



**Universidad
Europea**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID
ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS
INDUSTRIALES MENCIÓN EN MECÁNICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO
ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO Y ANÁLISIS
COMPARATIVO ENTRE PROCESOS DE
FABRICACIÓN DE UNA PIEZA METÁLICA**

Alumno: D. PEDRO GUILLERMO CARBONELL NUÑEZ

Director: D. IVÁN IGLESIAS SÁNCHEZ

JULIO 2023

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

TÍTULO: ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO Y ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PROCESOS DE FABRICACIÓN DE UNA PIEZA METÁLICA

AUTOR: PEDRO GUILLERMO CARBONELL NÚÑEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO: IVÁN IGLESIAS SÁNCHEZ

FECHA: 17 de JULIO de 2023

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

RESUMEN

El presente trabajo fin de grado tiene como objetivo la optimización de la producción de una pieza metálica mediante la aplicación de un procedimiento metodológico basado en el estudio técnico y económico de la geometría de una pieza para el cambio de su proceso de fabricación actual.

Este TFG surge de la necesidad de innovar las producciones industriales llevadas a cabo mediante procesos de fabricación tradicionales y de reducir el impacto ambiental que estos conllevan, consiguiendo un ahorro considerable en la producción al reducir el gasto en materia prima y disminuyendo los tiempos de fabricación.

Para realizar el cambio en el proceso de fabricación actual de la pieza estudiada el primer aspecto ha consistido en el estudio teórico tanto del proceso de fabricación actual por mecanizado, como el del nuevo proceso por sinterizado con el que se llevará a cabo las futuras producciones; a continuación se ha creado un procedimiento metodológico basado en el estudio técnico de la geometría y plano de la pieza para la elección del proceso de fabricación más óptimo, con el fin de llevar a cabo la producción y en el estudio económico de los costes de la producción mediante ambos procesos. De esta manera se ha podido estudiar y evidenciar la viabilidad en el cambio de proceso de fabricación que se ha llevado a cabo. Una vez definido el procedimiento metodológico se ha ejecutado el uso del mismo en la pieza estudiada, evidenciando la viabilidad del cambio en el proceso de fabricación. Una vez obtenidos los resultados respecto al estudio técnico económico del proceso actual y futuro de fabricación, se ha realizado una comparativa resaltando las mejoras económicas y ambientales del cambio efectuado respecto al proceso de producción.

Se ha podido demostrar que debido al cambio en el proceso de fabricación se ha reducido en 4.248 [kg] la materia prima desperdiciada, el cliente ha reducido el precio por pieza en 0,153 [USD] y las horas de producción han disminuido en 1.607 [horas]; todo ello en una primera producción.

Gracias a esta optimización se puede decir que este TFG cumple con tres de los Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) marcados por las Naciones Unidas, el ODS numero 9, relacionado con la innovación de una producción industrial, el 11, haciendo referencia a la creación de procesos sostenibles y el 12, el cual promueve una producción y consumo sostenible; todo ello se ve reflejado en el trabajo con la reducción en el gasto de materia prima y del tiempo de producción a través de una producción responsable.

Palabras clave: Proceso de fabricación, mecanizado, sinterizado, estudio técnico económico, comparativa, impacto ambiental

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

ABSTRACT

The aim of this final degree project is to optimise the production of a metal part by applying a methodological procedure based on the technical and economic study of the geometry of a part in order to change its current manufacturing process.

This TFG arises from the need to innovate the industrial productions carried out by means of traditional manufacturing processes and to reduce the environmental impact that these entail, achieving considerable savings in production by reducing raw material expenditure and reducing manufacturing times.

In order to change the current manufacturing process of the part under study, the first aspect consisted of a theoretical study of both the current machining manufacturing process and the new sintering process to be used for future production; a methodological procedure was then created based on the technical study of the geometry and plan of the part to choose the most optimal manufacturing process for production and the economic study of the costs of production using both processes. In this way, it has been possible to study and demonstrate the viability of the change in the manufacturing process that has been carried out. Once the methodological procedure had been defined, it was used on the part studied, demonstrating the viability of the change in the manufacturing process. Once the results of the technical-economic study of the current and future manufacturing process were obtained, a comparative study was carried out, highlighting the economic and environmental improvements of the change made with respect to the production process.

