



GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

***ANÁLISIS Y PROPUESTA DE PROCESO DE
MECANIZADO DE UN BUJE DE RUEDA***

Alumno: Infante, Camarero, David

Directora: Celaya, Egüen, Ainhoa

Curso: 2018-2019

Fecha: 12-07-2019



RESUMEN

En el presente documento se procede a analizar y diseñar el proceso de mecanizado de un buje de rueda. Se trata de una pieza que forma parte del sistema móvil de las ruedas de un coche. Se considera de vital importancia en la seguridad de las personas, por lo que su diseño y fabricación deberá llevarse a cabo escrupulosamente.

A lo largo del proyecto se expondrá y comentará el proceso al que se debe someter la pieza desde el estado de preforma hasta la mecanización de todas las etapas. Se comentarán todos los requerimientos necesarios para llevarlo a cabo, y se propondrá una solución que aborde todas las problemáticas que pudieran surgir. También se justificará desde el punto de vista dinámico el sistema de unión del buje.

A partir de las consideraciones anteriores se lleva a cabo la hoja de procesos. Se construye sobre la premisa de tiempo mínimo, con el objetivo de alcanzar el máximo nivel de productividad posible. Para su determinación se ha requerido de la ayuda de un software online que nos ha permitido especificar con precisión los datos de mecanizado y los ejemplos de insertos y portaherramientas a utilizar en cada fase.

ABSTRACT

This document analyses and designs the machining process of a wheel hub. It is a part that forms part of the mobile system of the wheels of a car. It is considered of vital importance in the safety of people, so its design and manufacture must be carried out scrupulously.

Throughout the project, the process to which the piece must be subjected will be exposed and commented, from the preform state to the mechanization of all the stages. All the requirements necessary to carry it out will be discussed, and a solution will be proposed that addresses all the problems that may arise. The hub connection system will also be dynamically justified.

Based on the above considerations, the process sheet is carried out. It is built on the premise of minimum time, with the aim of achieving the highest possible level of productivity. In order to determine it, the help of an online software has been required, which has allowed us to specify precisely the machining data and the examples of inserts and tool holders to be used in each phase.

LABURPENA

Dokumentu honetan gurpil zulo baten mekanizazio prozesua aztertzen eta diseinatzen da. Auto baten gurpilen sistema mugikorraren zati bat da. Pertsonen segurtasunerako ezinbestekoa da. Beraz, diseinua eta fabrikazioa kontu handiz egin behar dira.

Proiektuan zehar, pieza aurre egin behar dion prozesuari eta fase guztiei buruz eztabaidatuko da. Beharrezko baldintza guztiak eztabaidatuko dira, gauzatzeko eta sor daitezkeen arazo guztiei irtenbide bat proposatzeko helburuarekin. Bozearen akoplamenduen sistema ikuspuntu dinamikotik justifikatuta egongo da.

Aurreko kontuetatik abiatuta, prozesuaren orria burutzen da. Denbora gutxieneko premisa oinarritzen da, ahalik eta produktibitate maila maximoa lortzeko. Bere determinazioarengatik, lineako softwarearen laguntza behar izan da. Horren bidez, zehatz-mehatz zehaztu ahal izan ditugu mekanizazio datuak et txertatzeko eta erreminta euskarrien adibideak fase bakoitzean erabiltzeko.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	9
2	CONTEXTO	10
3	OBJETIVOS Y ALCANCE	13
4	BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO	14
5	DESCRIPCION DE REQUERIMIENTOS.....	15
5.1	Funciones principales requeridas en los cubos de rueda	15
5.2	Requerimientos en cuanto a material	15
5.3	Requerimientos de la máquina herramienta	16
5.4	Geometría a mecanizar.....	17
5.5	Calidad superficial	19
6	ANALISIS DE ALTERNATIVAS	20
6.1	Definición de la pieza en cuanto a material	20
6.2	Proceso de fabricación.....	22
7	DESCRIPCION DE LA SOLUCION PROPUESTA.....	24
7.1	MATERIAL DE LA PIEZA	24
7.2	Preforma de la pieza.....	25
7.3	Análisis de los parámetros de mecanizado	26
7.3.1	Giro y velocidad de corte	26
7.3.2	Avance de la herramienta	28
7.3.3	Energía específica de corte y potencia de corte	29
7.4	Máquina a utilizar	31
7.5	Fluido de corte	33
8	DISEÑO DEL SISTEMA DE UNIÓN: ANÁLISIS DINÁMICOS	35
9	METODOLOGÍA	43
9.1	Definición de la pieza con solid edge.....	43
9.2	Definición de las operaciones de mecanizado	43
9.3	Utilización online de la aplicación de sandvik.....	49
9.4	Justificación.....	52
10	CRONOGRAMA.....	55
10.1	Tareas.....	55
10.2	Diagrama de Gantt	56
11	DESCRIPCION DEL PRESUPUESTO	57
12	CONCLUSIONES	58
13	BIBLIOGRAFÍA.....	59

14	ANEXOS.....	60
14.1	Anexo 1. Insertos y portaherramientas	60
14.1.1	Insertos.....	60
14.1.2	Portaherramientas.....	64
14.2	Anexo 2. Posibles problemas a controlar en el mecanizado.....	70
14.2.1	Desgaste en las herramientas:.....	70
14.2.2	Vibraciones	73
14.2.3	Control de viruta.....	73
14.3	Anexo 3. Catálogo de tornos.....	75
14.4	Anexo 4. Hoja de procesos.....	76
14.5	Anexo 5. Acotación del buje.....	80

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Producción de vehículos a nivel mundial (Wikipedia, Wikipedia, 2018)	10
Ilustración 2- Situación del buje dentro de la rueda (1) (Megane, 2014).	11
Ilustración 3- Situación del buje dentro de la rueda (2) (cabaña, 2019).....	12
Ilustración 4- Diseño CAD de la preforma de la pieza.....	17
Ilustración 5- Cotas a mecanizar	18
Ilustración 6- Base del agujero	18
Ilustración 7- Representación del parámetro principal de rugosidad	19
Ilustración 8- Rugosidad superficial en función de la aplicación	20
Ilustración 9- Valores de rugosidad según aplicaciones (oliveras, 2016).....	20
Ilustración 10- Resultado de los fibrados después de forja, mecanizado y fundición (UPV-EHU, 2019).	22
Ilustración 11- Resultado del fibrado de una pieza forjada (UPV-EHU, 2019).	23
Ilustración 12- temperatura en función del tiempo de vida (1).	27
Ilustración 13- temperatura en función del tiempo de vida (2).	27
Ilustración 14- Representación de la vida de la herramienta en función del avance	28
Ilustración 15- Fuerza específica de corte para diferentes tipos de materiales (coromant, Interempresas, 2017).....	30
Ilustración 16- CTX ALPHA 500- (Machienbau, 2018)	31
Ilustración 17- Representación de la velocidad de corte en función de la presión del fluido de corte (Larrañaga, 2014).....	34
Ilustración 18- Vista de la pieza en planta.....	35
Ilustración 19- Representación de las fuerzas actuantes sobre una rueda.	36
Ilustración 20- Tabla de tornillos normalizados según calidad (Ingemecánica, 2019).	40
Ilustración 21- Representación de tensiones por EF	41
Ilustración 22- Representación de la deformación por EF.	42
Ilustración 23- Interfaz principal de CoroPlus ToolGuide (coromant, Sandvik, 2018)	49
Ilustración 24- Panel de definición de la geometría (coromant, Sandvik, 2018).....	50
Ilustración 25- Panel de soluciones (coromant, Sandvik, 2018).....	51
Ilustración 26- Panel de soluciones económicas (coromant, Sandvik, 2018).....	51
Ilustración 27- Inyección de fluido a través del portaherramientas (coromant, Interempresas, 2017)	64
Ilustración 28- Funcionamiento de un adaptador de una silent tool (coromant, Interempresas, 2017)	64
Ilustración 29- Sujeción rígida (coromant, Interempresas, 2017)	65
Ilustración 30- Sujeción por palanca (SlidePlayer, 2019)	66
Ilustración 31- Sujeción por tornillo (coromant, Interempresas, 2017)	66
Ilustración 32- Sujeción a través de brida-cuña (SlidePlayer, 2019)	67
Ilustración 33- Desgaste de flanco (coromant, Interempresas, 2017).....	72
Ilustración 36- Filo recrecido (coromant, Interempresas, 2017).....	72
Ilustración 34- Desgaste de cráter (coromant, Interempresas, 2017)	72
Ilustración 37- Deformación plástica (coromant, Interempresas, 2017)	72
Ilustración 35- Desgaste de entalla (coromant, Interempresas, 2017).....	72
Ilustración 38- Fisuras térmicas (coromant, Interempresas, 2017).....	72

1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento se desarrolla una propuesta de fabricación de un buje o cubo de rueda. Esta pieza, también conocida como buje, podemos encontrarla en cualquier máquina que transmita potencia. Los cubos de rueda son utilizados en toda la industria, sobre todo en automoción.

Un buje de rueda es una pieza que se incorpora sobre el eje de la propia rueda y permite su giro. En esencia consta de una primera parte cilíndrica hueca, con la superficie interior estriada. En la base del cilindro sobresale una superficie circular plana más amplia que actúa como tope.

Dependiendo del tipo de buje, tendrá cinco o más agujeros con el fin de dejar paso a los tornillos que lo unirán a la llanta de la rueda.

Esta pieza es un componente muy importante y siempre debe ser de la mejor calidad posible ya que un fallo en la misma puede ocasionar serios riesgos en la seguridad de las personas.

Actualmente se dedica gran cantidad de esfuerzo a su correcto diseño y son elementos muy seguros dentro de la estructura del automóvil, rara vez son responsables de algún problema de tipo mecánico.

En las siguientes páginas se encuentra información sobre el proceso de fabricación de esta pieza y aspectos relativos a su mecanizado.

- En primer lugar, figura una memoria en la que se recogen cuestiones que afectan directamente a la razón de ser del proyecto, se abordan objetivos, alcance del trabajo y beneficios que aporta.
Asimismo, se exponen diferentes alternativas como solución a las sucesivas disyuntivas que aparecen a lo largo del proceso productivo, analizando cada una de ellas y justificando cada elección con claridad.
- Una vez definida la solución adoptada se plantea la metodología que se llevará a cabo. Se describe la evolución del trabajo según sus fases, así como los resultados obtenidos. Se aporta información técnica que ayuda a materializar la propuesta.
- Igualmente se detallan los aspectos económicos. Se aporta un pequeño presupuesto y se practica un análisis de rentabilidad. De esta manera se justifica en términos económicos la viabilidad del proyecto.
- Por último, encontramos unas conclusiones que resumirán en términos generales los aspectos más importantes anteriormente tratados.

2 CONTEXTO

Es sabido que la industria del automovilismo es un sector en continuo auge. Año tras año se demandan todo tipo de vehículos, promoviéndose una aguda innovación. Cada vez más la competitividad se incrementa junto con la necesidad de evolucionar hacia modelos más precisos y sofisticados.

Según CEOE (confederación española de organizaciones empresariales) “El sector de la automoción en su conjunto, fabricación y componentes, superaron en 2017 los 100.000 millones de euros de facturación en España (...) los fabricantes de automóviles han registrado una facturación total de 64.569 millones de euros, un 4% más que en el mismo periodo del año anterior”. El estudio fue publicado el 31 de mayo de 2018, y también afirmaba que este sector “Ha generado 5.300 empleos durante el año pasado, un 5,3% más, y suma 20.300 nuevos puestos de trabajo en los últimos cinco años” (CEOE, 2018)

En cuanto a datos de la progresión del crecimiento, encontramos que según CCOO industria (Comisiones obreras) “El mercado español ha vivido, también en 2017, su quinto año consecutivo de crecimiento (...) entre todos los tipos de vehículos, las matriculaciones subieron casi un 8%, con respecto al ejercicio precedente” (CEOE, 2018). En España, se estima que este sector representa entre el 8’5 y el 10% del PIB nacional.

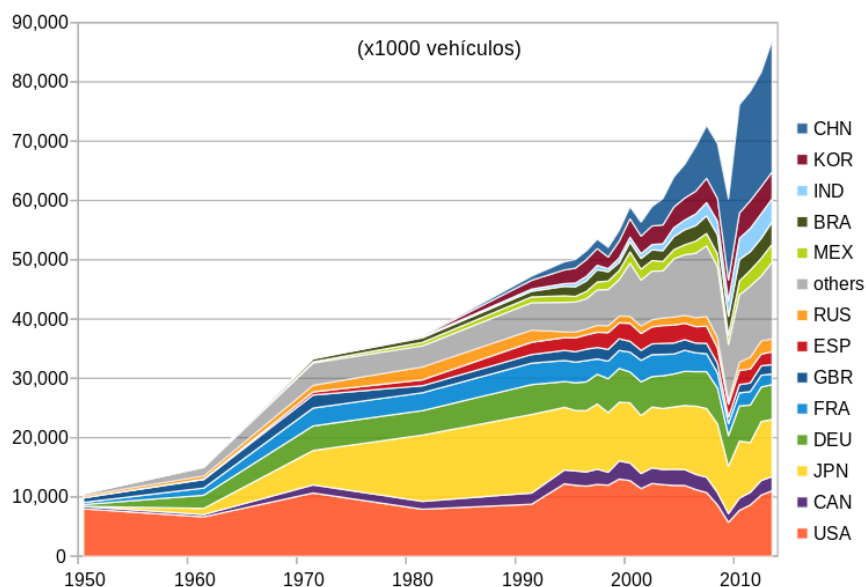


ILUSTRACIÓN 1- PRODUCCIÓN DE VEHÍCULOS A NIVEL MUNDIAL (WIKIPEDIA, WIKIPEDIA, 2018)

En la Ilustración 1 se ve representada la oferta de vehículos según países. Hablando en términos generales, existe un crecimiento general durante los últimos 60 años. En aproximadamente 2008 el mercado sufrió una caída a consecuencia de la crisis económica, pero acto seguido en los años venideros volvió a aumentar la demanda incluso de manera más fuerte. Se adivina un entorno que favorece el crecimiento de la industria automotriz.

Sabedores de estas circunstancias, es razonable imaginarse un mercado ajustado en el que cualquier circunstancia puede suponer una ventaja significativa de dinero respecto al resto. Este proyecto pretende ser una alternativa al proceso de fabricación de un buje de rueda, pieza de la rueda de un automóvil. La intencionalidad es la realización de un estudio detallado a cerca todas las cuestiones que afectan al proceso de fabricación, proponiendo una salida alternativa al proceso actual.

Centrándonos ahora en la temática del proyecto, hablaremos ahora de la pieza sobre la que trata. Un buje es una pieza constituyente del conjunto de las ruedas de un vehículo. Se diferencian dos tipos de bujes en función del tipo de tracción del vehículo. Aquellos colocados en las ruedas motoras poseen un estriado interior con el que transmitir potencia. Los situados en ruedas no tractoras tienen el interior liso, puesto que simplemente giran sobre el eje con velocidad relativa no nula. En este proyecto no se concreta el tipo de buje que se está tratando, puesto que no se aborda el mortajado del estriado interior como proceso de mecanizado. De este modo, se diseña la fabricación sin tener en cuenta esta circunstancia. Más tarde puede llegar a materializarse, o no.

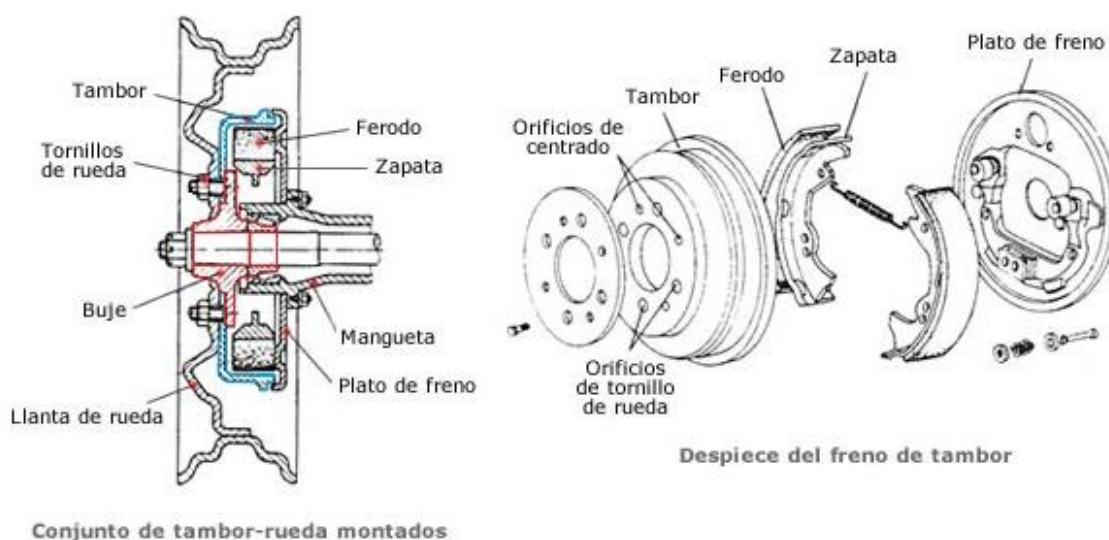


ILUSTRACIÓN 2- SITUACIÓN DEL BUJE DENTRO DE LA RUEDA (1) (MEGANE, 2014).

Esta pieza va acompañada de un rodamiento que apoya sobre su cuello. De esta manera se permite su giro respecto de la mangueta, pieza que a su vez materializa su unión con el chasis del vehículo. En la Ilustración 3 se puede apreciar el montaje. El buje se encuentra atornillado directamente a la llanta, así como al disco de freno (o tambor en el caso de la Ilustración 2). Estos tornillos serán los responsables de transmitir las cargas que se transmitan entre el chasis y el entorno.

También se pueden apreciar las cotas funcionales, aquellas que se encuentran en contacto con otros elementos, sirviendo de apoyo. Serán objeto de especial atención, puesto que, en función de sus dimensiones, el proceso de mecanizado variará volviéndose más o menos duradero.

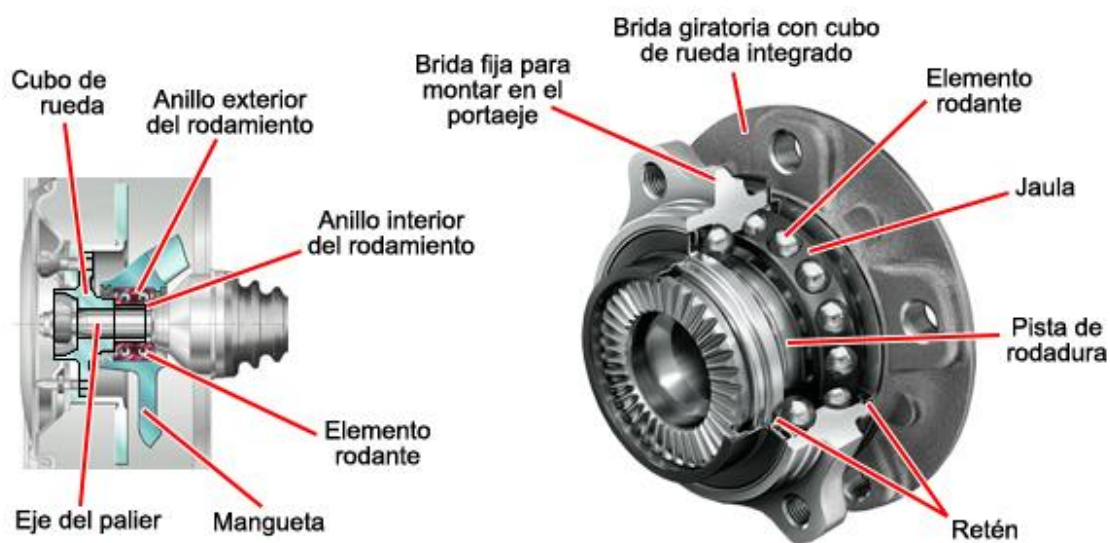


ILUSTRACIÓN 3- SITUACIÓN DEL BUJE DENTRO DE LA RUEDA (2) (CABAÑA, 2019)

3 OBJETIVOS Y ALCANCE

La intencionalidad es la total definición de las fases de mecanizado de un buje de rueda. Se incluirán: operaciones a realizar y secuencia de trabajo, máquinas que intervienen en su mecanizado, herramientas que se han de utilizar y características, y cálculos técnicos. Todas estas circunstancias serán objeto de estudio. Se tratará de aportar una información clara y concisa, lo más comprensible posible. Se facilitará una metodología ordenada con el fin de aumentar la productividad lo máximo posible.

