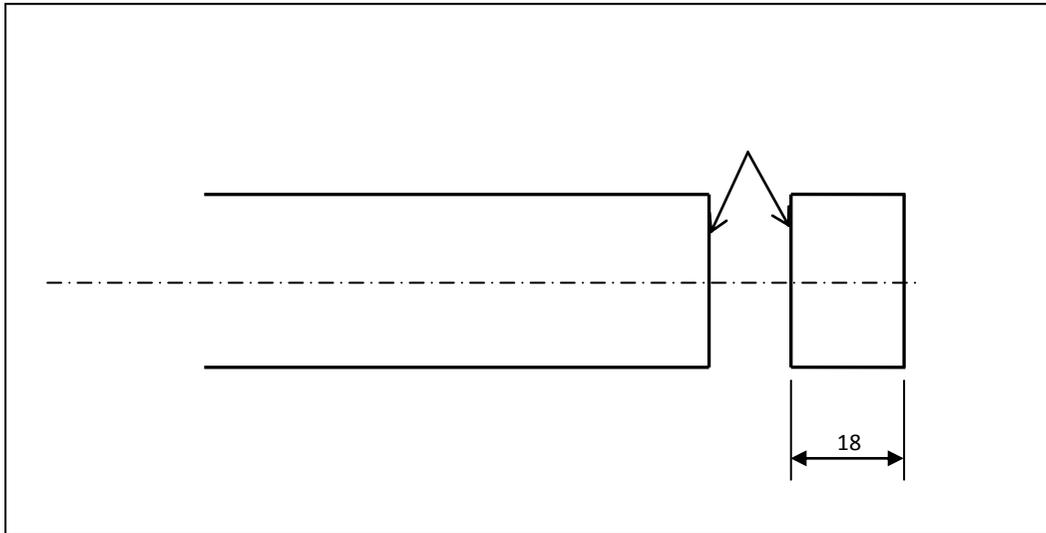
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 6

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.05: Tronzado de cada una de las piezas
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras
Refrigerante	No
Comentarios	Vigilar tener liberado el centro con el taladrado previo. Si no es así, repetir operación anterior. Recoger las piezas con gancho por el centro. Comprobar espesor de pieza con pie de rey.

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se tronza a la longitud específica (18mm) para cada una de las piezas	DGFH 32-4	DGN 4003C IC808	Manual evitando enganches	365



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

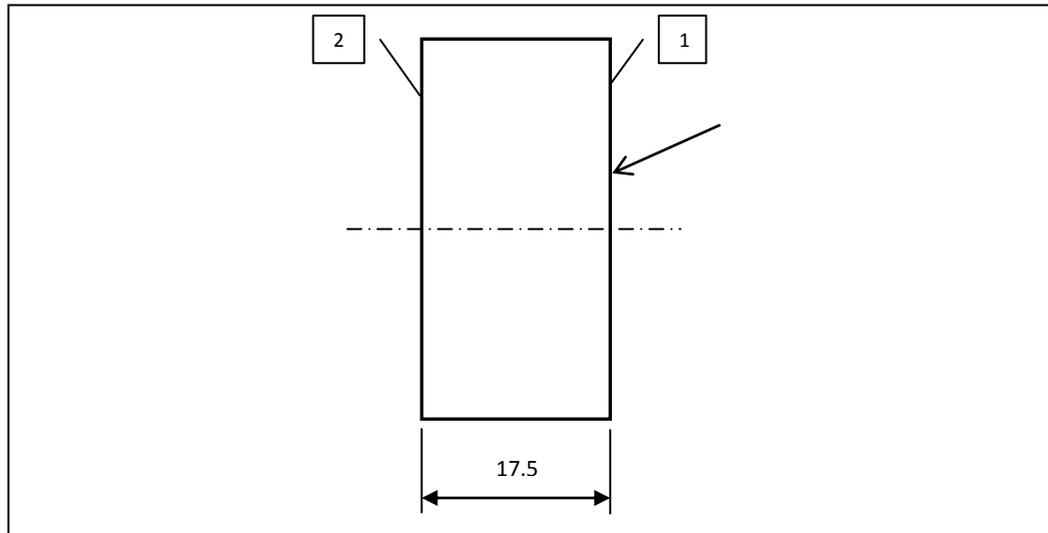
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 7

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.06: Refrentado de la cara 1 de la pieza
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras (autocentrante) blandas mecanizado a diámetro de 34mm y a escuadra
Refrigerante	No
Comentarios	Mecanizar las garras blandas a la medida del diámetro para un mejor centraje. Puede ser necesario afilar la herramienta antes de mecanizar.

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se amarra la pieza con las garras blandas y se refrenta la cara 1		ISO 2 TTM P20/25 de carburo de tungsteno	0,11	365



Escuela de Ingenierías Industriales: Área de Ingeniería de los
Procesos de Fabricación

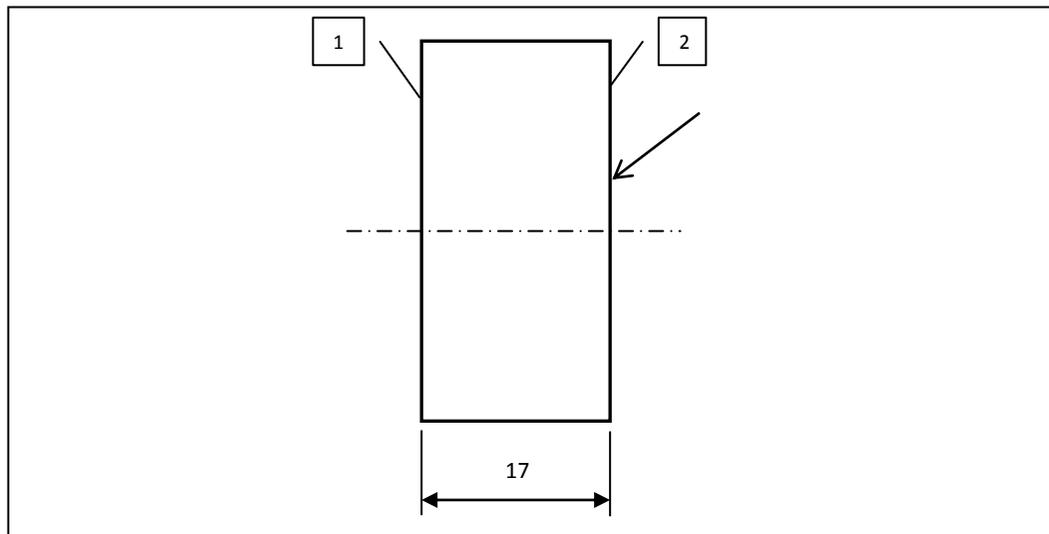
Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

FICHA DE FABRICACIÓN: 8

Denominación de la pieza: Pieza de estudio

Material: Aluminio 6082



Operación	
Designación	OP.07: Refrentado de la cara 2 de la pieza
Máquina Herramienta	Torno JASHÖNE M-210-106-E
Fijación	Plato de 3 garras (autocentrante) blandas mecanizadas para 34mm a escuadra
Refrigerante	No
Comentarios	Se voltea la pieza y se amarra igual que en la operación anterior. Se comprueba espesor con pie de rey

Descripción	Portaherramientas	Herramienta	f(mm/rev)	n(rpm)
Se amarra la pieza con las garras blandas y se refrenta la cara 2 hasta conseguir los 17mm de espesor requeridos en la pieza		ISO 2 TTM P20/25 de carburo de tungsteno	0,11	365