It has been possible to demonstrate that due to the change in the manufacturing process, the raw material wasted has been reduced by 4,248 [kg], the customer has reduced the price per piece by 0.153 [USD] and the production hours have been reduced by 1,607 [hours]; all of this in a first production run.

Thanks to this optimisation, it can be said that this TFG complies with three of the Sustainable Development Goals (SDG) set by the United Nations, SDG 9, related to innovation in industrial production, SDG 11, referring to the creation of sustainable processes and SDG 12, which promotes sustainable production and consumption; all of this is reflected in the work with the reduction in the use of raw materials and production time through responsible production.

Keywords: Manufacturing process, machining, sintering, technical economic study, comparative, environmental impact.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dedicar este trabajo a mi familia por haberme brindado la oportunidad de poder optar a una educación tan completa, por haberme apoyado en todo momento y nunca haber dejado de creer en mí.

A mis amigos, por su apoyo tanto académico como personal en todo este largo camino.

En segundo lugar, agradecer tanto a la empresa EXLABESA por haberme introducido en el mundo de la Ingeniería y haberme dado la formación necesaria para poder volar en este mundo tan bonito. También agradecer especialmente a JG AUTOMOTIVE, por estar brindándome la oportunidad de seguir creciendo en el mundo de la Ingeniería, por darme la responsabilidad necesaria para entender la importancia de lo que significa ser un buen Ingeniero y por prestarme todo el material necesario para llevar a cabo este proyecto.

Por último, me gustaría agradecer a mi tutor Iván Iglesias Sánchez por su completa disposición a la hora de ayudarme y guiarme en este trabajo Final de Grado y a la Universidad Europea por estos años de educación y enseñanzas.

Este trabajo va por todos vosotros, ha sido un largo camino, pero por fin logramos el objetivo. Muchas gracias por vuestro apoyo incondicional.

ÍNDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.2 ESTADO DEL ARTE	19
1.3 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN	21
1.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO	22
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	24
2.1 INTRODUCCIÓN	24
2.1.1 Marco del trabajo	24
2.1.2 Alcance del proyecto	24
2.1.3 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible	25
2.2 ESTADO DEL ARTE	28
2.2.1 Introducción.....	28
2.2.2 Mecanizado	30
2.2.2.1 Introducción histórica	30
2.2.2.2 Introducción	32
2.2.2.3 Tipos de procesos de mecanizado	33
2.2.2.4 Etapas del proceso de mecanizado.....	37
2.2.2.5 Variables en el proceso de mecanizado	38
2.2.2.6 Materiales	40
2.2.2.7 Herramientas de corte.....	41
2.2.2.8 Tolerancias y geometrías alcanzables.....	45
2.2.2.9 Normativas aplicables	51
2.2.3 Pulvimetalurgia	52
2.2.3.1 Introducción histórica	52
2.2.3.2 Introducción	53
2.2.3.3 Fases de la pulvimetalurgia	54
2.2.3.4 Aplicaciones	59
2.2.3.5 Ventajas y desventajas	60
2.2.4 Sinterizado	61