Objetivo general:

- Estudio del proceso de mecanizado de un buje de rueda. Requerimientos necesarios, fases y consideraciones generales.
- Realización de hoja de procesos para concretar cuantitativamente las fases de mecanizado.

Objetivos secundarios:

- Análisis dinámico de la pieza y breve diseño del sistema mecánico de unión. Justificación del diseño y breve explicación del funcionamiento del conjunto en el que se desenvuelve.
- Explicación de consideraciones acerca de las condiciones de trabajo óptimas de las herramientas. Circunstancias que afectan a un correcto mecanizado.

El proyecto está pensado y preparado, para un prototipo concreto de buje con unas dimensiones anexas más adelante al proyecto. La hoja de procesos se limitará únicamente a explicar el proceso de mecanizado de un buje de rueda de un coche. De forma alternativa, se hablará brevemente del análisis dinámico con el objetivo de justificar el tipo de unión mecánica (agujeros roscados) a mecanizar.

4 BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

Se pretende exponer un análisis y propuesta del proceso de mecanizado de un buje de rueda, así como las soluciones adoptadas en aspectos tales como el material a utilizar, la forma de la estructura final o las superficies de la pieza que es necesario mecanizar. El objetivo, como ya se ha comentado antes, es la realización completa de la hoja de procesos asociada. Se presentará y justificará de manera clara.

- A nivel técnico, se propone una solución precisa y ordenada. Existen muchas soluciones posibles; establecer una metodología clara contribuye a facilitar las decisiones que deben tomarse a la hora de definir la hoja de procesos. En este trabajo se aporta información acerca de las situaciones más adecuadas para la materialización de la pieza, desde el modo de obtener la preforma, hasta la elección de los insertos y portaherramientas óptimos.
- A nivel económico, aporta productividad en el proceso. La hoja de procesos está pensada teniendo en cuenta una premisa de tiempo mínimo, lo que disminuye el tiempo de fabricación por pieza y ayuda a reducir los tiempos de producción por lote. De esta manera se aumentan los beneficios en su comercialización.

5 DESCRIPCION DE REQUERIMIENTOS

Antes de abordar el proyecto, es necesario realizar un análisis acerca de los requerimientos necesarios. En este apartado se hablará sobre las características que han de tener los cubos de rueda, las propiedades del material a elegir, la máquina herramienta que mecanizará la pieza, y la geometría y calidad superficial que ha de tener el buje.

5.1 FUNCIONES PRINCIPALES REQUERIDAS EN LOS CUBOS DE RUEDA

Principalmente, el propósito de un cubo de rueda es proporcionar un punto fijo para facilitar la rotación de la rueda y el disco de freno alrededor del eje. Sirve de soporte y es capaz de transmitir el par de frenado de los discos neumáticos.

A nivel mecánico, a un cubo de rueda se le exige:

- Integridad estructural. El diseño deberá estar enfocado a obtener una solución menos susceptible de sufrir procesos de fatiga, fractura, fluencia o corrosión.
- Durabilidad mecánica: el buje estará sometido a cargas cíclicas. Garantizar la ausencia de grietas o defectos por fatiga será de vital importancia. Además, sus propiedades mecánicas deberán mantenerse siempre ante cualquier circunstancia.
- Estabilidad ante estados vibratorios: su geometría deberá adaptarse a las sollicitaciones de esfuerzos de tal modo que los niveles vibratorios no sean críticos en ningún caso. Se realizará un estudio acerca de ello.

5.2 REQUERIMIENTOS EN CUANTO A MATERIAL

Ya se ha comentado anteriormente la importancia de la seguridad en los cubos de rueda. La elección que se hace del material define totalmente sus propiedades mecánicas y en parte también su integridad estructural. De esta manera la elección de un buen material se convierte en un hecho obligado.

- La pieza transmite pares de frenado, y a veces también pares de potencia (según el tipo de tracción que posea el vehículo). Deberá tener una buena resistencia mecánica, garantizando que no aparezcan fallas ni deformaciones ante los esfuerzos de torsión.
- El cubo de rueda se sitúa en las proximidades de los discos de freno, lugar de disipación de mucha energía en forma de calor. A pesar de estar colocado en

un lugar con capacidad de aireación y refrigeración, se presupone que trabajará a temperaturas relativamente altas. En estas circunstancias, la integridad del buje no deberá verse afectada.

- En ocasiones el buje estará sometido a cargas repentinas, lo que puede que no deje tiempo de maniobra al material para absorber el esfuerzo. Es necesario que posea un comportamiento lo más dúctil posible.
- El material que se elija, deberá tener la mayor maquinabilidad posible. No tener dificultades a la hora de mecanizarlo ahorrará tiempo y dinero.

5.3 REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA HERRAMIENTA

La máquina herramienta será la encargada de precisar de manera más efectiva las dimensiones de la pieza.

Las operaciones de taladrado y torneado son operaciones posibles de realizar únicamente con un solo centro de torneado. Los centros de torneado se caracterizan por ser tornos de control numérico con herramientas rotatorias, y posibilidad de operar en el eje C.

Como requerimientos en la máquina tenemos:

- El torno debe ser de control numérico. Los movimientos de avance son accionados por servomotores y el control del mecanizado se realiza a través de un programa, de tal manera que los movimientos son automatizados y no se depende de la pericia del operario. Por otro lado, los tiempos de espera se reducen con este tipo de herramienta.
- La sujeción de la pieza debe darse a través de un plato universal. Este plato dispone de 3 garras que hace girar la pieza firmemente. Este tipo de plato es autocentrante; las tres garras se coordinan entre ellas.
- El torno deberá tener potencias suficientes en la torreta y el husillo principal como para poder llevar a cabo todas las operaciones de mecanizado.
- Deberá elegirse un torno que guarde una relación en el compromiso “tiempo de puesta a punto” y “tiempo de producción”.
- El torno podrá ser de tipo monohusillo, puesto que no se mecanizarán varias piezas simultáneamente.
- Es absolutamente necesario que el torno posea el llamado eje C además de los dos ejes habituales; de esta manera el taladrado podrá realizarse desde el propio torno.

5.4 GEOMETRÍA A MECANIZAR

El proceso de mecanizado comenzará a partir de una preforma cuyo origen se discutirá en el siguiente apartado. A pesar de ello, se sabe que sus cotas y superficies funcionales precisarán un mecanizado posterior, puesto que los requerimientos en cuanto a acabados superficiales se presuponen deficientes. En la Ilustración 4 se representa el aspecto de la preforma de la que se partirá. Se aprecian, por ejemplo, radios de acuerdo grandes entre superficies, circunstancia no adecuada para el montaje final de la pieza.

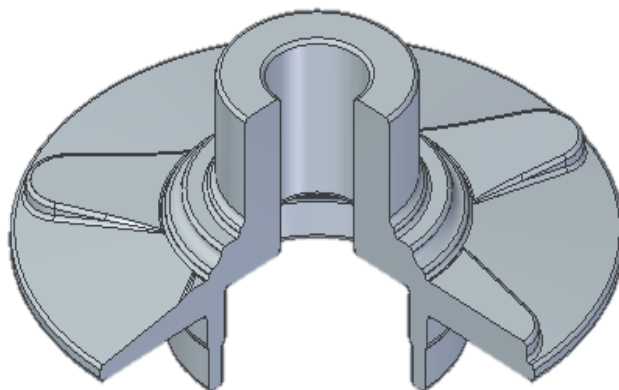


ILUSTRACIÓN 4- DISEÑO CAD DE LA PREFORMA DE LA PIEZA

Se identifican como zonas funcionales absolutamente necesarias de torneado y refrentado (Ilustración 5):

1. Superficie cilíndrica superior exterior. Funcionará como asiento de un rodamiento.
2. Superficies de unión entre el plato y la superficie cilíndrica superior. Actuarán como tope en el montaje.
3. Superficie inferior del plato. Será zona de contacto con otra pieza.
4. Zona cilíndrica inferior. Tanto interior como exteriormente.
5. Superficies que componen las dos bases de la pieza.

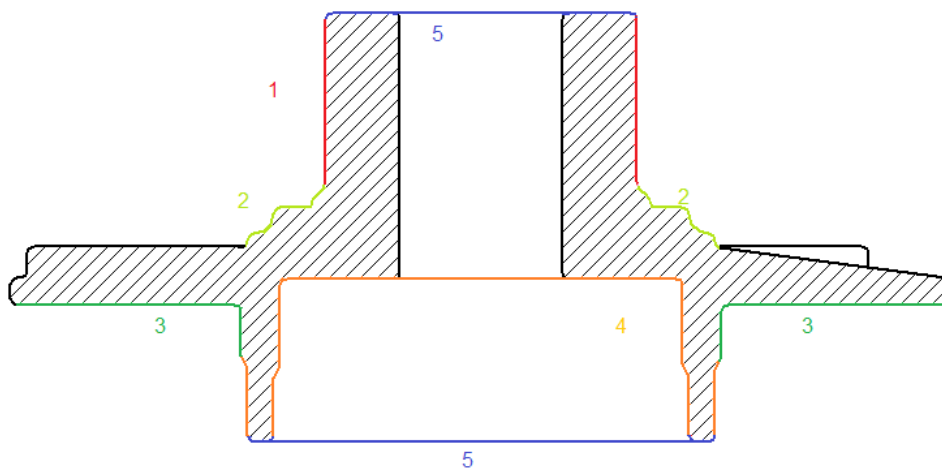


ILUSTRACIÓN 5- COTAS A MECANIZAR

Existe una superficie que también podría someterse a un proceso de torneado con el fin de mejorar su rugosidad superficial. Se trata de la zona donde más tarde se situará un agujero, y en la que, por tanto, ira apoyada la cabeza de un tornillo (Ilustración 6).

No se considerará una superficie de absoluta necesidad de ser mecanizada, si bien es cierto que no habrá inconveniente si se llevara a cabo, únicamente supondría un aumento en el tiempo final de mecanizado.

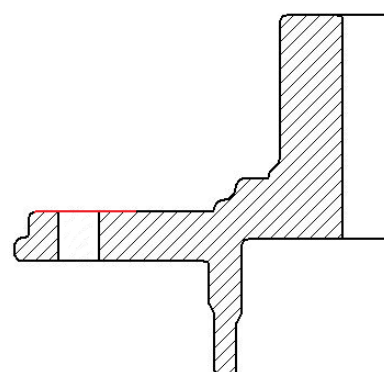


ILUSTRACIÓN 6- BASE DEL AGUJERO

Por otro lado, la pieza requiere un sistema de agujeros para su sujeción. Se situarán en la superficie del relieve que surge en el plato en dirección radial, y se encontrarán en una circunferencia de 120 mm de diámetro. Al ser una zona comprometida de transmisión de esfuerzos, se definirá posteriormente una geometría adecuada para el taladrado y el roscado. En el apartado 8 se encuentra la deducción que justifica estas dimensiones.

Las dimensiones principales de la pieza se han adjuntado en un plano que se encuentra en el Anexo 5. Afectan de manera importante a los parámetros de mecanizado que deben usarse y a los resultados que surgen del uso de los algoritmos que más tarde se expondrán.

5.5 CALIDAD SUPERFICIAL

La calidad superficial es el resultado de las irregularidades en la pieza que surgen como resultado del propio proceso de mecanizado (Ilustración 7). En función de su aplicación, cada cota funcional puede tener unos requerimientos de rugosidad superficial que habrá que tener en cuenta.

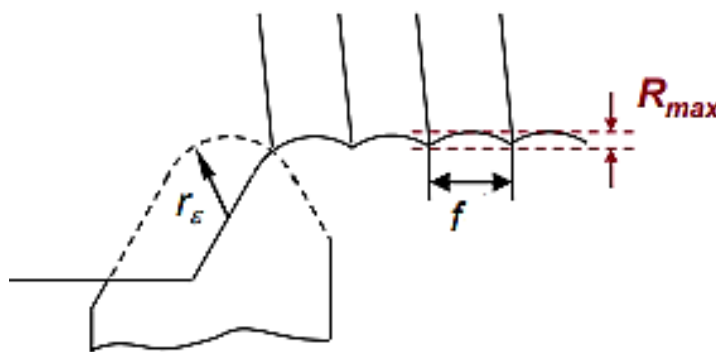


ILUSTRACIÓN 7- REPRESENTACIÓN DEL PARÁMETRO PRINCIPAL DE RUGOSIDAD

Este valor se relaciona con el avance de la herramienta a través de la ecuación Boothroyd y Knight:

$$R_a = \frac{f^2}{32 \cdot r_\epsilon}$$

Donde r_ϵ es el valor del radio de punta de la herramienta, f el avance de la herramienta y R_a el parámetro principal de rugosidad, que representa la rugosidad media de la superficie.

Orientativamente, podemos encontrar algunos valores de rugosidad dependiendo de la función de cada cota funcional (Ilustración 9).

Analizando ahora la pieza, encontramos que una operación afectará a una zona delicada. Hablamos de la parte cilíndrica superior, que posteriormente será el asiento de un rodamiento, por lo que deberá tener como máximo una rugosidad media superficial de $1,5 \mu\text{m}$.

En el resto de cotas, consideradas simplemente de apoyo, está restricción no será tan grande. En estos casos, la rugosidad deberá ser menor a $3 \mu\text{m}$.

Ra [μm]	Aplicaciones típicas de rugosidad superficial
0,01	Bloques patrón – Reglas de alta precisión – Guías de aparatos de medida de alta precisión
0,02	Aparatos de precisión- Superficies de medida en micrómetros y calibres de precisión
0,03	Calibradores. Elementos de válvulas de alta presión hidráulica
0,04	Agujas de rodamientos. Superacabado de camisas de block de motores
0,05	Pistas de rodamientos. Piezas de aparatos control de alta precisión
0,06	Válvulas giratorias de alta presión. Camisas block de motor.
0,08	Rodamientos de agujas de grandes rodamientos
0,1	Asientos cónicos de válvulas. Ejes montados sobre bronce, teflón, etc. a velocidades medias. Superficies de levas de baja velocidad.
0,15	Rodamientos de dimensiones medias. Protectores de rotores de turbinas y reductores.
0,2	Anillos de sincronizados de cajas de velocidades
0,3	Flancos de engranaje. Guías de mesa de máquinas-herramientas
0,4	Pistas de asientos de agujas en crucetas.
0,6	Válvulas de esfera. Tambores de freno.
1,5	Asientos de rodamiento en ejes c/carga pequeña. Ejes-agujeros de engranajes. Cabezas de pistón
2	Superficies mecanizadas en general, ejes, chavetas, alojamientos, etc.
3	Superficies mecanizadas en general. Superficies de referencia. Superficies de apoyo
4	Superficies desbastadas
5 a 15	Superficies fundidas y estampadas
>15	Piezas fundidas, forjadas y laminadas.

ILUSTRACIÓN 8- RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN FUNCIÓN DE LA APLICACIÓN

6 ANALISIS DE ALTERNATIVAS

En la determinación del proceso de producción de la pieza se ha procedido a un análisis de alternativas, procurando que la solución obtenida sea la óptima en cuestiones técnicas y económicas entre otras. Se han estudiado diferentes materiales, comparándose entre ellos y ponderando sus características; también se han estudiado diferentes formas de llevar el proceso de obtención de la preforma.

6.1 DEFINICIÓN DE LA PIEZA EN CUANTO A MATERIAL

En primer lugar, se ha realizado una comparativa entre diferentes materiales para establecer cuál de ellos es el más adecuado para fabricar los cubos de rueda. Se han propuesto 3 aceros y un tipo de aluminio utilizados habitualmente en la industria para la construcción de todo tipo de piezas y formas: cigüeñales, bielas, émbolos, piezas de suspensión, manguetas, carcasas... A continuación, se nombrarán y se expondrán sus propiedades mecánicas y físicas.

MATERIALES	49MnVS3	38MnSiVS5	46MnSiVS6	Al7075-T6
Límite elástico (MPa)	>450	>550	>600	>505
Resistencia a tracción (MPa)	750-900	820-1000	950-1100	570
Vel. corrosión (mm/y)	>1,27	>1,27	>1,27	>0,508
Densidad (kg/dm ³)	7,85	7,85	7,85	2,81
Dureza	56 HRC	52 HRC	54 HRC	140 HB

Una vez definidos dichos materiales se proponen los siguientes criterios de ponderación:

- Disponibilidad
- Peso
- Maquinabilidad
- Coste

	Resistencia mecánica	Peso	Maquinabilidad	Rango
Factor de ponderación	0.4	0.2	0.5	
49 MnVS3	4	3	1	2.7
38MnSiVS5	4.5	3	2	3.4
46MnSiVS6	5	3	1.5	3.35
Al 7075-T6	1	5	3	2.9

De acuerdo con la ponderación de la tabla 2 el material más conveniente a utilizar es el 38MnSiVS5 (Din Alemania), 38MnVS6 en el resto de Europa. Posee unas excelentes propiedades mecánicas y se considera el más apto para los procesos de fabricación que se llevarán a cabo.

6.2 PROCESO DE FABRICACIÓN

Como ya se ha comentado anteriormente, en el proceso de mecanizado es necesario partir de una preforma. En este apartado se discutirán las ventajas e inconvenientes de la forja y la fundición a la hora de obtenerla. Se analizará cada uno de ellos y más tarde, se justificará cual es más conveniente para nuestra tarea.

Fundición: Los procesos de fundición son utilizados en piezas de poco valor añadido. Es un proceso versátil, capaz de adaptarse a diferentes geometrías, materiales, tamaños de serie etc.

Existen muchas maneras de materializar una pieza a través de la fundición: en cáscara, por inyección, a la cera perdida... Sin embargo, a pesar de las diferencias entre una forma y otra, la fundición siempre se encuentra limitado por los mismos motivos:

- Precisión y acabado: estos procesos conllevan acabados y tolerancias en sus cotas funcionales. No poseen gran precisión; no son del todo adecuados si lo que se busca son geometrías complejas.
- Poca fiabilidad mecánica: a la hora de colar el material en la cavidad no se garantiza la total integridad de la pieza. Pueden aparecer defectos a nivel estructural. Esta circunstancia se convierte en crítica sobre todo si consideramos que estamos hablando de una pieza de la que depende directamente la seguridad de las personas.

Forja: Se trata de someter a un material a presiones o impactos controlados, obligándolo a alcanzar la fluencia y deformándolo hasta conseguir una forma deseada.