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

2.2.4.1	Introducción	61
2.2.4.2	Tipos de sinterizado	64
2.2.4.3	Diferentes procesos de sinterizado	71
2.2.4.4	Variables principales del proceso	72
2.2.4.5	Limitaciones de diseño	74
2.2.4.6	Precisión dimensional.	76
2.2.4.7	Materiales sinterizados.....	79
2.2.4.8	Piezas.....	80
Capítulo 3.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	83
3.1	DEFINICIÓN DE REQUISITOS.....	83
3.2	ESTUDIO TÉCNICO	87
3.2.1	Análisis del plano de la pieza	87
3.2.1.1	Análisis geométrico y dimensional	88
3.2.1.2	Acabado superficial.....	95
3.2.1.3	Estudio del material y posibles equivalencias	99
3.2.2	Determinación de los procesos de fabricación	101
3.3	ESTUDIO ECONÓMICO	106
3.3.1	Estudio de mercado	106
3.3.1.1	Necesidades del cliente	107
3.3.1.2	Estudio de la competencia.....	107
3.3.1.3	Dafo o Swot	108
3.3.2	Costes consultoría técnica.....	109
3.3.3	Precio materia prima	112
3.3.4	Precio proceso de fabricación	112
3.3.4.1	Costes de mano de obra	113
3.3.4.2	Costes de maquinaria y equipos	113
3.3.4.3	Costes de energía	113
3.3.5	Valor añadido de un proyecto	114
3.3.6	Coste de transporte	114
3.3.7	Diagrama explicativo del coste total del proyecto	115
3.4	DOCUMENTOS PARA HOMOLOGACIÓN INDUSTRIAL	118
3.4.1	Certificado de material	118
3.4.2	Informe dimensional.....	119
3.4.3	Plan de control.....	123
Capítulo 4.	APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	125

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

4.1	INTRODUCCIÓN	125
4.1.1	Declaración del problema	125
4.1.2	Estructura del procedimiento metodológico a seguir	126
4.2	PETICIÓN DE PRESUPUESTO O RFQ	127
4.2.1	Estudio del proceso de fabricación actual y del plano de la pieza	127
4.2.2	Proceso de mecanizado	130
4.2.2.1	Elección del bruto de partida	130
4.2.2.2	Tipo de material herramienta de corte	131
4.2.2.3	Procesos de mecanizado a llevar a cabo	132
4.2.3	Cálculo del tiempo de fabricación	143
4.2.4	Cálculo del gasto en energía	147
4.2.5	Cálculo del gasto en materia prima	150
4.2.6	Cálculo del coste total estimado	152
4.3	ESTUDIO TÉCNICO DE LA PIEZA	158
4.3.1	Estudio de los posibles procesos de fabricación	159
4.3.1.1	Mecanizado	159
4.3.1.2	Forja en frío	160
4.3.1.3	Forja en caliente	161
4.3.1.4	Fundición a la cera perdida (microfusión)	161
4.3.1.5	Impresión 3D	163
4.3.1.6	Estampación	163
4.3.1.7	Sinterizado	164
4.3.2	Decisión del proceso de fabricación óptimo	165
4.4	ESTUDIO ECONÓMICO DE LA PIEZA	166
4.4.1	Estudio de mercado	166
4.4.2	Coste materia prima	167
4.4.3	Costes asociados al proceso de fabricación	169
4.4.4	Cálculo del gasto en energía	171
4.4.5	Costes asociados al transporte	173
4.4.6	Costes totales	174
Capítulo 5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	175
5.1	RESULTADOS	175
5.2	DISCUSIÓN	177
Capítulo 6.	CONCLUSIONES	187
Capítulo 7.	LINEAS FUTURAS	189

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

ANEXOS	190
PRESUPUESTO	213
BIBLIOGRAFÍA	214

LISTA DE ACRÓNIMOS

AGNU: Asamblea General de las Naciones Unidas

AISI: del inglés American Iron and Steel Institute

CAD: del inglés Computer Aided Design

CAM: del inglés Computer-Aided Manufacturing

CBN: Nitruro de boro cubico

CN: Control Numérico

CNC: del inglés Computer Numerical Control

CND: Control numérico directo

DNC: del inglés Direct Numerical Control´

IGES: del inglés Initial Graphics Exchange Specification

INCOTERMS: del inglés International Commercial Terms

LPS: del inglés Liquid phase sintering

MIT: del inglés Massachusetts Institute of Technology

MOQ: del inglés Minimum Order Quantity

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU: Organización de Naciones Unidas