Como ventajas de este proceso encontramos:

- Excelentes propiedades mecánicas: Se asegura buena tenacidad, ductilidad, resistencia a la fatiga y a la corrosión gracias a la integridad metalúrgica y al fibrado direccional. Este fibrado ayudará en un futuro a incrementar la tenacidad del buje cuando se les someta a cargas exteriores. Durante la fluencia, el grano se orienta y fluye, alineándose en la misma dirección que la periferia de la pieza tal y como se aprecia en la Ilustración 10.

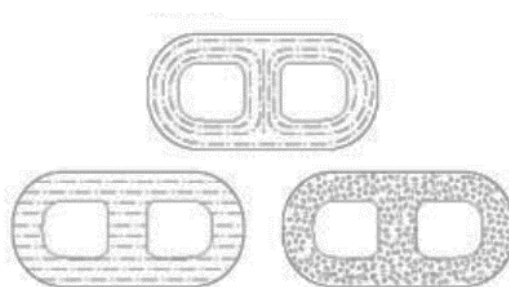


ILUSTRACIÓN 10- RESULTADO DE LOS FIBRADOS DESPUES DE FORJA, MECANIZADO Y FUNDICIÓN (UPV-EHU, 2019).

- Repetibilidad: A través de la forja se consiguen largas series de productos idénticos. Los productos quedan con una geometría muy similar, circunstancia útil ya que también buscamos cierta precisión en las tolerancias.



ILUSTRACIÓN 11- RESULTADO DEL FIBRADO DE UNA PIEZA FORJADA (UPV-EHU, 2019).

7 DESCRIPCION DE LA SOLUCION PROPUESTA

Una vez propuestas las alternativas que pudieran darse, es momento de concretar las circunstancias que intervendrán en el proceso de mecanizado. Hablamos de material a utilizar, tipo de proceso que nos facilitará la preforma, geometría de la pieza que se someterá a mecanizado, máquina herramienta a utilizar etc. Con el objetivo de facilitar la posterior comprensión de la hoja de procesos, se incluye también un apartado explicativo con algunos parámetros que aparecen en ella.

7.1 MATERIAL DE LA PIEZA

Como material a utilizar, se ha dispuesto anteriormente que el más adecuado es el llamado según la norma alemana DIN 38MnSiVS5 (según la norma europea 38MnVS6). Este metal es ampliamente utilizado en automoción debido a sus buenas prestaciones mecánicas. Se emplea para cigüeñales, bielas, émbolos, piezas de suspensión, manguetas, carcasas etc. De hecho, sus propiedades mecánicas son alcanzadas sin necesidad de someterlo a ningún tratamiento térmico. Además, dentro de su grupo (metales microaleados HSLA) posee una buena maquinabilidad.

Composición química medida en %:

EUROPA	ALEMANIA		C	Mn	Si	S	AL	V	Ti
EN	DIN	STAND							
38MnVS6	38MnSiVS5	1.5231	0,38	1,35	0,60	0,06	0,03	0,10	0,01

Esta concentración de carbono mantiene la conformabilidad del material. El vanadio y el titanio como aleantes son utilizados para incrementar la resistencia mecánica. Estos elementos tienen por objeto alterar la microestructura de los aceros al carbono, la cual es generalmente una mezcla de ferrita-perlita, para producir una dispersión muy fina de aleaciones de carburos en una matriz casi pura de ferrita. Esto elimina el efecto de reducción de la tenacidad provocado por la fracción en volumen de perlita.

El silicio es utilizado para mejorar su resistencia a la corrosión. Este tipo de acero es también más resistente a la corrosión que la mayoría de los aceros debido a su falta de perlita en la microestructura (Wikipedia, 2019). Estamos hablando de una resistencia a la corrosión menor de 1,27 mm/año, milímetros de corrosión que penetran en la superficie por año, en un medio acuoso saturado de cloro a 16 grados. (AG., 2019)

Propiedades:

Resistencia a la tracción	550	MPa
Límite elástico	800-1000	MPa
Dureza	52	HRC

Característica	Temperatura (°C)	Valor	Unidad
Densidad	20	7.85	Kg/m ³

7.2 PREFORMA DE LA PIEZA

Después de haber comentado ventajas e inconvenientes, podemos concluir que la fundición es un proceso muy versátil y útil en la industria del metal, pero no es adecuado para piezas que intervengan activamente en la seguridad estructural de un sistema, puesto que no garantiza unas propiedades mecánicas óptimas. Se optará por un proceso de forja.

El proceso se realiza en caliente puesto que de esta manera el material tiene más capacidad para cambiar de forma y dimensiones sin que repentinamente aparezcan fallas o agrietamientos. Por encima de la temperatura de recristalización, el grano fluye tanto a nivel externo como interno durante la deformación, generando el fibrado direccional antes mencionado.

A nivel industrial, más concretamente siguiendo el ejemplo de empresas como CIE. Amaya Automotive, la forja se lleva a cabo en máquinas automáticas, llamadas prensas horizontales Hatebur. Este sistema posee cuatro estaciones totalmente automatizadas. La forma del cubo se irá generando poco a poco en las sucesivas etapas. Primeramente, se ensaya un forjado libre y después progresivamente se va aproximándolo a la forma final. Un proceso dividido en etapas solicita a la prensa una cantidad de potencia máxima mucho menor que si se llevara a cabo en una única etapa. Por último, es importante mencionar que durante este proceso se estiman unas creces de mecanizado de 2 mm respecto del diseño inicial.

7.3 ANALISIS DE LOS PARÁMETROS DE MECANIZADO

En este apartado se van a comentar las diferentes magnitudes que influyen en los procesos de mecanizado a los que nos exponemos, y las ecuaciones que modelizan su influencia. Estas magnitudes son el giro y la velocidad de corte, el avance de la herramienta y la velocidad de avance, y la energía específica y potencia de corte.

7.3.1 GIRO Y VELOCIDAD DE CORTE

Las velocidades a tener en cuenta en el proceso de torneado son:

- Velocidad de giro de la pieza (N): Es la velocidad de giro del husillo en el caso de torneado, y de la broca en el caso del taladrado.
- Velocidad de corte (V_c): Está orientada a definir la propia operación de torneado. Esta velocidad define el movimiento que realiza la herramienta sobre la superficie de la pieza en m/min.

Estas dos velocidades están relacionadas a través de la ecuación:

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

Donde D es el diámetro de la pieza en milímetros.

La máquina elegida para el mecanizado es un torno CNC. Esto implica que la velocidad de corte puede mantenerse constante durante toda la operación si fuese requerido ya que la velocidad de giro variará en línea con la variación del diámetro.

A la hora de elegir una velocidad de corte, tendrán que tenerse en cuenta:

- Material de la pieza. Más en concreto, la dureza superficial que tenga.
- Forma de las pasadas a lo largo de la pieza y resultados a obtener.
- Requerimientos en cuanto a valores operacionales como la profundidad de pasada y campos de avance.

La situación donde la herramienta gira y la pieza está estacionaria es la misma, siendo la única diferencia que la herramienta gira a la velocidad del husillo, haciendo que la arista de corte pase la superficie a mecanizar a una cierta velocidad de corte.

Efectos de la velocidad de corte:

Demasiado alta:

- Rápido desgaste en incidencia.
- Acabado deficiente.
- Rápida formación de cráteres de desgaste.
- Deformación plástica.

Demasiado baja:

- Superficie deficiente.
- Embotamiento del filo.
- Filo de aportación.
- Poco económico.

Es de gran importancia la influencia que tiene la velocidad de corte en la vida de la herramienta. La primera relación existente entre estas dos variables fue la ecuación de Taylor, representada en la Ilustración 12 y cuya ecuación es:

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

Donde V_c es la velocidad de corte, T es el tiempo de vida en minutos, y K y n son valores dependientes de las circunstancias del mecanizado.

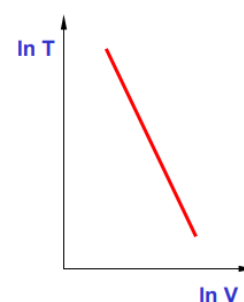


ILUSTRACIÓN 12- TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA (1).

El valor n depende del material de la herramienta:

- Herramientas de acero rápido ~1,3077
- Herramientas de metal duro ~1,6667
- Herramientas de cerámica ~3

El valor k depende de:

- Material de la pieza.
- Tipo de herramienta.
- Valor de las condiciones de mecanizado: ancho, profundidad, avance etc.
- Utilización de fluidos de corte.

Sin embargo, esta ecuación no se ajusta bien (Ilustración 13) en circunstancias concretas de:

- Velocidades de corte extremas.
- Duraciones de herramienta muy altas. V muy bajas.

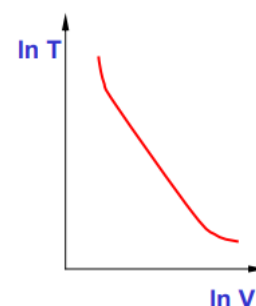


ILUSTRACIÓN 13- TEMPERATURA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA (2).

7.3.2 AVANCE DE LA HERRAMIENTA

El avance de la herramienta (f) es el valor que determina la calidad de la superficie mecanizada. Se define como el cociente de la velocidad de avance de la herramienta entre la velocidad de giro de la pieza:

$$f = \frac{V_f}{N}$$

Este parámetro asegura que la formación de la viruta se encuentra dentro del campo de la geometría de corte; determinará su espesor y también en conjunción con la profundidad de pasada, la proporción de rotura de la misma.

Un mayor avance conducirá lógicamente a una vida más corta de la herramienta para una velocidad de corte determinada, pero por otro lado conducirá a un mecanizado más rápido y regímenes de arranque de viruta más elevados.

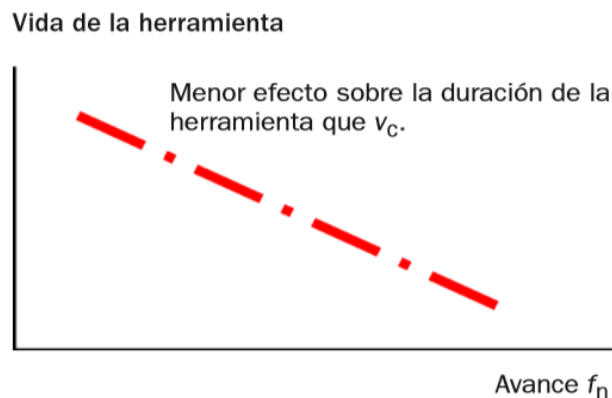


ILUSTRACIÓN 14- REPRESENTACIÓN DE LA VIDA DE LA HERRAMIENTA EN FUNCIÓN DEL AVANCE

7.3.3 ENERGÍA ESPECÍFICA DE CORTE Y POTENCIA DE CORTE

La energía específica de corte es un valor que puede variar considerablemente para un material dado, y es afectada por cambios en la velocidad de corte, el avance, inclinación de la herramienta... Este valor se considera útil para llevar a cabo el cálculo de la potencia requerida en una máquina herramienta. Servirá para el cálculo de las fuerzas de corte necesarias para mecanizar el material.

La potencia de corte, valor del torno, se calcula como:

$$P \text{ (kw)} = \frac{V_c \cdot K_c \cdot f_n \cdot a_p}{60 \cdot 1000} \text{ (kw)}$$

Donde:

V_c = Velocidad de corte en m/min

K_c = Fuerza específica de corte en N/mm²

f_n = Avance de la herramienta en mm/rev

a_p = Profundidad de pasada en mm

A continuación, se exponen los valores de K_{c1} para diferentes materiales según su proceso de fabricación:

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, k_{c1} (N/mm ²)	
P1.1.Z.AN	1	1	Z forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	125 HB	1500
P1.1.Z.HT	1	1		HT	endurecido+revenido	190 HB	1770
P1.2.Z.AN	1	2	Z forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	190 HB	1700
P1.2.Z.HT	1	2		HT	endurecido+revenido	210 HB	1820
P1.3.Z.AN	1	3	Z forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	190 HB	1750
P1.3.Z.HT	1	3		HT	endurecido+revenido	300 HB	2000
P1.4.Z.AN	1	4	Z forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	220 HB	1180
P1.5.C.HT	1	5	C fundición	HT	sin tratar	150 HB	1400
P1.5.C.AN	1	5		AN	endurecido+revenido	300 HB	2880
P2.1.Z.AN	2	1	Z forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	175 HB	1700
P2.2.Z.AN	2	2		AN		240 HB	1950
P2.3.Z.AN	2	3		AN		260 HB	2020
P2.4.Z.AN	2	4		AN		225 HB	
P2.5.Z.HT	2	5	Z forjado/laminado/ estirado en frío	HT	endurecido+revenido	330 HB	2000
P2.6.C.UT	2	6	C fundición	UT	sin tratar	200 HB	1600
P2.6.C.HT	2	6		HT	endurecido+revenido	380 HB	3200
P3.0.Z.AN	3	0	Z forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	200 HB	1950
P3.0.Z.HT	3	0		HT	endurecido+revenido	380 HB	3100
P3.0.C.UT	3	0	C fundición	UT	sin tratar	200 HB	1950
P3.0.C.HT	3	0		HT	endurecido+revenido	340 HB	3040
P3.1.Z.AN	3	1	Z forjado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	250 HB	2360
P3.2.C.AQ	3	2	C fundición	AQ	recocido/templado con agua o recocido	300 HB	3000
P4.0.S.NS	4	0	S sinterizado	NS	sin especificar	150 HB	

ILUSTRACIÓN 15- FUERZA ESPECÍFICA DE CORTE PARA DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

7.4 MÁQUINA A UTILIZAR

Con el objetivo de elegir una máquina herramienta que se ajuste a los requerimientos expuestos anteriormente, nos centraremos en la oferta de tornos de control numérico del mercado, fijándonos con más detenimiento en las firmas MAZAK, CMZ y DMG. Cada marca produce series de tornos de diferentes características. Los más grandes llegan a tener hasta 45 Kw en el husillo principal, potencia muy por encima de la que se requiere. En general, la mayor parte de la oferta se mueve entre valores intermedios entre la decena y la veintena. En cuanto a la capacidad para accionar herramientas, prácticamente todos poseen en torno a 12, excepto algunos de la marca CMZ.

En el ANEXO 2 se encuentran recogidas las características de algunos tornos que podrían ajustarse a nuestras solicitudes; todos poseen un eje C con el que poder llevar a cabo los agujeros del buje, principal requerimiento. De entre ellos, destaca el CTX ALPHA 500 (Ilustración 16) de la marca DMG. La propia marca la recomienda como máquina herramienta para mecanizar piezas del estilo a un buje de rueda. Sus condiciones de potencia se pueden considerar menores a las del resto de tornos del mercado, sin embargo, se consideran suficientes para el trabajo que desempeñará.

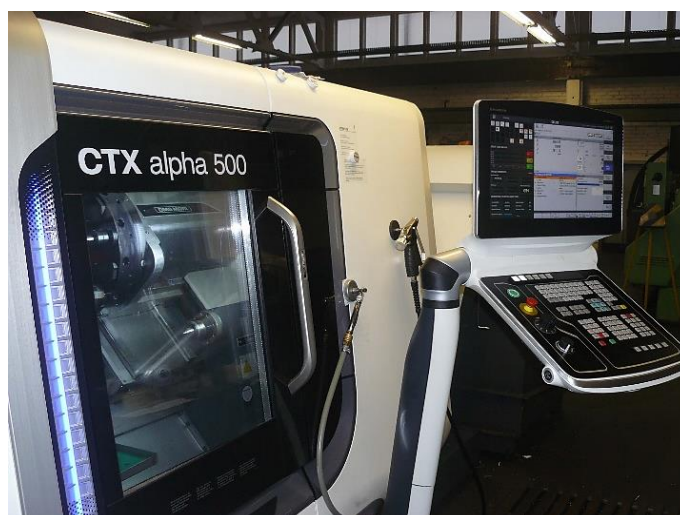


ILUSTRACIÓN 16- CTX ALPHA 500- (MACHIENBAU, 2018)

Sus principales parámetros de funcionamiento son:

HUSILLO PRINCIPAL

Máxima velocidad del motor del husillo	6.000 rpm
Nivel de potencia de accionamiento	12 kW
Par de torsión	172 Nm
Diámetro del husillo en el cojinete delantero	90 mm

TORRETA

Portaherramientas	12
Número de herramientas accionadas/velocidad máx.	12/5.000 n/rpm
Potencia	3 kW
Par de torsión	13 Nm

ÁREA DE TRABAJO

Máx. diámetro de torneado	240 mm
Máx. longitud de la pieza de trabajo con contrapunto (mecanizable)	500 mm
Máx. longitud de la pieza de trabajo con contrahusillo (mecanizable)	470 mm
Peso	5.000 kg

7.5 FLUIDO DE CORTE

Efecto de la temperatura

Durante el proceso de mecanizado habrá que tener en cuenta que en la región de contacto entre herramienta y pieza mecanizada se alcanzaran altas temperaturas. Estas temperaturas tendrán, irremediablemente, un efecto negativo sobre la herramienta usada, disminuyendo su tiempo de vida.

En el contacto de nuestra pieza, se producirán dos tipos de deformación debido al contacto: plástica y elástica. Cuando el material a mecanizar se deforme elásticamente, la energía transmitida será almacenada en forma de energía de deformación elástica, sin generarse calor.

Sin embargo, en el momento en el que el material alcanza la región plástica, la mayor parte de la energía requerida para llegar hasta esta zona será transformada en forma de calor. En el mecanizado el material será sometido a grandes deformaciones, y la deformación elástica supondrá una pequeña parte de la deformación total; por ello puede suponerse que casi toda la energía es transformada en calor.

Es conveniente evacuar este calor. Para ello se utilizan refrigerantes o fluidos de corte. Estos fluidos de corte, además de regular la temperatura, mejorarán las condiciones de corte, puesto que actuarán también como lubricantes.

Con la aplicación de estos fluidos de corte, se consigue:

- Aumento en el tiempo de vida, que resistirá más fácilmente deterioros ante fenómenos como el de adhesión, evitando errores en el mecanizado por filos recrecidos.
- Reducción de la distorsión térmica debido a los gradientes producidos en el interior de la pieza durante el mecanizado.
- Mejor extracción de la viruta, al ser esta arrastrada por este fluido en zonas de difícil acceso.

Efecto de la presión

Estudios recientes, han determinado que hay una gran influencia de la presión del fluido de corte en la eficiencia del mecanizado. Según Asmaola, departamento de la Fundación IMH “el simple hecho de utilizar líquido refrigerante a una presión de 80 bar, para lo cual la mayoría de los centros de mecanizado están preparados, puede aumentar la duración de vida de las plaquitas de corte más en casi el 70%” (Larrañaga, 2014).

Esta circunstancia se debe a la fácil evacuación de viruta. La alta presión del fluido ayuda a eliminar con más facilidad el material sobrante; la viruta se rompe con más facilidad. Por otro lado, tiene como ventaja el mayor control que puede llevarse sobre el proceso, puesto que es más sencillo manejarlo.

Vc [m/min]	8 Bar	80 Bar	Vc [m/min]	8 Bar	80 Bar	Vc [m/min]	8 – 80 Bar
250	24	37	250	50%	131%	250	19 -17%
290	16	27	290	0%	69%	290	23 0%
330	10	15	330	-38%	-6%	330	26 13%
360	5	11	360	-69%	-31%	360	29 24%

ILUSTRACIÓN 17- REPRESENTACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CORTE EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN DEL FLUIDO DE CORTE (LARRAÑAGA, 2014)

En la Ilustración 17 se encuentran representados los resultados de diferentes ensayos. La segunda tabla representa el valor del aumento de la vida de la herramienta, mientras que la tercera representa el caudal de viruta en cm^3/min . Cabe destacar que los 80 bares surgen como presión óptima para una velocidad de corte de 290 m/min, recomendada por los fabricantes.