PM: Pulvimetalurgia

RFQ: del inglés Request For Quotation

STEP: del inglés Standard for the Exchange of Product

TFG: Trabajo Fin de Grado

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Revoluciones en la industria a lo largo del tiempo (Fuente: AODpaisajes).....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2. Fabricación enfocada al contexto tecnológico (Fuente: Fundamentals of Modern Manufacturing / Mikel P.Groover 2010)</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3. Fabricación enfocada al contexto económico (Fuente: Fundamentals of Modern Manufacturing / Mikel P.Groover 2010)</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente: UNESCO).....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5. ODS nº9 Industria, innovación e infraestructura (Fuente: UNESCO)</i>	<i>26</i>
<i>Figura 6. ODS nº11 Ciudades y comunidades sostenibles (Fuente: UNESCO).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7. ODS nº12 Producción y consumo responsables (Fuente: UNESCO).....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8. Procesos de conformado de metales (Fuente: Manufacturing Processes book)</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9. Torno de pértiga (Fuente: Les Forgaxes).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 10. Centro de Mecanizado 5 ejes (Fuente: GROB)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 11. Clasificación de los tipos de procesos de mecanizado (Fuente: El-Hofy, 2005).....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 12. Proceso de torneado (Fuente: Ingemecanica.com)</i>	<i>34</i>
<i>Figura 13. Tipos básicos de fresas y operaciones (a) Fresado periférico (b) Fresado frontal (c) Fresado de extremos (Fuente: Serope Kalpakjian, 2013)</i>	<i>35</i>
<i>Figura 14. Tipos de fresadoras. Primera figura fresadora vertical // Segunda figura fresadora horizontal (Fuente: Serope Kalpakjian, 2013)</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15. Proceso de taladrado (Fuente: ptolomeo.unam).....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 16. Tipos de rectificación (Fuente: lim.ii.udc.es).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 17. Velocidad de corte (Fuente: Libro Tecnologías Oxford Education).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 18. Velocidad de avance (Fuente: Formacionmecanizado.com)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 19. Diferentes tipos de herramientas según el material. Acero rápido, acero duro y cerámico (Fuente: Grupo Carman)</i>	<i>43</i>
<i>Figura 20. Clasificación de materiales según norma ISO (Fuente: Sandvik Coromant)</i>	<i>44</i>
<i>Figura 21. Relación entre el material ISO y la viruta (Fuente: Sandvik Coromant)</i>	<i>44</i>
<i>Figura 22. Engranajes Sinterizados (Fuente: AMES).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 23. Etapas de la pulvimetalurgia (Fuente: Beşteş, 2020)</i>	<i>55</i>
<i>Figura 24. Métodos de atomización (Fuente: Studocu).....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 25. Métodos de mezclado. (a) tambor rotativo (b) Doble cono rotativo (c) Mezclador de tornillo (d) Mezclador de paleta o cuchillas (Fuente: Studocu).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 26. Fases de la pulvimetalurgia/sinterizado de una pieza (Fuente: Selfoil.com)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 27. Tipos de sinterizado. (a) fase líquida (b) fase sólida (Fuente: Mustafa, 2021).....</i>	<i>62</i>