8 DISEÑO DEL SISTEMA DE UNIÓN: ANÁLISIS DINÁMICOS

En este apartado se procederá al cálculo de las dimensiones de los agujeros de la pieza. Más tarde, con el objetivo de demostrar la validez de la pieza a nivel de diseño se calcularán, con un programa de elementos finitos, las tensiones y deformaciones a las que queda sometido el buje cuando se encuentra en funcionamiento.

El cubo de rueda es una pieza pensada para materializar la unión entre eje, rueda, y disco de freno. La unión se da a través de tornillos, responsables de soportar y transmitir todas las cargas. Considerados elementos delicados, se procederá a continuación a su cálculo.

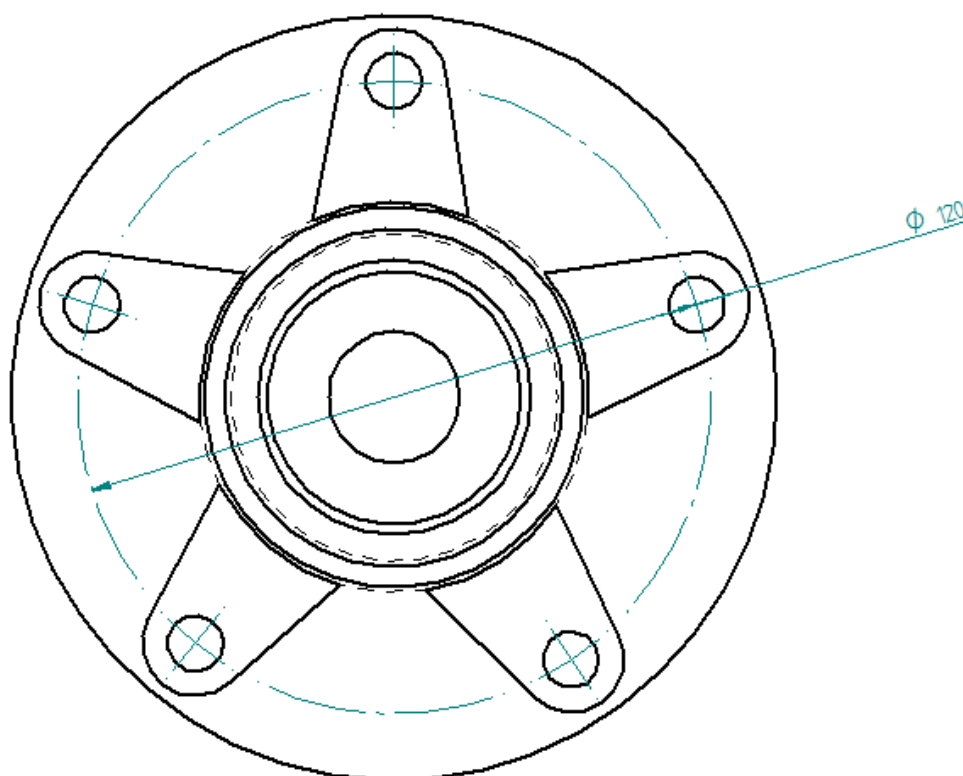


ILUSTRACIÓN 18- VISTA DE LA PIEZA EN PLANTA

Como puede verse en la Ilustración 18 el buje posee 5 agujeros situados en una circunferencia concéntrica al eje, de 120 mm de diámetro. Estos agujeros atraviesan una zona más gruesa del plato de la pieza, diseñada así a propósito puesto que esta zona será la parte más sensible a posibles grietas o deformaciones.

A través de un esquema (Ilustración 19), se visualizarán las cargas que actúan sobre la rueda, y, por ende, sobre los tornillos.

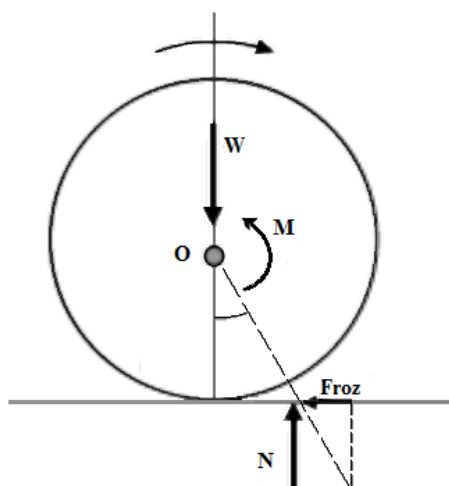


ILUSTRACIÓN 19- REPRESENTACIÓN DE LAS FUERZAS ACTUANTES SOBRE UNA RUEDA.

Antes de nada, se procederá al cálculo del par de frenada que actuará sobre la rueda. Posteriormente se requerirá para dar solución a la geometría del tornillo.

MAGNITUDES DE TRABAJO:

W : Peso del vehículo

N : Fuerza normal

F_{roz} : Fuerza de rozamiento

g : Gravedad

μ : Coeficiente de rozamiento

M_F : Par de frenada

I : Inercia de la rueda

$\alpha_{m\acute{a}x. \text{ velocidad}}$: Aceleración angular de la rueda a máxima velocidad.

R : Radio de la rueda.

δ : Distancia entre el punto de contacto y la aplicación de N .

α : Ángulo de rozamiento.

Se observa en Ilustración 19 que, durante el movimiento de la rueda, la reacción N aparece adelantada una distancia δ lo que provocará un momento $N \delta$ que se opondrá al movimiento.

$$F_{roz} = N \cdot \mu = W \cdot \mu = M \cdot g \cdot \mu$$

Los coeficientes de rozamiento entre el asfalto y el neumático suelen oscilar entre 0,8-1. Del lado de la seguridad (par de rozamiento lo más grande posible) este coeficiente lo caracterizaremos como $\mu=0,8$.

Por otro lado, haremos esta estimación pensando en un vehículo relativamente pesado. Consideraremos la masa del vehículo como 1500 Kg. Así mismo, supondremos un radio efectivo de la rueda de 0,3 m y una inercia de la misma de 0,8 kg m². La aceleración en el momento de máxima velocidad la consideraremos de 65 rad/s².

Mediante la aplicación de la segunda ley de newton:

$$M_F = I \cdot \alpha_{m\acute{a}x. velocidad} + F_{roz} \cdot R + N \cdot \delta$$

$$\delta = R \cdot \text{Sen}(\alpha)$$

$$\alpha = \text{arctg}\left(\frac{F_{roz}}{N}\right)$$

Introduciendo los datos en la ecuación anterior:

$$M_F = 0,8 \cdot 65 + \frac{1500}{4} \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot 0,3 + \frac{1500}{4} \cdot 0,3 \cdot \text{Sen}\left(\text{Arctg}\left(\frac{1500 \cdot 9,81 \cdot 0,8}{1500 \cdot 9,81}\right)\right)$$

$$M_F = 3.800,30 \text{ Nm}$$

Cabe destacar que los datos de referencia utilizados están orientativamente mayorados o minorados respecto de la información disponible, de tal manera que el par de frenado a utilizar sea el más grande posible.

Una vez calculado el par de frenado, se analizará el resto de fuerzas actuantes en relación a los tornillos.

Sobre los tornillos actuarán 3 fuerzas a tener en cuenta, la fuerza de rozamiento, el peso del vehículo y la normal.

$$F_f = \frac{F_{roz}}{4} = \frac{M \cdot g \cdot \mu}{4} = \frac{1500 \cdot 9,81 \cdot 0,8}{4} = 2.943,00 \text{ N}$$

$$P = \frac{m \cdot g}{4} = \frac{1500 \cdot 9,81}{4} = 3.678,75 \text{ N}$$

$$M_f = I \cdot \alpha_{m\acute{a}x. velocidad} + F_f \cdot R + \delta \cdot N = 3.800,30 \text{ Nm}$$

Ahora se procede al cálculo de las fuerzas cortantes:

$$\left. \begin{aligned} V_{p,i,x} &= \frac{P_x}{n} = \frac{2.943,00}{5} \\ V_{p,i,y} &= \frac{P_y}{n} = \frac{3.678,75}{5} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} V_{t,i,x} &= \frac{M_f}{r_c} \cdot \text{Sen}(\alpha_i) \\ V_{t,i,y} &= \frac{M_f}{r_c} \cdot \text{Cos}(\alpha_i) \end{aligned} \right\}$$

$$V_i = \sqrt{(V_{p,i,x} + V_{t,i,x})^2 + (V_{p,i,y} + V_{t,i,y})^2}$$

Se ha nombrado como α_i al ángulo que forma la dirección radial de cada agujero con el eje horizontal.

De este modo, para cada uno de los 5 tornillos tenemos los siguientes resultados (en newtons):

i	V_{x,i,p}	V_{p,i,y}	V_{t,i,x}	V_{t,i,y}	V_i
1	735.75	588.6	3914.524	12047.67	13464.78
2	735.75	588.6	12667.67	2.27E-05	13416.33
3	735.75	588.6	3914.524	-12047.7	12366.7
4	735.75	588.6	-10248.4	-7445.87	11726.54
5	735.75	588.6	-10248.4	7445.868	12451.6

Una vez calculados estos esfuerzos, los compararemos con los admisibles de un tornillo. Se considera el agotamiento de un tornillo a esfuerzo cortante cuando se alcanza:

$0,65 \cdot N \cdot A \cdot \sigma_{adm}$ Para los tornillos tipo T o tornillos ordinarios.

$0,80 \cdot N \cdot A \cdot \sigma_{adm}$ Para los tornillos tipo TC o tornillos

- A = Área de la sección del tornillo
- N= Secciones transversales que resisten el cortante conjuntamente. En este caso serán 2 perfiles los que transmitan carga al tornillo.
- $\sigma_n = 2400 \text{ Kg/cm}^2$ para la calidad A4t y 3000 Kg/cm^2 para la calidad A5t.

De esta manera calcularemos las secciones necesarias del tornillo:

Tipo T calidad A4t: $A = \frac{CS \cdot 13.464,78}{2 \cdot 0,65 \cdot 2400 \cdot 9,81} = 0.65988 \text{ cm}^2$

$$\phi = 2 \cdot \sqrt{\frac{0.65988}{\pi}} = 0,4583 \text{ cm}$$

Tipo TC calidad A4t: $A = \frac{CS \cdot 13.464,78}{2 \cdot 0,8 \cdot 2400} = 0.53615 \text{ cm}^2$

$$\phi = 2 \cdot \sqrt{\frac{0.53615}{\pi}} = 0.4131 \text{ cm}$$

$$\text{Tipo TC calidad A5t: } A = \frac{CS \cdot 13.464,78}{2 \cdot 0,8 \cdot 3000} = 0.42892 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 2 \cdot \sqrt{\frac{0.42892}{\pi}} = 0,3695 \text{ cm}$$

Se elegirá el tornillo tipo TC de calidad A5t. Para evitar la fluencia por cortante, con un coeficiente de seguridad de 1,5 el diámetro mínimo del agujero debería de ser de 5,54 milímetros.

Este tipo de tornillos se encuentran normalizados. Consultando la tabla de tornillos tipo TC $\phi \times L$, A5 adecuada en la norma podremos ver más en profundidad cuáles son las características de este tornillo.

Tornillo tipo	Vástago					Cabeza				Area neta del núcleo A_n cm ²	Area resistente A_r cm ²
	Diámetro de la caña y del agujero a mm	Diámetro exterior de la rosca d mm	Diámetro interior de la rosca d_3 mm	Longitud roscada b mm	Longitud de la salida x mm	Espesor k mm	Medida entre caras s mm	Medida entre aristas e mm	Radio del acuerdo r mm		
TC 10	11	10	8.160	17.5	2.5	7	17	19.6	0.5	0.523	0.580
TC 12	13	12	9.853	19.5	2.5	8	19	21.9	1.0	0.762	0.843
TC 16	17	16	13.546	23.0	3.0	10	24	27.7	1.0	1.440	1.570
TC 20	21	20	16.933	26.0	4.0	13	30	34.5	1.0	2.250	2.750
TC 22	23	22	18.933	28.0	4.0	14	32	36.9	1.0	2.820	3.030
TC 24	25	24	20.319	29.5	4.5	15	36	41.6	1.0	3.240	3.530
TC 27	28	27	23.319	32.5	4.5	17	41	47.3	1.0	4.270	4.590
TC 30	31	30	25.706	35.0	5.0	19	46	53.1	1.0	5.190	5.610
TC 33	34	33	28.706	38.0	5.0	21	50	57.7	1.0	6.470	6.940
TC 36	39	36	31.093	40.0	6.0	23	55	63.5	1.0	7.590	8.170

ILUSTRACIÓN 20- TABLA DE TORNILLOS NORMALIZADOS SEGÚN CALIDAD (INGEMECÁNICA, 2019).

El tornillo más restrictivo será el TC10, con 10 mm de diámetro exterior de rosca. A partir de aquí, podrá elegirse el que se quiera, puesto que en esta elección también influirán dimensiones de las piezas que forman el conjunto de las ruedas: frenos, llantas etc. Los cálculos que nosotros realizaremos posteriormente serán en base a un tornillo de tipo TC 12, que corresponderá con un agujero que en la métrica ISO 4032 se corresponderá con un M12x1,5.

Una vez detallado esto, y apoyándonos en el diseño CAD de la pieza, se procederá a representar mediante elementos finitos los estados tensionales que resultan de aplicar las cargas. Para ello se utilizará el programa de licencia académica ansys workbench.

Se aplicarán las reacciones calculadas para los tornillos, y se mantendrá fija la cara interior del eje. De esta manera se procederá al cálculo de las tensiones y de las deformaciones.

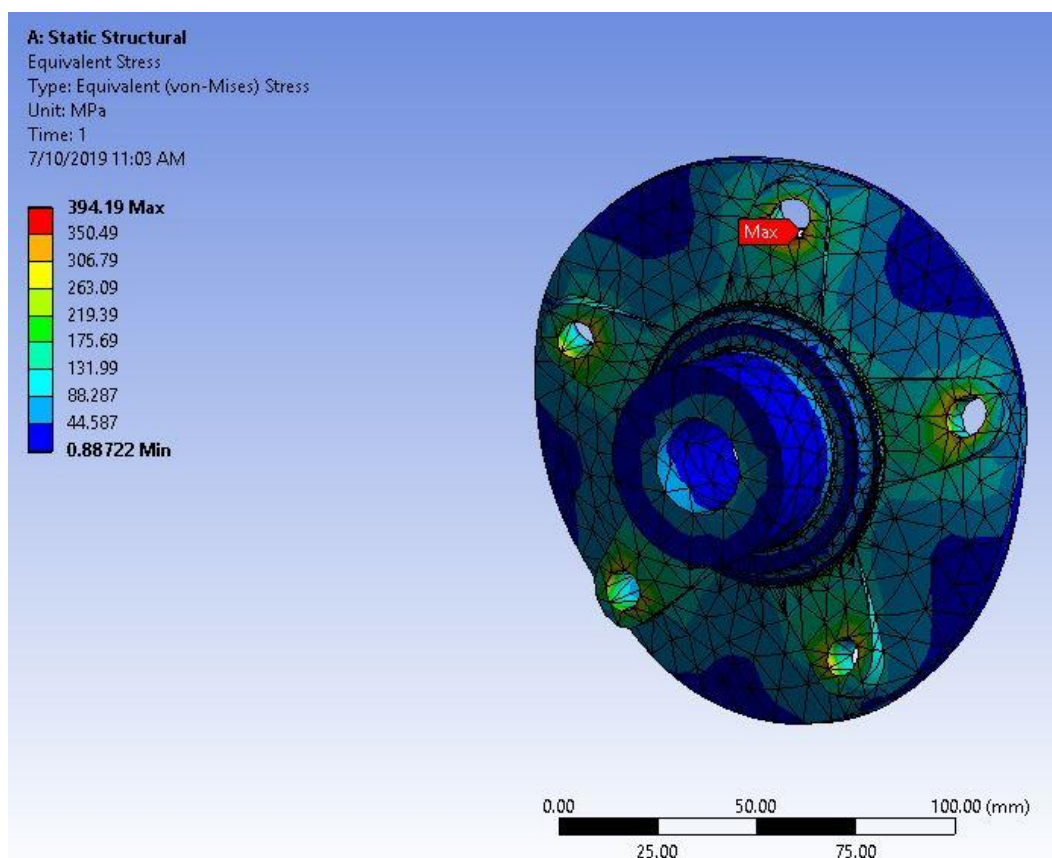


ILUSTRACIÓN 21- REPRESENTACIÓN DE TENSIONES POR EF

Como tensión máxima de Von-Mises obtenemos un valor de 394,19 MPa, concentrado en la periferia de un agujero de un tornillo. Como se ha visto anteriormente, el material tiene un límite elástico de 800 MPa, por encima de las sollicitaciones, haciendo trabajar a la pieza con un coeficiente de seguridad de 2.

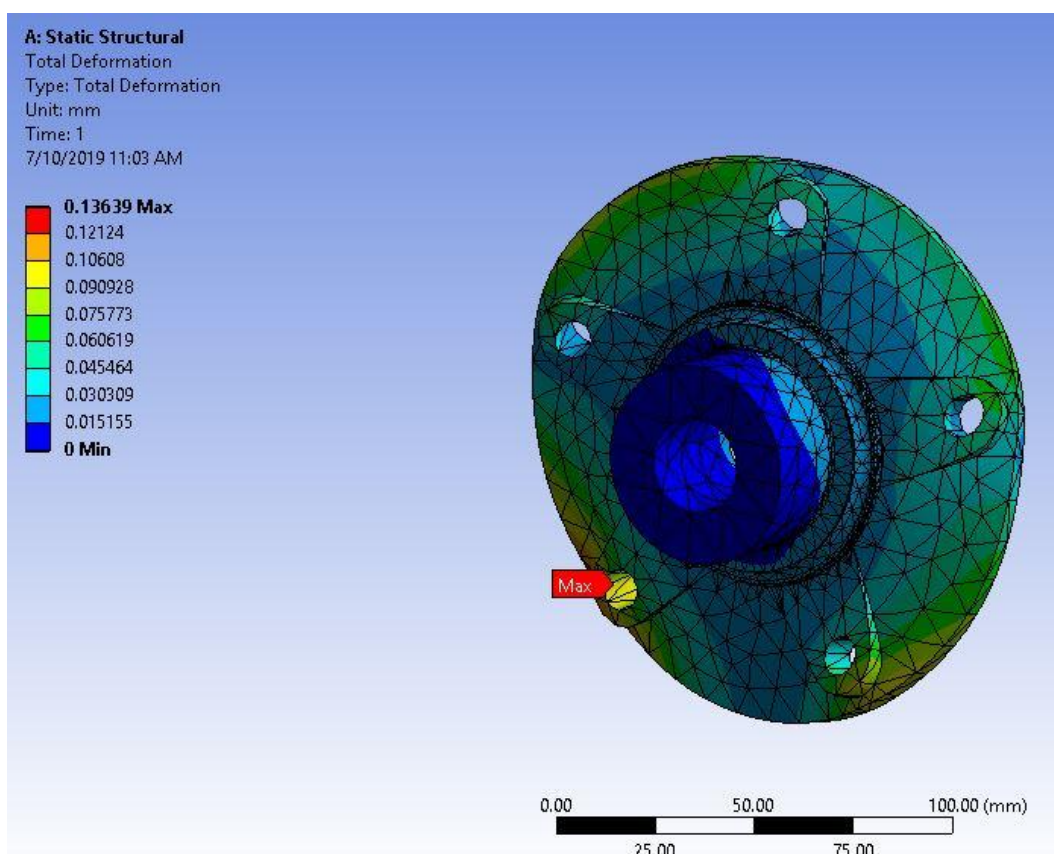


ILUSTRACIÓN 22- REPRESENTACIÓN DE LA DEFORMACIÓN POR EF.

En la Ilustración 22- Representación de la deformación por EF. se puede apreciar el apartado de deformaciones. Como máximo obtendremos una deformación total de 1,34 milímetros en uno de los agujeros de los tornillos. Se observa que el resto de la pieza no posee deformaciones apreciables.

9 METODOLOGÍA

Este trabajo tiene como objetivo presentar una solución de fabricación y mecanizado a aplicar sobre un cubo de rueda.

Partiendo del cubo de rueda procedente de forja y siendo conocidas la geometría y características de la pieza final, se analizaron las distintas operaciones de mecanizado.

La hoja de procesos se encuentra en el anexo 4. Contiene información acerca de condiciones de corte, como los valores de los parámetros de velocidad de corte, revoluciones del husillo, avance y profundidad de pasada, así como la identificación de las herramientas y los portaherramientas a utilizar en cada fase. La constitución de esta hoja se ha llevado a cabo con la ayuda de un catálogo comercial online.

A continuación, se abordará una explicación detallada de la metodología seguida para la realización del trabajo.

9.1 DEFINICIÓN DE LA PIEZA CON SOLID EDGE

Gracias al software Solid Edge se ha podido representar y dimensionar la estructura de la pieza. Es importante destacar que algunas de las dimensiones secundarias de la pieza son orientativas, puesto que su definición tendrá que ver con el entorno en el que se encuentra. Es por esto que no se encuentran definidas con exactitud absolutamente todas las cotas, sino únicamente aquellas que intervienen en el proceso de fabricación.

Este diseño CAD es útil en dos sentidos. Por un lado, nos ha permitido someter al modelo a un ensayo de cargas por elementos finitos, contribuyendo a dimensionar el tipo de unión atornillada (pág 40). Por otro lado, también ha sido de gran ayuda a la hora de representar las operaciones de mecanizado que se llevarán a cabo; contribuye a crear una imagen mucho más visual de cada fase.

En el anexo 5 se adjunta un plano de acotación en el que pueden apreciarse sus medidas.

9.2 DEFINICIÓN DE LAS OPERACIONES DE MECANIZADO

En este apartado se procederá a enumerar y definir las diferentes etapas de las que constará este proceso

Uno de los principios en torno a los que se suele organizar el proceso de mecanizado es el mínimo gasto de tiempo posible; así pues, las fases se plantearán también en relación a ello. Para evitar gastos innecesarios de tiempo, deberá tratarse de emplear el mayor conjunto de operaciones sin desmontar la pieza.

Habiendo analizado anteriormente la geometría de la pieza, encontramos dos tipos de operaciones a realizar: de torneado y de taladrado. Por tanto, el proceso de mecanizado contará con dos fases diferentes.

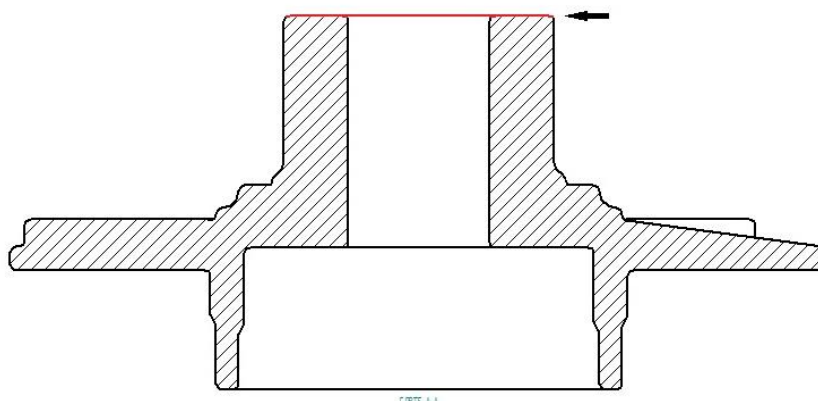
Dentro de las operaciones de torneado, nos encontramos con que para ser capaces de mecanizar todas las cotas funcionales antes expuestas tendremos que desmontar la pieza como mínimo una vez.

Bajo estas premisas, se proponen 12 operaciones diferentes, tratando de seguir un orden que garantice la mayor productividad posible:

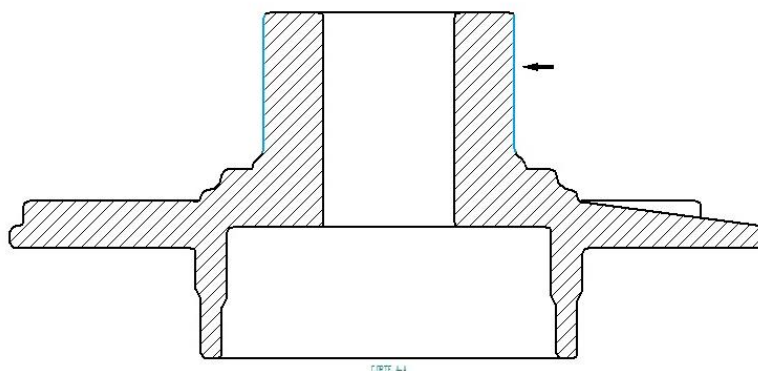
1. PARTE 1- TORNEADO

1.1. PLATO DE GARRAS SUJETANDO LA PARTE INFERIOR

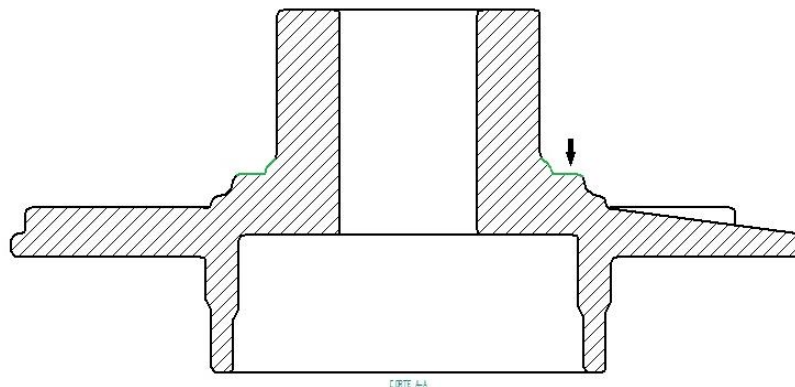
- 1101- Refrentado de tubo, correspondiente a la zona superior de la pieza.



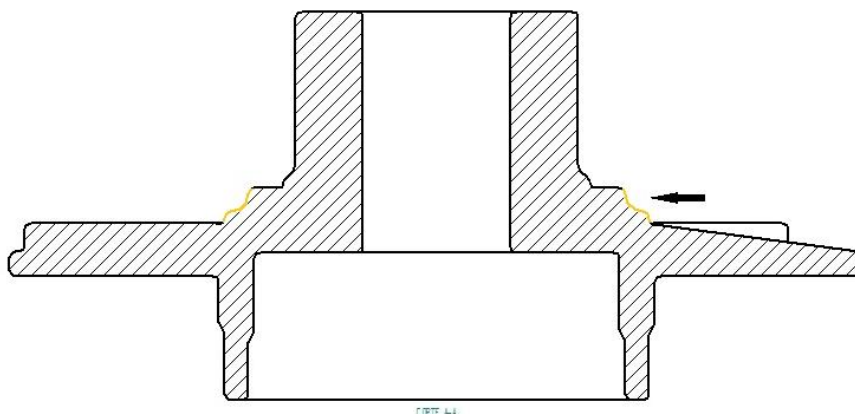
- 1102- Zona cilíndrica del cuello del buje con un pequeño relieve en la zona de unión.



- 1103- Superficie con escuadra. Se alterna torneado y refrentado.

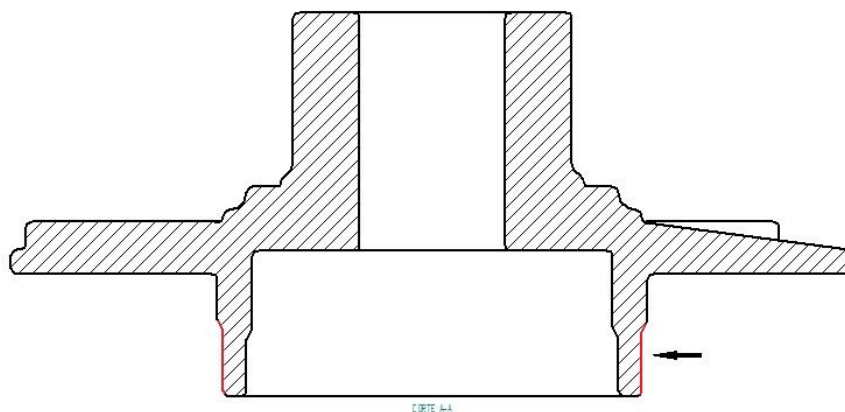


- 1104- Relieve del aliviadero de tensiones en la base del cuello del buje.

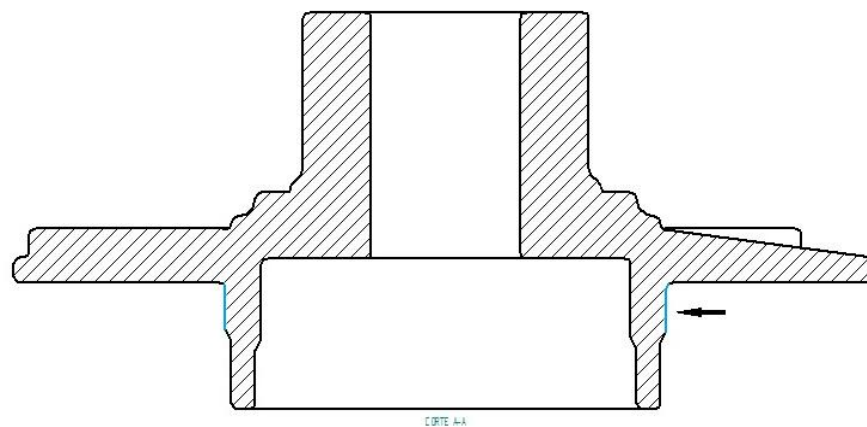


1.2. PLATO DE GARRAS SUJETANDO LA PARTE SUPERIOR.

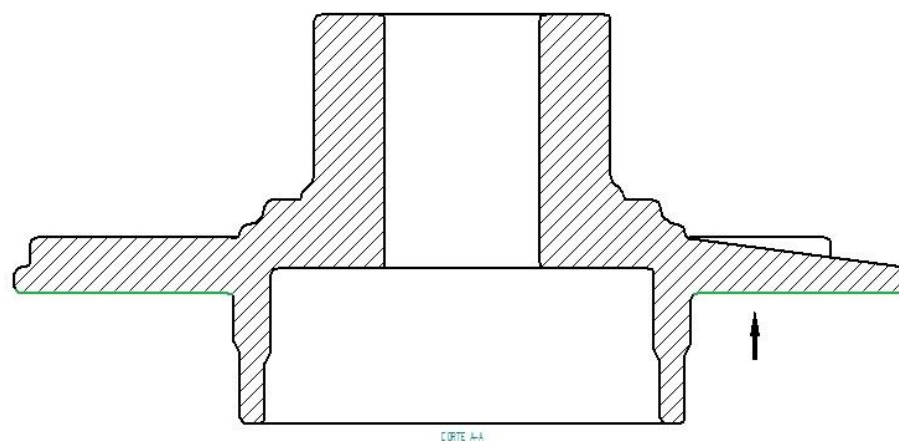
- 1201- Superficie exterior cilíndrica. Únicamente hasta el primer relieve.



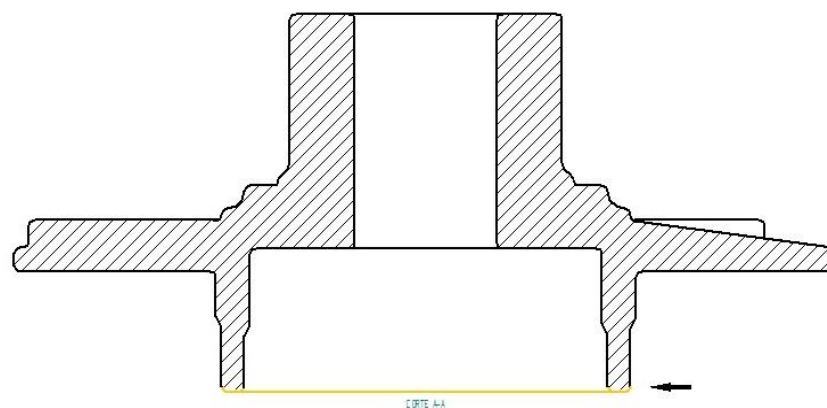
- 1202- Superficie exterior cilíndrica. A continuación del relieve anterior.



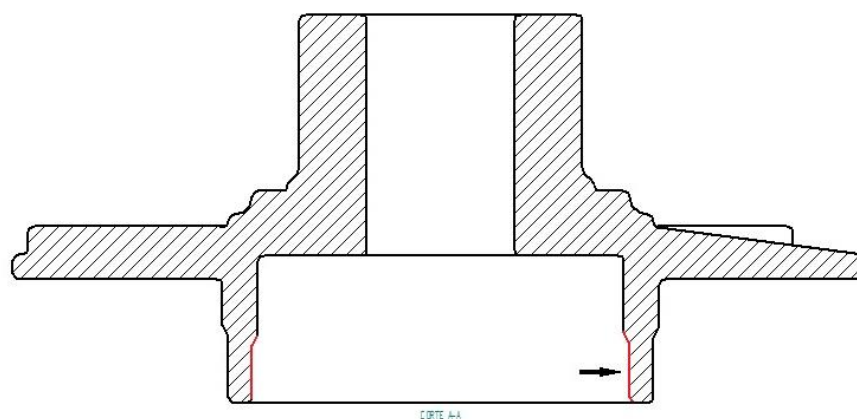
- 1203- Refrentado de tubo. Correspondiente a la parte inferior del plato.



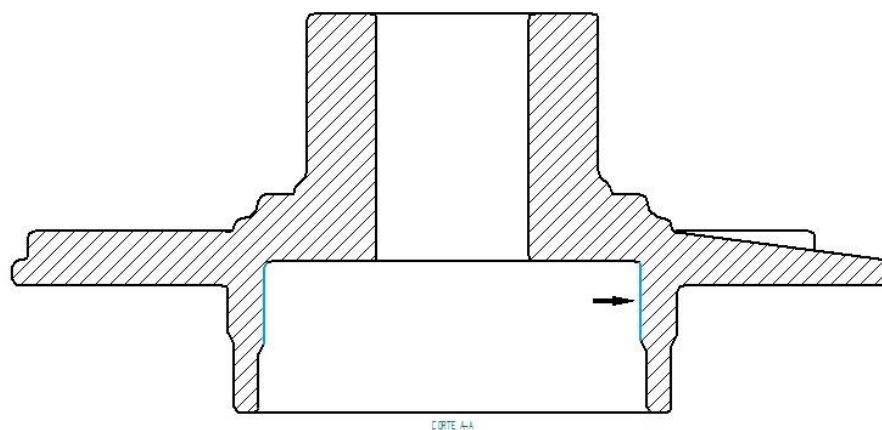
- 1204- Refrentado de tubo. Correspondiente a la superficie inferior de la pieza.



- 1205- Torneado interior. Hasta el primer relieve de la cavidad.

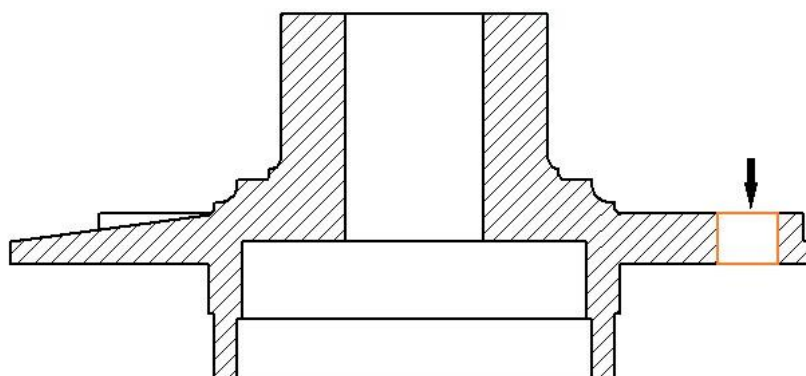


- 1206- Torneado interior. A continuación del relieve anterior.

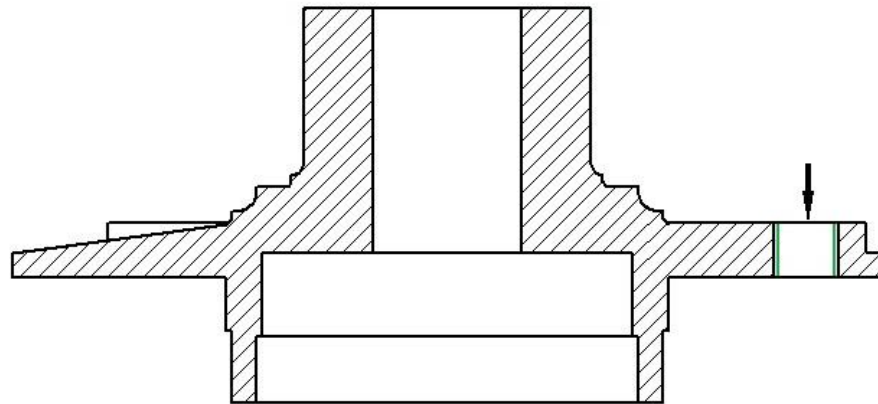


2. PARTE 2- TALADRADO Y ROSCADO.

- 1207- Taladrado. Primeramente, se taladran los cinco agujeros pasantes para luego roscarlos.



- 1208- Roscado. Con un macho de roscar se roscan los 5 agujeros.



La hoja de procesos contiene información más detallada sobre cada una de estas fases ya que estudia particularmente el caso de cada una siguiendo este mismo orden.

9.3 UTILIZACIÓN ONLINE DE LA APLICACIÓN DE SANDVIK

El objetivo del proyecto es la creación de una hoja de procesos en la que se encuentren definidas de manera clara las operaciones a realizar, los parámetros que influyen, y las herramientas a utilizar.

Por un lado, las operaciones a realizar son decisión personal; se han determinado pensando en realizar el mecanizado total en un tiempo mínimo, con la intención de ser lo más eficiente posible.

En cuanto a los parámetros de corte, es posible abordar su cálculo a través de un software o directamente a través del propio conocimiento de la operación.

La gran problemática surge a la hora de determinar las herramientas a utilizar. Los catálogos comerciales que abordan esta cuestión poseen infinidad de posibilidades, posibilidades a veces incluso cambiantes en el tiempo. La industria oferta diferentes tipos de herramientas cada año, con nuevas alternativas y características concretas: nuevos recubrimientos para los insertos según operaciones, innovaciones sobre los portaherramientas para ambientes con vibraciones, desgastes agresivos etc. En definitiva, tratar de hacer esta elección de manera manual se hace tarea especialmente compleja y trabajosa.

Debido a esta circunstancia, se ha decidido concretar la solución a través de la ayuda de un software online. Su nombre es CoroPlus Tool Guide, y se encuentra alojado en la página oficial de la marca Sandvik coromant. Este software proporciona datos de corte optimizados según el tipo de operación que quiera analizarse; además se proponen soluciones muy concretas de insertos y portaherramientas, eligiéndose de manera automática en función de la tarea.