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 28. Proceso de sinterización a nivel atómico (Fuente: ResearchGate)	63
Figura 29. Partículas del material Cu en diferentes etapas del proceso de sinterización (a) Antes del sinterizado (b) Después de un sinterizado a 1000°C (c) Después de un sinterizado a 1050°C (d) Después de un sinterizado a 1150°C (Fuente: Menad,2013).....	63
Figura 30. Máquina de sinterizado (Fuente: Cremer Thermoprozessanlagen GmbH)	64
Figura 31. Etapas principales de la sinterización con fase líquida (Fuente: Tahar Laoui, 2002).	65
Figura 32. Equilibrio sólido-líquido-vapor para una buena humectación/mojabilidad (Fuente: German, 1985)	66
Figura 33. Solubilidad en LPS con presencia de líquido eutéctico (Fuente: Randall M. German, 2008).	66
Figura 34. Relación entre la mojabilidad y capacidad de densificación (a) excelente mojabilidad (b) mojabilidad intermedia (c) falta de mojabilidad (Fuente: Quejido, 2014).	67
Figura 35. Cambios durante la etapa de solución-precipitación del Fe-20%Cu sinterizado a 1150 °C (Fuente: Randall M. German, 2008).	68
Figura 36. Etapas de la sinterización en estado sólido (Fuente: Mustafa, 2021).	69
Figura 37. Mecanismos que permiten la disminución de la energía (Fuente: María Dolores Salvador Moya, 2018).	70
Figura 38. Esquema de los mecanismos de transporte (Fuente: María Dolores Salvador Moya, 2018).	71
Figura 39. Taxonomía de los procesos de sinterización (Fuente: All about sintering, 2022).	72
Figura 40. Influencia de diferentes procesos a las tolerancias y propiedades físicas de las piezas sinterizadas (Fuente: Höganäs, 2015).	79
Figura 41. Diferentes piezas sinterizadas para el sector automotriz (Fuente: ames-sintering.com). ...	81
Figura 42. Piezas estructurales sinterizadas (Fuente: dicoi-pm.com).	82
Figura 43. Macroestructura de la fase de diseño de detalle (Fuente: Eliseo Gómez-Senent Martínez, 2003).	84
Figura 44. Procedimiento metodológico general 1 (Fuente. Propia).	85
Figura 45. Procedimiento metodológico general 2 (Fuente: Propia).	86
Figura 46. Ejemplo de clasificación de planos (Fuente. Universidad politécnica de Cartagena).	88
Figura 47. Fases del diseño, fabricación y comprobación de una pieza (Fuente: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2016).	89
Figura 48. Normas GPS fundamentales (Fuente: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2016).	90
Figura 49. Tipos de símbolos en las nuevas normas ISO GPS (Fuente: (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2016).	95
Figura 50. Diferencia entre la rugosidad y el defecto de forma (Fuente: Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea, 2018).	97
Figura 51. Desviación media aritmética de la rugosidad Ra (Fuente: Gutiérrez, 2019).	98

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 52. Simbología de la rugosidad (Fuente: Gutiérrez, 2019).....	98
Figura 53. Diagrama resumen del procedimiento metodológico para llevar a cabo la elección del tipo de proceso de fabricación (Fuente: Propia).....	103
Figura 54. Diagrama de flujo definiendo el procedimiento metodológico de elección del proceso de fabricación óptimo (Fuente: Propia).....	104
Figura 55. Análisis DAFO (Fuente: Growth Hacking Course).	108
Figura 56. INCOTERMS (Fuente: DHL).....	115
Figura 57. Diagrama explicativo estudio económico (Fuente: propia).	116
Figura 58. Diagrama de flujo asociado al estudio económico de la producción (Fuente: Propia).	117
Figura 59. Ejemplo certificado 3.1 (Fuente: Gonvaeri Burgos).....	119
Figura 60. Ejemplo informe dimensional (Fuente: DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2006).....	121
Figura 61. Ejemplo informe dimensional aplicado a pieza (Fuente: Inspectionxpert).	123
Figura 62. Ejemplo de plan de control (Fuente: SPC GROUP, 2013).....	124
Figura 63. Plano casquillo coliso INOX (Fuente: propia).	129
Figura 64. Material de herramienta para mecanizar casquillo INOX (Fuente: Walter).....	132
Figura 65. Proceso de refrentado (Fuente: propia mediante la calculadora Walter).	133
Figura 66. Croquis del bruto con la operación de refrentado (Fuente: propia).....	135
Figura 67. Proceso de cilindrado 1 (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	135
Figura 68. Croquis de la primera operación de cilindrado (Fuente: propia).....	137
Figura 69. Proceso de cilindrado 2 (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	137
Figura 70. Croquis de la segunda operación de cilindrado (Fuente: propia).	139
Figura 71. Proceso de fresado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	139
Figura 72. Croquis de la operación de fresado (Fuente: propia).	141
Figura 73. Proceso de tronzado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	141
Figura 74. Casquillo acabado (Fuente: propia).....	143
Figura 75. Calendario laboral en China con festivos marcados en rojo (Fuente: https://china.workingdays.org/ES/).	145
Figura 76. Cálculo del número de días laborables y festivos en un año en China (Fuente: https://china.workingdays.org/ES/).	146
Figura 77. Desglose costes transporte marítimo (Fuente: calculo propio con tarifas de C.H. Robinson).	155
Figura 78. Desglose costes transporte marítimo (Fuente: https://www.chrobinson.com/es-es/).	156
Figura 79. Espesores del casquillo (Fuente: propia).	164
Figura 80. Tolerancias dimensionales según tecnología de fabricación (Fuente: google).	165
Figura 81. Análisis DAFO (Fuente: propia).	167