ILUSTRACIÓN 23- INTERFAZ PRINCIPAL DE COROPLUS TOOLGUIDE (COROMANT, SANDVIK, 2018)

Se ofrece la posibilidad de concretar datos acerca de la máquina disponible para el mecanizado con restricciones en cuanto a velocidad de rotación del husillo y par de corte límite, así como el tipo de material sobre el que se va a trabajar. La interfaz se encuentra representada en la Ilustración 23 .

Una vez seleccionadas las restricciones de corte y el material, se procede a elegir la operación que quiere analizarse. En el apartado que nos interesa, el torneado, CoroPlus da la posibilidad de elegir entre 5 operaciones principales, de las que luego surgen de cada una de ellas otras operaciones más concretas. Primeramente, se ofrecen torneados de exterior, de interior, ranurados, roscados, y de agujeros en componentes rotativos.

El siguiente paso una vez escogida la operación que se ajuste a nuestros requerimientos de análisis, es la concreción de las condiciones de trabajo. Deben concretarse las cotas a mecanizar y de manera opcional se da la posibilidad de introducir datos acerca de la estabilidad de la pieza, la continuidad del corte, y referencias sobre el pre-mecanizado.

Se propone un ejemplo explicativo (Ilustración 24): Torneado exterior de una superficie cilíndrica rotativa. Se torneará un acero de baja aleación desde un diámetro de 44 hasta 40 mm durante una longitud de 50 mm. Restringiremos la calidad superficial a 2 μm , y en las características del torno estableceremos una velocidad de giro máxima de 4000 rpm y un par de corte máximo de 200 Nm.

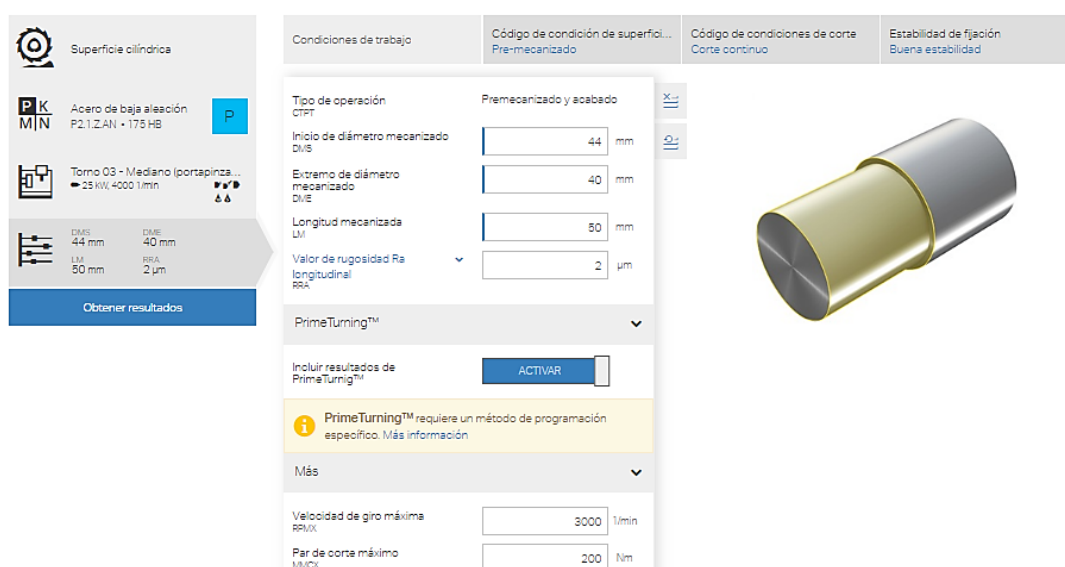
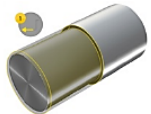


ILUSTRACIÓN 24- PANEL DE DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA (COROMANT, SANDVIK, 2018)

Una vez introducidos los datos geométricos, únicamente hay que ejecutar el software, surgiendo como resultado dos pantallas: una relativa a los datos de corte, donde se especifican los parámetros obtenidos como solución, y otra relativa a datos económicos, donde se representan aspectos como los tiempos de torneado.

TURNING EXTERNAL ONLY
LONGITUDINAL BACKWARD /
INTERCAMBIABLE



LEYENDA

1 Acabar longitudinal hacia atrás

CoroTurn Prime

CP-25BR-2020-11
Herramienta

CP-B110S-M5W 4325
Plaquita

Acoplamiento
Rectangular shank -metric: 20 x 20

Refrigeración
 Exterior
 Emulsión 10 %

Superficie cilíndrica

P2.1 ZAN 175 HB

Torno 03 - Mediano (portapinzas 6-12")
25 kW, 4000 1/min

DATOS ECONÓMICOS DATOS DE CORTE

VC [m/min] VELOCIDAD DE CORTE	FN [mm] AVANCE POR VUELTA	NOPAP NÚMERO DE PASADAS EN DIRECCIÓN AP	DMS [mm] INICIO DE DIÁMETRO MECANIZADO
377	0.459	1	44

DME [mm] EXTREMO DE DIÁMETRO MECANIZADO	AP [mm] PROFUNDIDAD DE CORTE	RPMX [1/min] VELOCIDAD DE GIRO MÁXIMA	PPCX [kW] POTENCIA DE CORTE MÁXIMA
40	2	3000	12.9

MMCX [Nm]
PAR DE CORTE MÁXIMO

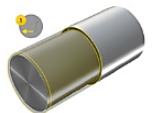
40.9

LEYENDA

1 Acabar longitudinal hacia atrás

ILUSTRACIÓN 25- PANEL DE SOLUCIONES (COROMANT, SANDVIK, 2018)

TURNING EXTERNAL ONLY
LONGITUDINAL BACKWARD /
INTERCAMBIABLE



LEYENDA

1 Acabar longitudinal hacia atrás

CoroTurn Prime

CP-25BR-2020-11
Herramienta

CP-B110S-M5W 4325
Plaquita

Acoplamiento
Rectangular shank -metric: 20 x 20

Refrigeración
 Exterior
 Emulsión 10 %

Superficie cilíndrica

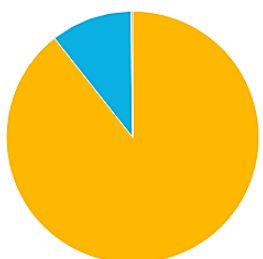
P2.1 ZAN 175 HB

Torno 03 - Mediano (portapinzas 6-12")
25 kW, 4000 1/min

DATOS ECONÓMICOS DATOS DE CORTE

TCCT [s] TIEMPO DE CORTE TOTAL	TNCT [s] TIEMPO SIN CORTE TOTAL	TMF [s] TIEMPO DE MECANIZADO	TLFEC [Características] Nº DE CARACTERÍSTICAS
2,18	0,344	2,52	740

COST [%] COSTE DE LA HERRAMIENTA	COST [%] COSTE DE LA PLAQUITA	COST [%] COSTE DE LA MÁQUINA-HERRAMIENTA	COST [%] COSTE POR CARACTERÍSTICA
0,183	10,4	89,2	100



■ Coste de la herramienta = 0,183%
■ Coste de la plaquita = 10,4%
■ Coste de la máquina-herramienta = 89,2%

ILUSTRACIÓN 26- PANEL DE SOLUCIONES ECONÓMICAS (COROMANT, SANDVIK, 2018)

En la Ilustración 25 y la Ilustración 26 se pueden observar los resultados de los datos de corte y de los datos económicos. La información que se facilita es abundante, y más en concreto abarca desde parámetros como el avance, la velocidad de corte o el tiempo de mecanizado, hasta el coste porcentual de las herramientas, o la nomenclatura de los insertos y los portaplaquitas más adecuados para la operación.

Seleccionando las opciones de plaquita y portaherramientas se accede a información más detallada, indicándose datos del producto tales como dimensiones, identificadores de acoplamiento, materiales o recubrimientos.

Este software también ofrece la posibilidad de especificar otras circunstancias como los fluidos de corte, el tipo de estabilidad de fijación o la continuidad del corte para mayor precisión en los resultados.

9.4 JUSTIFICACIÓN

Con el objetivo de argumentar la bondad del método anteriormente mencionado se procederá a comprobar de manera manual la relación entre los parámetros de corte de una operación de torneado y de la operación de taladrado, extrapolando la validez al resto de operaciones del mismo tipo. De esta manera se justifica el rigor de los resultados obtenidos a través del software.

Operación de torneado: se tomará como operación de análisis la 1102.

Datos de partida

$R_a=1,5 \mu\text{m}$

Diámetro de partida= 52 mm

Diámetro final= 48 mm

Longitud=26 mm

Se mantendrá la velocidad de corte aplicada por el software. $V_c=336$

Plaquita a utilizar: CP-B1108-M5W 4325.

Datos:

$R_\epsilon=2,381 \text{ mm}$

$$f^2 = R_a \cdot r_\epsilon \cdot 32$$

$$f = \sqrt{0,0015 \cdot 2,381 \cdot 32} = 0,338 \text{ mm}$$

$$N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{336 \cdot 1000}{\pi \cdot 48} = 2228 \text{ rev/min}$$

$$V_f = N \cdot f = 0,338 \cdot 2228 = 753,1 \text{ mm/min}$$

De esta manera:

$$t_m = \frac{L}{V_f} = \frac{26}{753,1} = 0,0345 \text{ min} = 2,07 \text{ s}$$

Comparando estos valores con los de la hoja de procesos, encontramos similitudes en todos los parámetros de corte. La fórmula utilizada para el cálculo manual del avance a partir de la rugosidad, es una fórmula aproximada, razón por la que los datos no son totalmente iguales.

Las diferencias entre los tiempos de mecanizado, se dan por la consideración de Sandvik coromant de distancia de aproximación. Una distancia que a través de cálculos queda:

$$\delta = t_t \cdot V_f - L = \frac{2,21}{60} \cdot 753,1 - 26 = 1,74 \text{ mm}$$

Que se traduce a un tiempo de aproximación de:

$$t_a = \frac{1,74 \cdot 60}{753,1} = 0,139 \text{ s}$$

Aproximadamente la diferencia entre el tiempo de mecanizado calculado y el tiempo estimado por el software.

Operación de taladrado: se tomará como operación de análisis la 1207.

Datos de partida

Diámetro = 12 mm

Longitud=9 mm

Se mantendrá la velocidad de corte aplicada por el software. $V_c=156$.

Herramientas a utilizar:

Plaquita periférica: 880-01 02 W04H-P-GR 4324

Plaquita central: 880-01 02 03H-C-GR 1044.

Datos:

En este caso no hay restricciones de rugosidad, puesto que se trata de una operación de taladrado. Se tomará un valor de $f=0,0924$ mm/rev, el mismo utilizado por CoroPlus.

De este modo:

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 156}{\pi \cdot 12} = 4138 \text{ rev/min}$$

$$V_f = f_z \cdot z \cdot N = 0,0924 \cdot 4138 = 382,35 \text{ mm/min}$$

$$t_m = \frac{L}{V_f} = \frac{9}{382,35} = 0,0235 \text{ min} = 1,412 \text{ s}$$

El tiempo por agujero asciende a 1,412 segundos, aproximadamente el mismo resultado obtenido en la hoja de procesos (1,44). Esta diferencia se debe a la distancia de aproximación, distancia que se materializa:

$$\delta = t_m \cdot V_f - L = \frac{1,44}{60} \cdot 382,35 - 9 = 0,176 \text{ mm}$$

10 CRONOGRAMA

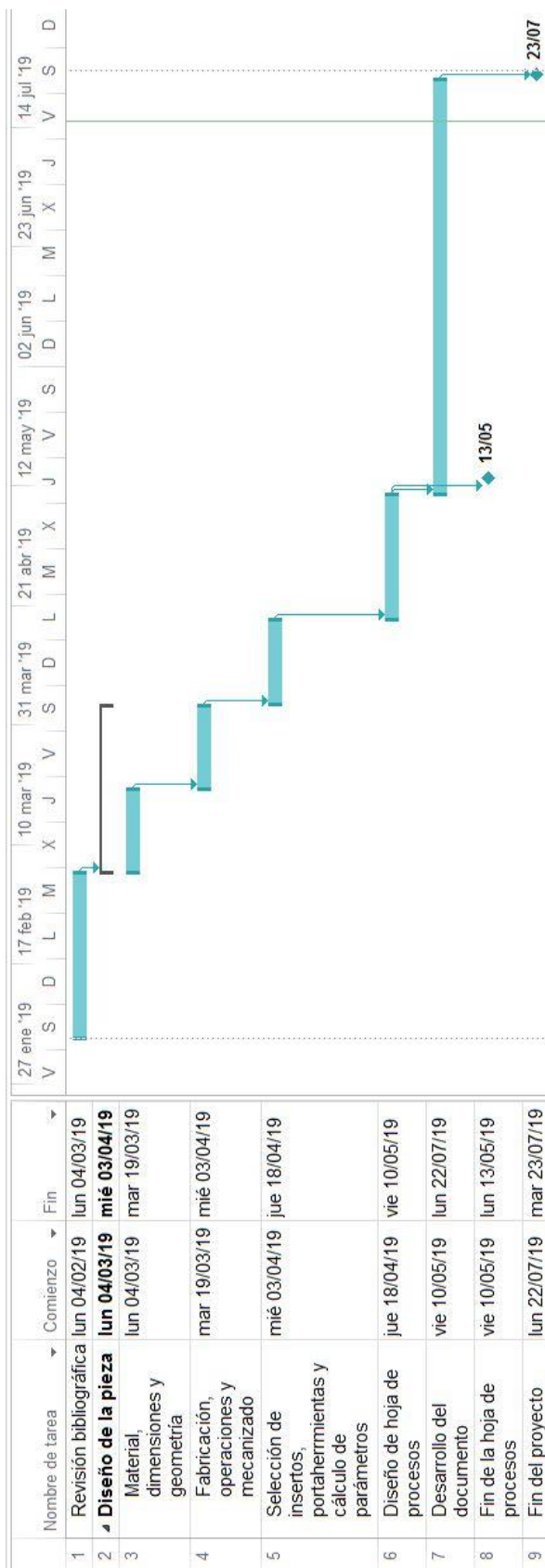
Se van a abordar a continuación las diferentes tareas que han ido realizándose durante el transcurso de estos últimos meses. Todas ellas han colaborado en conjunto a la consecución de este proyecto. Primero se aporta una breve descripción de cada una de ellas, y luego su representación a través de un diagrama de Gantt.

10.1 TAREAS

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

- Tarea 1: Revisión bibliográfica: Recopilación de información sobre el buje de rueda y procesos de mecanizado: situación dentro de la rueda, entorno y funcionamiento, tipos de materiales más aptos para materializar la pieza, posibles máquinas herramienta a utilizar, fases de mecanizado necesarias etc.
- Tarea 2: Material dimensiones y geometría: Se procedió al estudio de diferentes alternativas, y a la elección de la solución más adecuada. Durante esta etapa se dimensionó la pieza a través de un programa CAD, acotándose las zonas funcionales que más tarde influirían en la fase de mecanizado.
- Tarea 3: Fabricación, operaciones y mecanizado: Se decidió a cerca de las diferentes operaciones de torneado y taladrado. Se determinó la secuencia, la geometría del mecanizado etc.
- Tarea 4: Selección de portaherramientas, insertos y cálculo de parámetros: Continuando con la etapa anterior, a través del catálogo online de Sandvik se definieron los insertos, portaherramientas y parámetros que intervienen, en cada operación.
- Tarea 5: Diseño de la hoja de procesos: Gracias a todo lo expuesto anteriormente, durante este periodo de tiempo, la hoja de procesos fue rellenándose y tomando forma. También se comprobó la validez del programa utilizado anteriormente llevando a cabo cálculos manuales. Se compararon los resultados obtenidos en un método y otro.
- Tarea 6: Desarrollo del documento: Constitución del presente documento. Anexión de la hoja de procesos.

10.2 DIAGRAMA DE GANTT



11 DESCRIPCION DEL PRESUPUESTO

En este apartado se expondrá un pequeño desglose de los gastos que se han producido durante el desarrollo del proyecto. Para el desarrollo de este proyecto se ha requerido de:

- Ingeniero superior
- Graduado
- Ordenador
- Licencias de software
- Material de oficina

Diferenciaremos tres tipos de gastos diferentes: horas internas, medios materiales y amortizaciones.

Horas internas	Horas	Precio (€)/h
Ingeniera superior	15	50
Graduado	200	20
Ordenador		900
Medios materiales		Precio (€)
Material de oficina		20

Amortizaciones	Horas	Precio horario (€)	Coste	Precio (€)
Ordenador	185,00	0,021	180€/año	3,89
Software *	165,00	0,026	229 €/año	4,31

Subtotal (€)		4.778,20
Imprevistos (5%) (€)		238,91
Total (€)		5.017,11

(*) Únicamente se considera el uso de Microsoft Office dado que se emplean las versiones académicas de SolidEdge y Ansys Workbench, las cuales son gratuitas.

En cuanto a las horas internas, se desglosa el trabajo de dos personas. La denominada ingeniera superior se corresponde con la directora del trabajo, mientras que el graduado se corresponde con el propio autor del documento.

Finalmente, teniendo en cuenta todo lo arriba indicado y una partida del 5% para posibles imprevistos, se estiman unos gastos de 5.017,11 euros.

12 CONCLUSIONES

En este proyecto se ha logrado definir y analizar el proceso de mecanizado de un buje de rueda. Se ha realizado una hoja de procesos con todas las indicaciones necesarias y se han introducido información relativa al proceso: parámetros de corte, importancia del fluido de corte, características de las herramientas a utilizar etc. Durante el proceso se han ido obteniendo unos resultados que nos permiten conocer los requerimientos del proyecto y la funcionalidad de la pieza.

- El diseño mecánico efectuado nos permite asegurar la integridad de la pieza ante las sollicitaciones a las que se le va a someter. Los tornillos se han dimensionado en base a ellas; se decidió una métrica de M12x1,5. La tensión máxima a la que estará sometida la pieza se estima en 394 MPa, acompañada de una deformación máxima de 0,136 milímetros.

- El material es una variable de gran importancia en una pieza de estas características; su determinación se ha llevado a cabo minuciosamente. Se han analizado 4 materiales diferentes y finalmente se ha elegido por sus propiedades mecánicas, físicas y su maquinabilidad el acero micraleado 38MnSiV6.

- Se ha diseñado el proceso de mecanizado de la pieza que constará de 12 etapas, abordando únicamente las consideradas zonas funcionales atendiendo al uso que se espera hacer de la pieza. Ocho de las ellas serán operaciones de torneado, una de taladrado, y otra de roscado. El tiempo total de mecanizado asciende a 44,6 segundos.

- La verificación de los resultados del software Sandvik coromant aporta fiabilidad a la hora de usar el catálogo virtual y escoger los insertos y los portaplaquitas más adecuados. Estas herramientas han sido numeradas y especificadas, incluyendo sus características más importantes.

- Las informaciones aportadas en cuanto a tipos de sujeción, clases de plaquitas y las especificaciones del fluido de corte, son datos extrapolables a cualquier operación. Contribuyen a mejorar la experiencia del mecanizado; ayudan a prevenir problemas como los desgastes y las vibraciones, y alargan la vida de las herramientas, consiguiendo operaciones más competitivas.

- El proyecto ha sido principalmente realizado con la ayuda de un ordenador, requiriendo habitualmente el uso de programas privados, los cuales necesitan una licencia legal. El coste total del proyecto asciende a 7.282,31 € considerando una partida para imprevistos.