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 82. Diagrama desglose del consumo de energía en la producción de piezas sinterizado (Fuente: https://www.pm-review.com/articles/pm-11-conference-report-energy-consumption-in-powder-metallurgy-production/).....	172
Figura 83. Gráfica comparativa del coste total de la producción por mecanizado vs por sinterizado para diferentes volúmenes (Fuente: propia).....	185
Figura 84. Ficha técnica herramienta para refrentar pieza (Fuente: Walter).	197
Figura 85. Ficha técnica herramienta de fresado (Fuente: Walter).....	198
Figura 86. Ficha técnica herramienta de ranurado de barra (Fuente: Walter).	200
Figura 87. Torno WT-100 Nakamura-Tome (Fuente: https://www.nakamura-tome.com/products/wt-100/).....	202
Figura 88. Coste barra en bruto AISI 303 (Fuente: https://spanish.alibaba.com/p-detail/Bright-1600873995397.html?spm=a2700.7735675.0.0.33c6e02Ue02UCw&s=p).....	203
Figura 89. Costes estimados procesos de mecanizado en China (Fuente: https://metapartss.com/C_mo_calcular_el_costo_de_piezas_de_mecanizado_/).....	205
Figura 90. Coste materia prima PM 304 (Fuente: https://gzslam.en.made-in-china.com/product/FZBEpvouEQWi/China-Best-Selling-High-Quality-Stainless-Steel-304-Powder.html).....	205
Figura 91. Coste ordenador usado para llevar el TFG acabo (Fuente: PC components).	210
Figura 92. Coste monitor HP usado en el TFG (Fuente: Hp).....	210
Figura 93. Norma ISO 2768-1 (Fuente: ISO).....	211
Figura 94. Coste licencia Solid (Fuente: Solidworks).	211
Figura 95. Coste licencia Lucid (Fuente: Lucidchart).	212
Figura 96. Coste paquete office (Fuente: Microsoft).	212