13 BIBLIOGRAFÍA

- AG., M. (2019). *Total materia*. Obtenido de <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=ES>
- Cabaña, D. I. (20 de Febrero de 2019). *Desguaces la cabaña*. Obtenido de <https://xn--desguaceslacabaa-lub.com/blog/mecanica/sonido-molesto-buje-rodamiento-rueda/>
- CEOE. (31 de Mayo de 2018). *CEOE*. Obtenido de <https://www.ceoe.es/es/contenido/actualidad/noticias/el-sector-del-automovil-espanol-supero-los-100000-millones-de-euros-de-facturacion-en-2017>
- Coromant, S. (2017). *Interempresas*.
- Coromant, S. (2018). *Sandvik*. Obtenido de <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/Pages/toolguide.aspx>
- DMG. (2019). *DMG*. Obtenido de <https://es.dmgmori.com/productos/maquinas/torneado/torneado-universal/ctx/ctx-alpha-500>
- Ingemecánica. (2019). *Ingemecánica*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutoriales/tornillos.html>
- Josmvala. (27 de Julio de 2011). *Blog.spol.edu*. Obtenido de <http://blog.espol.edu.ec/josmvala/2011/07/27/ensayos-del-acero-estructural/dibujo7/>
- Larrañaga, C. (1 de Agosto de 2014). *Interempresas*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/117190-Mecanizado-alta-presion-refrigerante-ganancias-duracion-vida-herramienta-corte-tiempo.html>
- Machienbau, E. (2018). *Erka Machienbau*. Obtenido de <https://www.erka-maschinenbau.de/news/28/27/CTX-alpha-500.html>
- Megane, D. (2014). *Aficionados a la mecánica*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.com/frenos-2.htm>
- Oliveras, J. (22 de Febrero de 2016). *HidroJING*. Obtenido de <http://www.hidrojing.com/como-seleccionar-el-coeficiente-de-rugosidad-de-manning-en-cauces-naturales/>
- SlidePlayer. (2019). *SlidePlayer*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/5434679/>
- UPV-EHU. (2019). *Egela*. Obtenido de http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/713_ca.pdf
- Wikipedia. (6 de Octubre de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motor_Vehicle_Production_1950_2013_es.svg
- Wikipedia. (20 de Junio de 2019). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Acero_microaleado

14 ANEXOS

14.1 ANEXO 1. INSERTOS Y PORTAHERRAMIENTAS

Con el fin de comprender la información que se presentará a continuación en cuanto a insertos y portaherramientas elegidos, se ha preparado un breve resumen. Se comentarán aspectos como la nomenclatura, y factores que pueden influir en el proceso de mecanizado.

14.1.1 INSERTOS

En este apartado se va a hablar primero de las variables que influyen en su selección. Después se comentará el tipo de nomenclatura a la que responden, y por último se expondrá la solución adoptada, adjuntándose imágenes de los propios insertos.

14.1.1.1 VARIABLES EN LA SELECCIÓN DE LA PLAQUITA

La elección de la plaquita utilizada para cada operación de mecanizado, recogerá todas las circunstancias que afectan a este proceso. Existen multitud de geometrías y estilos, todos pensados para unas condiciones concretas; no es tarea sencilla encontrar la solución óptima en cada fase.

La selección y elección de herramientas de torneado pueden llevarse a efecto mediante una serie de pasos lógicos basados en un número de factores relevantes que describen la pieza, la maquinaria, y las operaciones.

Se propone una rutina de análisis para llegar a realizar un estudio que nos permita elegir la plaquita correctamente:

1. **Análisis del diseño de la pieza y sus limitaciones:** intervienen de manera determinante requerimientos como las tolerancias, los acabados superficiales etc.
2. **Tipo de operación a realizar:** el tipo de contorneado que quiera llevarse a cabo (desbaste o perfilado) determinara en parte la geometría óptima.
3. **Condiciones de mecanizado y estabilidad:** Se trata de factores críticos para el resultado de cualquier operación de mecanizado. Por ejemplo, en el caso de que hubiera tendencia a las vibraciones, debería elegirse minuciosamente un portaherramientas en base a parámetros como el ancho del mango, su voladizo y la sujeción de la plaquita.
4. **Características de la máquina:** Pudiéramos encontrarnos por ejemplo con una máquina herramienta con limitaciones en la potencia o la velocidad de corte. En estos casos se elimina la posibilidad de usar determinados tipos de herramientas de corte.

5. **Material de la pieza a utilizar:** Intuitivamente, se entiende que aspectos relativos al material, como por ejemplo tenacidad o dureza superficial, afectaran de importante manera a la integridad de la plaquita. Por otro lado, el tipo de viruta que pudiera surgir también afecta de forma importante al tiempo de vida de la herramienta.

6. **Producción y economía:** Aspecto que determinan las bases importantes para las herramientas. El costo por pieza es un factor dominante en la mayoría de los tipos de producción, junto con el coste del filo de corte. El tamaño del lote a fabricar y la frecuencia con la que este se repite también afectan a la elección.

14.1.1.2 NOMENCLATURA

Dentro del sector del mecanizado existen innumerables plaquitas para el mecanizado por control numérico: triangulares, circulares, cuadrados, de metal duro recubierto, sin recubrir, de acero rápido... Es por esto que existe la norma ISO 1832.

De esta manera, la norma estandariza cada plaquita a través de un código formado por cuatro letras y tres números de la forma:

$$XXXX NN NN [NN]$$

De tal manera, en las cuatro primeras letras se encuentran registradas la geometría, el ángulo de incidencia, la tolerancia y el sistema de sujeción plaquita-portaherramientas respectivamente.

Los siguientes dos números indican el tamaño del filo de corte y el espesor. Se trata de dos números de dos cifras cada uno, que pueden llevar, o no, un cero a la izquierda o una letra.

Por último, el tercer número únicamente se encontrará en las herramientas diseñadas para el proceso de torneado. Este número especifica el radio de punta.

Se expondrá ahora un ejemplo práctico:

SNMG 12 04 16-PR

- S: Geometría cuadrada de 90º de ángulo de corte.
- N: Ángulo de incidencia de 0º.
- M: Clase de tolerancia M, de valor +/-0.08mm sobre el círculo inscrito y de +/-0.13 mm en el espesor de la plaquita.
- G: Plaquita de doble cara, con agujero cilíndrico y geometría de corte con rompevirutas.
- 12: Implica 12 mm de longitud de arista.
- 04: Representa el espesor aproximado de la plaquita en mm. En este caso el espesor será de 4,76 mm.
- 16: Representa el radio de punta. En este caso sería de 1,6 mm.
- PM: estos caracteres finales son opcionales para el suministrador. Con ello se describe el tipo de geometría de corte. Para este caso se trata de una geometría de corte desarrollada especialmente para mecanizado de tipo medio en el grupo P de los aceros comunes.

14.1.1.3 SELECCIÓN DE PLAQUITAS PARA EL PROCESO DE MECANIZADO

	Código identificación ISO	Angulo de incidencia principal (°)	Radio de punta	Recubrimiento	Representación
1101	CNMG 16 06 24-PR 4325	0	2,381	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1102	CNMG 16 06 24-PR 4325	0	2,381	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1103	CNMG 09 03 08-PM 4325	0	0,794	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1104	CNMG 16 06 24-PR 4325	0	2,381	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1201	CP-B1108-M5W 4325	6	0,794	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1202	CP-B1108-M5W 4325	6	0,794	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1203	CNMG 16 06 24-PR 4325	0	2,381	CNMG 16 06 24-PR 4325	
1204	CNMG 16 06 24-PR 4325	0	2,381	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1205	TR-DC1312-M 4325	7	1,191	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1206	TR-DC1312-M 4325	7	1,191	CVD TICN+AL2O3+TIN	
1207	880-01 02 W04H-P-GR 4324	(-) Plaquita periférica	0,4	CVD TICN + AL2O3	
	880-01 02 03H-C-GR 1044	(-) Plaquita central	0,3	PVD TIALN	

14.1.2 PORTAHERRAMIENTAS

El portaherramientas constituye el soporte de la plaquita que materializará el arranque de viruta. Tiene especial importancia en el proceso de mecanizado puesto que influye notoriamente en aspectos tales como la estabilidad, la precisión o la seguridad en el asiento.

Por otro lado, la elección de un buen portaherramientas puede afectar también a tareas como la inyección del fluido de corte. Innovaciones actuales incorporan una cavidad interior para su expulsión; de esta manera se controla mejor la viruta, y se incrementan los datos de corte en materiales de viruta larga.

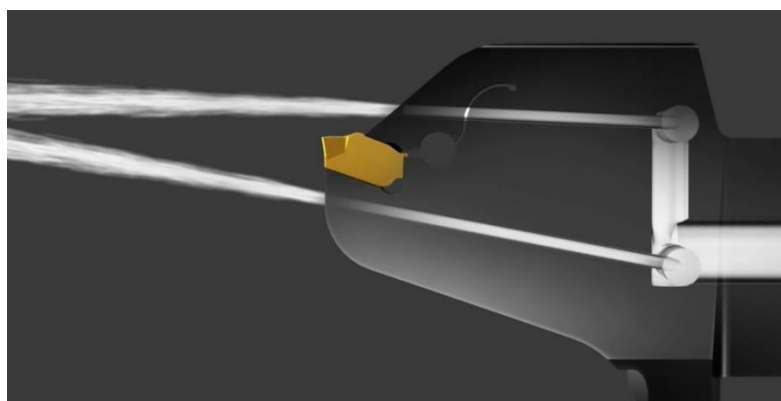


ILUSTRACIÓN 27- INYECCIÓN DE FLUIDO A TRAVÉS DEL PORTAHERRAMIENTAS
(COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

Incluso existen también mecanismos que influyen directamente sobre estos portaherramientas para eliminar las vibraciones y maximizar el avance. Las llamadas silent tools son portaherramientas que alojan en su interior un cuerpo interior suspendido sobre dos guías de goma, rodeado de aceite especial. En la Ilustración 28 se representa una de ellas. A través de este diseño se facilita la estabilidad durante el proceso, mejorándose directamente la precisión, y minimizándose los tiempos de producción. Son utilizadas sobre todo en procesos de torneado interior.



ILUSTRACIÓN 28- FUNCIONAMIENTO DE UN ADAPTADOR DE UNA SILENT TOOL (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

En general es importante que el portaherramientas elegido cumpla con una serie de características:

- Rigidez suficiente para ser capaz de mecanizar el material ofreciendo estabilidad y repetibilidad. Esta circunstancia se encuentra estrechamente ligada con el voladizo de la herramienta.
- Especialmente en herramientas rotativas, es necesario que sea capaz de ubicar con precisión la punta de la plaquita.
- Importante también la accesibilidad y la intercambiabilidad. De este modo se reducen los tiempos durante los cambios de herramientas.

14.1.2.1 TIPOS DE SUJECIÓN DE LAS PLAQUITAS

El tipo de sujeción que mantiene ligada la plaquita al portaherramientas, depende en gran parte del ángulo de incidencia. Según si la plaquita es considerada con forma básica negativa o positiva, será más conveniente el uso de un método u otro.

- **Sujeción de plaquetas de forma básica negativa:**

- **Sistema de sujeción rígido** (Ilustración 29): Se trata de un sistema de sujeción por cara superior y por agujero. Este sistema se utiliza sobre todo para torneado exterior desde acabado a desbaste, aunque es también utilizado para mecanizados interiores si la evacuación de viruta es buena. Como ventajas nos encontramos con la seguridad de la sujeción, la facilidad de intercambio y la buena repetibilidad.

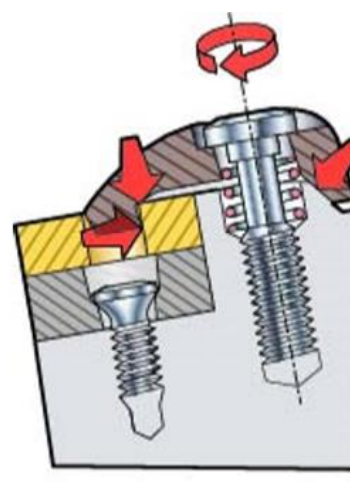


ILUSTRACIÓN 29- SUJECIÓN RÍGIDA
(COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

- **Sistema de sujeción por palanca** (Ilustración 30): Es un sistema de sujeción por agujero y es la primera elección en torneados interiores siempre que se quiera facilitar la salida de la viruta. En torneados

exteriores, se encuentran como alternativa al sistema de sujeción rígido.

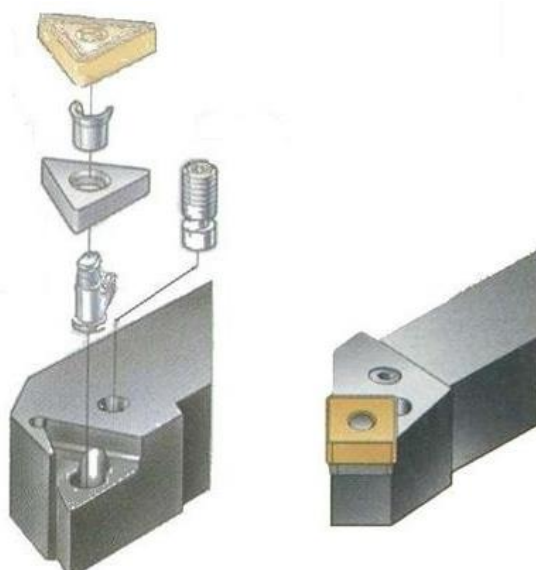


ILUSTRACIÓN 30- SUJECCIÓN POR PALANCA (SLIDEPLAYER, 2019)

Como ventajas encontramos la buena salida de la viruta, y el fácil intercambio.

– **Sujeción de plaquitas de forma básica positiva:**

- **Sistema de sujeción por tornillo** (Ilustración 31): Se trata de un sistema de sujeción para plaquitas de una sola cara, y se suele utilizar como primera opción para perfilados interiores y exteriores. El acoplamiento entre el portaherramientas y la plaquita ofrece buena estabilidad, por lo que se presta adecuado para operaciones exigentes de perfilado. Como ventajas encontramos la gran seguridad que ofrece la unión, la facilidad de evacuación de viruta, y una buena repetibilidad.

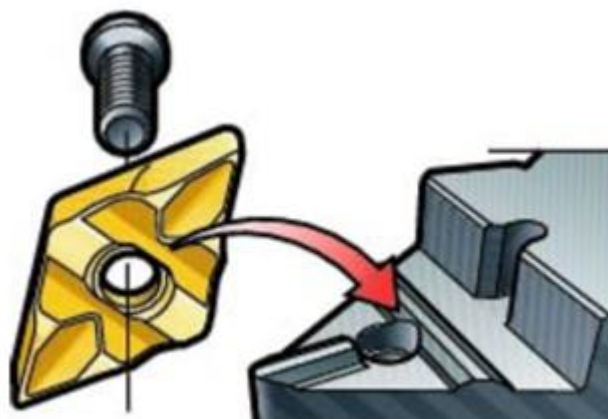


ILUSTRACIÓN 31- SUJECCIÓN POR TORNILLO (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

- **Sistema de sujeción a través de brida-cuña** (Ilustración 32): Es utilizada tanto en operaciones de torneado exterior como de interior. Una brida se coloca encima del inserto actuando como protección y evitando su desgaste.

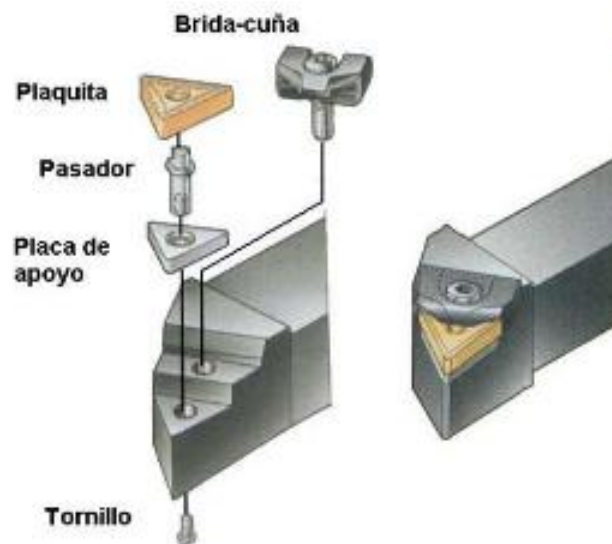


ILUSTRACIÓN 32- SUJEIÓN A TRAVÉS DE BRIDA-CUÑA (SLIDEPLAYER, 2019)

14.1.2.2 NOMENCLATURA

Al igual que ocurre en el caso de las plaquitas, también la oferta de portaherramientas es muy extensa; se ofertan de diferentes geometrías, con sistemas concretos de unión a la plaquita, etc. De este modo, también en este caso existe una norma que les da nombre, con la diferencia que en este caso se harán diferencias entre portaherramientas de exterior y de interior.

Exponiendo un ejemplo:




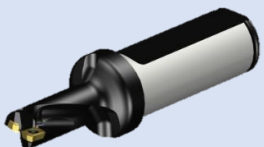
PCLNL3225P12

Este código quiere decir lo siguiente:

- P: Indica la forma de amarrar la plaquita, en este caso a través de una palanca. P palanca, C brida, S tornillo, M brida-tornillo.
- CL: indica la forma de la plaquita y su ángulo de posición. En este caso C indica 80 grados entre las caras del inserto. La L indica en este caso que el portaplaquitas posee un ángulo de posición igual a 95°.
- N: hace referencia a si la plaquita es positiva o negativa (N).
- L: Indica el sentido del avance de la herramienta. L izquierda, R derecha.
- 32-25: Son las dimensiones del mango. Largo x ancho.
- P12: indica la longitud del portaplaquitas. Hay que consultar un código para conocer su longitud real. En este caso, para P12, 170 mm.

14.1.2.3 SELECCIÓN DE PORTAHERRAMIENTAS PARA EL PROCESO DE MECANIZADO

	Codigo identificación ISO	Tipo sujeción	Voladizo máximo (mm)	KPAR °	PSIR °	Representación
1101	C4-DCLNR-27055-16	Superior o fija	55	95	-5	
1102	C4-DCLNR-27055-16	Superior o fija	55	95	-5	
1103	DCLNR 1616H 09	Superior o fija	24,8	95	-5	
1104	C4-DCLNR-27055-16	Superior o fija	55	95	-5	
1201	CP-25BR-2020-11	Superior o fija	40	25	65	
1202	CP-25BR-2020-11	Superior o fija	40	25	65	
1203	C4-DCLNR-27055-16.	Superior o fija	55	95	-5	

1204	C4-DCLNR-27055-16	Superior o fija	55	95	-5	
1205	TR-SL-D13XCR-25	Tornillo	20	62,5	27,5	
1206	TR-SL-D13XCR-25	Tornillo	20	62,5	27,5	
1207	880-D1200L20-02	Tornillo	No definido	79	No definido	

14.2 ANEXO 2. POSIBLES PROBLEMAS A CONTROLAR EN EL MECANIZADO

Todo aquel evento o situación que pueda tener efecto sobre el proyecto es considerado un riesgo. En general, se repiten el 80% de los riesgos en todos los proyectos, por lo que controlar estos aspectos será clave para lograr una buena ejecución. Tales efectos pueden reducirse o evitarse adoptando en prácticamente todos un adecuado control y seguimiento de las actividades.

En este apartado se exponen posibles problemas que pueden darse durante el proceso de mecanizado y que pueden influir en términos económicos o en la calidad final de la pieza.

14.2.1 DESGASTE EN LAS HERRAMIENTAS:

El desgaste progresivo es un suceso inevitable. La selección de una herramienta de corte óptima ayuda a retrasar su aparición y ralentizar el desgaste en la medida de lo posible. De esta manera comienza el fin de vida de la herramienta.

El desgaste de la herramienta se da por combinación de rozamiento, alta temperatura y afinidad química entre el material de la herramienta y el material de la pieza. Para tratar de minimizar esta circunstancia se dispone de diferentes recubrimientos que aumentan la vida de las plaquitas.

A continuación, se enumerarán los tipos de desgaste que pueden ocurrir, junto con sus causas y se comentarán algunas recomendaciones para llegar a evitar o reducirlos.

Tipo de desgaste	Descripción	Causa
De flanco	Se da en la superficie de incidencia. Produce acabados superficiales deficientes y tolerancias inexactas	Altas velocidades de corte o poca resistencia al desgaste.
De cráter	Se da en la superficie de desprendimiento, favorecido por la afinidad química entre la pieza y la herramienta. También existe riesgo de rotura de filo.	Fenómeno de difusión a altas temperaturas en la cara de desprendimiento.
De entalla	Se da en el filo principal. Como consecuencia, se mecaniza un acabado deficiente; además eleva el riesgo de que el filo rompa.	Oxidación del material de la herramienta, fricción.

Para intentar minimizar estos efectos, puede resultar adecuado tomar medidas como:

- Reducir la velocidad de corte para disminuir la temperatura. Después, reducir el avance. Lógicamente de este modo aumentará el tiempo de mecanizado, lo que se traduce a un mayor coste. Habrá que llegar a un compromiso entre este tiempo y la vida de la herramienta.
- En los casos en los que exista riesgo de rotura del filo, es adecuado elegir una plaquita positiva, que sea más robusta y aguante mejor estos desgastes.
- Utilización de una calidad de herramienta que soporte mejor estos desgastes. Así mismo, se recomienda el uso de recubrimientos a base de óxido de aluminio Al_2O_3 . (Sandvik coromant).

Además de estos tres tipos de desgaste existen más formas de deterioro:

Tipo de desgaste	Descripción	Solución
Filo recrecido	Se trata de la unión del material mecanizado en la punta de la herramienta como resultado de un proceso de adhesión. Se da con materiales dúctiles (aluminio o aceros de bajo contenido en C) y bajas velocidades de corte. Suele darse en geometrías de corte negativas. Provoca acabados deficientes y roturas de filo.	<ul style="list-style-type: none"> – Selección de geometría positiva. – Aumentar la velocidad de corte.
Deformación plástica	Se trata de la aparición de una depresión en el filo o una impresión en el flanco de la herramienta. Provoca descontrol de la viruta y acabados deficientes, así como riesgo de rotura directa de la plaquita. Se da en condiciones de altas temperaturas y presiones.	<ul style="list-style-type: none"> – Selección de calidad más dura. – Depresión de filo: Reducir el avance. – Impresión de flanco: Reducir la velocidad.
Fisuras térmicas	Se trata de pequeñas grietas que surgen en dirección perpendicular al filo principal y que terminan astillándolo, provocando malos acabados e inexactitud. Se da en situaciones de intermitencia o desigual suministro del fluido de corte.	<ul style="list-style-type: none"> – Selección de una calidad más tenaz, resistente a la propagación de grietas. – Aplicación de abundante refrigerante, o directamente no aplicarlo.

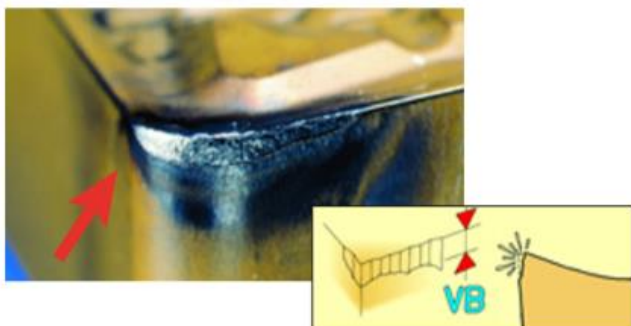


ILUSTRACIÓN 33- DESGASTE DE FLANCO (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

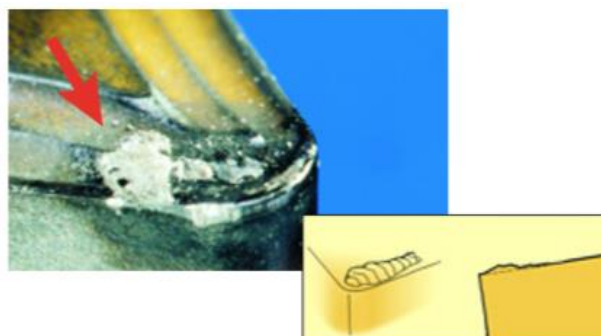


ILUSTRACIÓN 34- FILO RECRECIDO (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)



ILUSTRACIÓN 35- DESGASTE DE CRÁTER (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

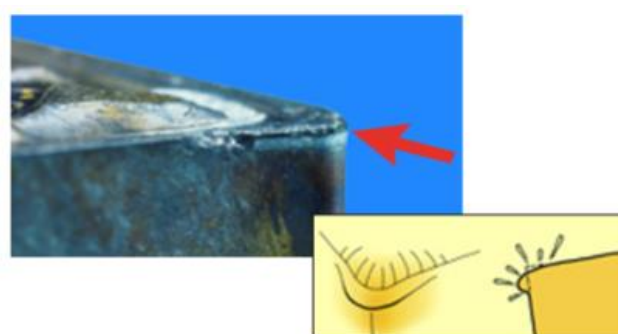


ILUSTRACIÓN 36- DEFORMACIÓN PLÁSTICA (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

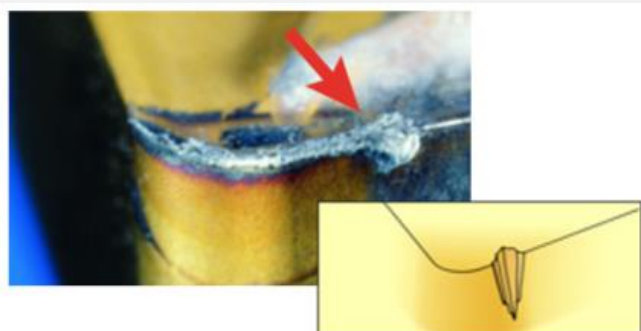


ILUSTRACIÓN 37- DESGASTE DE ENTALLA (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

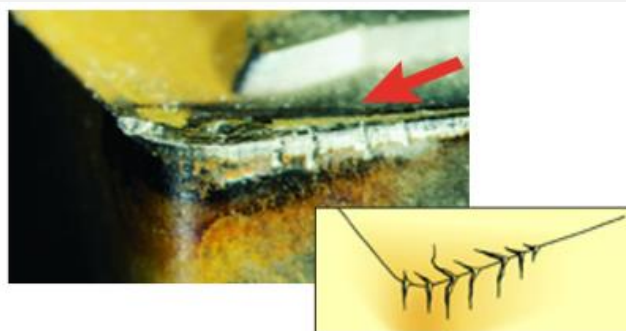


ILUSTRACIÓN 38- FISURAS TÉRMICAS (COROMANT, INTEREMPRESAS, 2017)

14.2.2 VIBRACIONES

Se suele dar sobre todo en mecanizados interiores. Se trata de un fenómeno nada deseable; provocan una alta fuerza de corte radial, que puede desembocar en imprecisiones y disminuir el tiempo de vida de la herramienta. Las vibraciones suelen estar causadas por muchos motivos, de los que destacan, en el entorno del mecanizado:

- Ángulo de posición inadecuado.
- Radio de punta demasiado grande.
- Excesivo desgaste de flanco.

Como ya se ha comentado antes, existen tecnologías para el aislamiento vibratorio. A pesar de esto, es adecuado tomar otro tipo de medidas para prevenir también su generación. Será adecuado adoptar ángulos de posición lo más grandes posible ($K_r = 90^\circ$), elegir radios de punta pequeños, elegir recubrimientos finos (o directamente no elegir recubrimientos) o reducir las velocidades.

14.2.3 CONTROL DE VIRUTA

No llevar un control adecuado de la viruta puede provocar un mecanizado menos eficiente. La viruta puede llegar a enredarse, produciendo arañazos en las superficies y atascando agujeros.

Los problemas que pueden darse son diferentes en función del tipo de viruta que se esté produciendo:

- Viruta larga: largas marañas se enrollan en la herramienta y la pieza.

Causas	Soluciones
Avance demasiado bajo para una geometría concreta	Incrementar el avance. Seleccionar una geometría de plaquita más adecuada para romper la viruta.
Radio de punta demasiado grande	Elegir un radio de punta más pequeño.
Ángulo de posición inadecuado	Escoger el ángulo de posición más grande posible ($K_r=90^\circ$)

- Viruta corta: debido a una rotura excesiva, esta viruta suele apilotonarse. Reduce la vida de la herramienta, o incluso rompe la propia herramienta, debido a la excesiva carga que le transmite.

Causas	Soluciones
Avance demasiado alto para una geometría concreta	Reducir el avance. Seleccionar una geometría diseñada para alto avance, preferiblemente una plaquita con una sola cara.
Radio de punta demasiado pequeño	Seleccionar un radio de punta mayor.
Ángulo de posición inadecuado	Seleccionar un mango con el ángulo de posición lo más pequeño posible ($K_r=75^\circ-45^\circ$)

14.3 ANEXO 3. CATÁLOGO DE TORNOS

SERIE	ELECCIÓN DEL TORNO	FIRMA	Cabezal			Torreta			Peso (kg)	
			Velocidad máxima (rev/min)	Potencia (W)	Par de giro (Nm)	Velocidad de giro (rev/min)	Potencia (W)	Par (Nm)		Nº de herramientas accionadas
	QUICK TURN 100 SG	Yamazaki mazak	-	-	-	570-6000	15000	184	12	-
	QT-COMPACT 100M	Yamazaki mazak	-	-	-	6000	15/11		12	-
	TA 15	CMZ	4500	14/8	292/153	12000	11,3/8,1	75	12	5400
	TA 20	CMZ	4000	22/15	366/286	12001	11,3/8,2	75	12	5600
	TA 25	CMZ	4000	35/19	900/363	12002	11,3/8,3	75	12	5600
	TA 30	CMZ	3500	42/27	1020/720	12003	11,3/8,4	75	12	5800
	TX66 Y2	CMZ	4000 5000	18,5/15 11/7,5	165/135 100/67	6000	18	52	12	9600
	TD 15	CMZ	4500	14/8	292/153	1200	11,3/8,1	75	16	7600
	TD20	CMZ	4000	22/15	366/286	1200	11,3/8,1	75	16	7800
	403	DMG	2400	30	2626	3000			12	15000
	CTX ALPHA 500	DMG	6000	13	172	5000	3	13	12	5000
	CTX BETA 500	DMG	6000	35	600	6000	10	28	12	5000

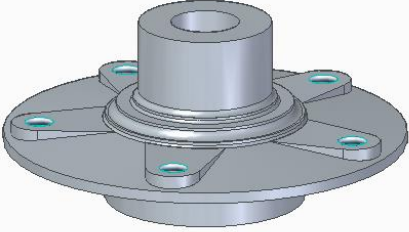
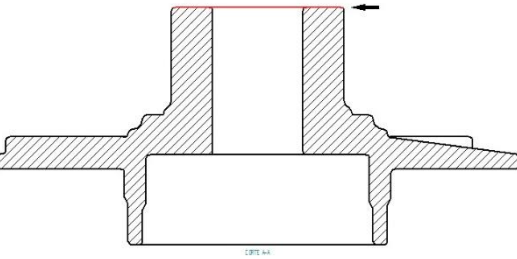
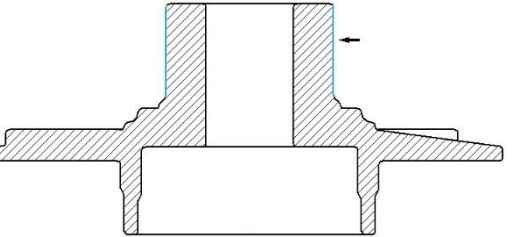
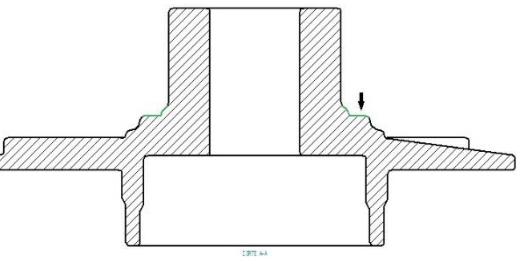
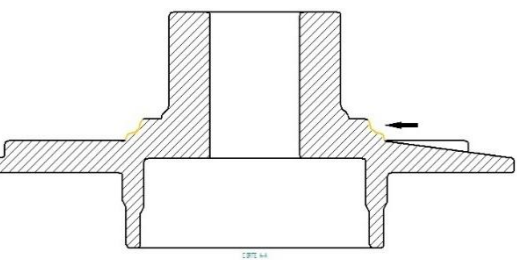
14.4 ANEXO 4. HOJA DE PROCESOS

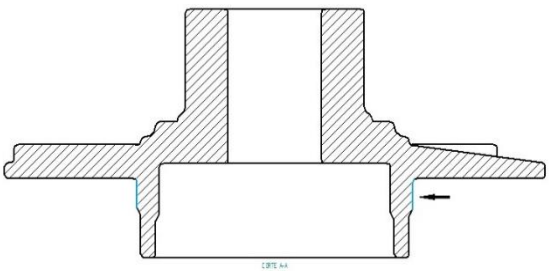
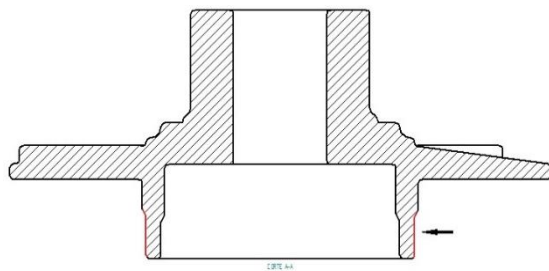
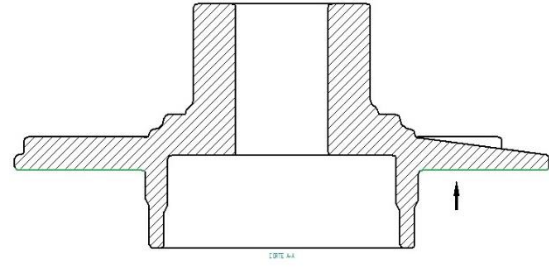
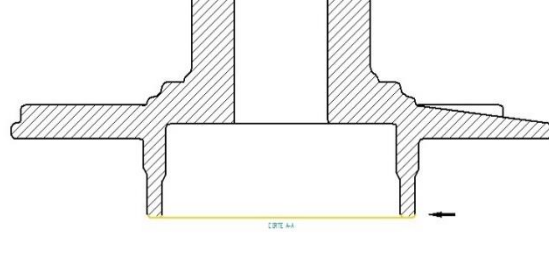
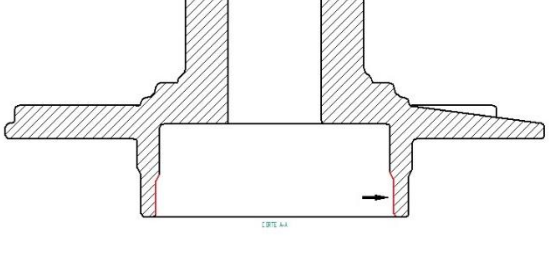

HOJA DE PROCESO

Conjunto: Rueda

Pieza: Cubo de rueda

Material: 38MnSiV6

Nº de Fase Subfase Operac.	Descripción de: Fase (1000,2000...) Subfase (1100,1200...) Operación (1101,1102...)	Utillajes Herramientas Apar. de control	Condiciones de corte				Tiempo (s)	CROQUIS Croquis de la pieza en los diferentes estados del proceso. En cada croquis indicar: dimensiones iniciales, apoyos, amarres, herramientas
			Vc m/min	N rpm	f mm/r	a _p mm		
	Medir la pieza antes de montarla en el plato de garras.	Calibre						
1000	Centro de torneado CTX Alpha-500							
1100	Plato garras al aire							
	Sujetar la parte cilíndrica de Ø76mm (inferior) de la pieza en el plato de garras	Plato de garras						
1101	Refrentado de tubo. Desde Ø52 hasta Ø26.	Portaplaquitas: C4-DCLNR-27055-16. Sistema de sujeción rígido Plaquita: CNMG 16 06 24-PR 4325	169	2570-1285	0,484	2	1,43	
1102	Cilindrado. Desde Ø52 hasta Ø48 durante una longitud de 26mm.	Portaplaquitas: CP-25BR-2020-11. Sistema de sujeción rígido. Plaquita: CP-B1108-M5W 4325	230	1530	0,4	2	2,96	
1103	Cilindrado con escuadra. Refrentado desde Ø68 hasta Ø52 y cilindrado durante 3mm.	Portaplaquitas: DCLNR 1616H 09. Sistema de sujeción rígido. Plaquita: CNMG 09 03 08-PM 4325	202	1150	0,279	2	1,3	
1104	Contorneado de relieve	Portaplaquitas: C4-DCLNR-27055-16. Sistema de sujeción rígido. Plaquita: CNMG 16 06 24-PR 4325	166 166	828 757 748	0,5 0,5	3 3,2	1,93	

Nº de Fase Subfase Operac.	Descripción de: Fase (1000,2000...) Subfase (1100,1200...) Operación (1101,1102...)	Utillajes Herramientas Apar. de control	Condiciones de corte				Tiempo (s)	CROQUIS Croquis de la pieza en los diferentes estados del proceso. En cada croquis indicar: dimensiones iniciales, apoyos, amarres, herramientas
			Vc m/min	N rpm	f mm/r	a _p mm		
1200	Plato de garras al aire							
	Sujetar la parte cilíndrica de Ø52mm (superior) de la pieza en el plato de garras	Plato de garras						
1201	Cilindrado. Desde Ø76 hasta Ø72 durante una longitud de 12mm.	Portaplaquitas: CP-25BR-2020-11. Sistema de sujeción fijo. Plaquita: CP-B1108-M5W 4325	212	936	0,559	2	1,73	
1202	Cilindrado. Desde Ø 78 hasta Ø 74 mm en una longitud de 9mm.	Portaplaquitas: CP-25BR-2020-11. Sistema de sujeción fijo. Plaquita: CP-B1108-M5W 4325	212	911	0,559	2	1,06	
1203	Refrentado de tubo. Desde Ø 145 hasta Ø 74.	Portaplaquitas: C4-DCLNR-27055-16. Sistema de sujeción fijo. Plaquita: CNMG 16 06 24-PR 4325	290	1250-637	0,484	2	5,47	
1204	Refrentado de tubo. Desde Ø76 hasta Ø64.	Portaplaquitas: C4-DCLNR-27055-16. Sistema de sujeción fijo. Plaquita: CNMG 16 06 24-PR 4325	169	842-709	0,484	2	0,66	
1205	Cilindrado interior. Desde Ø64 hasta Ø60 durante una longitud de 12mm.	Portaplaquitas: TR-SL-D13XCR-25. Sistema de sujeción por tornillo. Plaquita: TR-DC1312-M 4325 Adaptador: C4-570-2C 25 064	198	1020	0,338	1	5,21	

14.5 ANEXO 5. ACOTACIÓN DEL BUJE