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tabla de materiales mecanizados y sus aplicaciones (Fuente: Propia)</i>	41
<i>Tabla 2. Clasificación DIN ISO 513 (Fuente: AENOR)</i>	45
<i>Tabla 3. Tolerancias para dimensiones lineales, excepto aristas matadas (Fuente: ISO 2768)</i>	46
<i>Tabla 4. Tolerancias para dimensiones lineales de aristas matadas, radios exteriores y alturas de chaflán (Fuente: ISO 2768)</i>	47
<i>Tabla 5. Tolerancias para dimensiones angulares (Fuente: ISO 2768)</i>	47
<i>Tabla 6. Valores numéricos de amplitudes de zonas de tolerancia según el diámetro y el grado de calidad (en micras) (Fuente: ISO 2768)</i>	47
<i>Tabla 7. Diferencias fundamentales para ejes de la A a la JS (en micras) (Fuente: ISO 2768)</i>	48
<i>Tabla 8. Diferencias fundamentales para ejes de la J a la ZC (en micras) (Fuente: ISO 2768)</i>	49
<i>Tabla 9. Diferencias fundamentales para Agujeros de la A a la JS (en micras) (Fuente: ISO 2768)</i> . .	50
<i>Tabla 10. Diferencias fundamentales para Agujeros de la J a la ZC (en micras) (Fuente: ISO 2768)</i> . 51	
<i>Tabla 11. Operaciones complementarias a la pulvimetalurgia (Fuente: Höganäs, 2015)</i>	59
<i>Tabla 12. Aplicaciones de la pulvimetalurgia (Fuente: Propia)</i>	60
<i>Tabla 13. Ventajas y limitaciones de los procesos pulvimetalúrgicos (Fuente: Propia)</i>	61
<i>Tabla 14. Tolerancias típicas en casquillos (Fuente: MFS SINTERING)</i>	77
<i>Tabla 15. Tolerancias dimensionales típicas, alcanzables en una pieza sinterizada (Fuente: Ames-sintering.com)</i>	78
<i>Tabla 16. Composiciones de materiales pulvimetalúrgicos - Norma DIN 30910-4:2004-05 (Fuente: AENOR)</i>	80
<i>Tabla 17. Aplicaciones de las piezas sinterizadas (Fuente: Propia)</i>	81
<i>Tabla 18. Tipos de tolerancias geométricas DIN EN ISO 1101:2017 (Fuente: OCW - Universidad de Cantabria, 2013)</i>	91
<i>Tabla 19. Tipos de tolerancias geométricas II DIN EN ISO 1101:2017 (Fuente: OCW - Universidad de Cantabria, 2013)</i>	92
<i>Tabla 20. Tolerancias generales de rectitud y planitud DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR)</i> . .	93
<i>Tabla 21. Tolerancias generales de perpendicularidad DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR)</i> . .	93
<i>Tabla 22. Tolerancias generales simetría DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR)</i>	93
<i>Tabla 23. Tolerancias generales de oscilaciones DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR)</i>	94
<i>Tabla 24. Clases de rugosidad y valores (Fuente: Gutiérrez, 2019)</i>	98
<i>Tabla 25. Rugosidades típicas dependiendo del proceso de fabricación (Fuente: formaciónmecanizado.com)</i>	99

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Tabla 26. Equivalencias para acero Q235 (Fuente: https://www.materialmundial.com/acero-q235-q235a-q235b-q235c-q235d/).	100
Tabla 27. Equivalencias materiales AISI 303 (Fuente: https://es.china-stainless-steels.com/stainless-steel-plate/aisi-303-stainless-steel-part-1.html).	101
Tabla 28. Tabla clasificatoria de las tecnologías en función de las variables a cumplir (Fuente: propia).	105
Tabla 29. Desglose del PBL (Fuente: AEC).	110
Tabla 30. Tabla asociada a los gastos de consultoría técnica en este TFG.....	111
Tabla 31. Volumen del proyecto a partir del 2023 (Fuente: propia).	129
Tabla 32. Diámetros de barra comercial acero inoxidable 303/304 (Fuente: Alsimet).....	131
Tabla 33. Tabla valores refrentado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	134
Tabla 34. Tabla valores primer cilindrado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	136
Tabla 35. Tabla valores segundo cilindrado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	138
Tabla 36. Tabla valores fresado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	140
Tabla 37. Tabla valores tronzado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).	142
Tabla 38. Cálculo del tiempo de fabricación de un casquillo (Fuente: propia).	143
Tabla 39. Desglose de costes por pieza teniendo en cuenta proceso de fabricación por mecanizado (Fuente: propia).	153
Tabla 40. Costes transporte terrestre Nacional (Fuente: propia).	157
Tabla 41. Clasificación del proceso de mecanizado (Fuente: propia).	160
Tabla 42. Clasificación del proceso de forja en frío (Fuente: propia).	160
Tabla 43. Clasificación del proceso de forja en caliente (Fuente: propia).	161
Tabla 44. Tolerancias de fundición según ISO8062 (Fuente: https://www.steel-foundry.com/blog/casting-tolerances-by-different-casting-processes/).	162
Tabla 45. Clasificación del proceso de microfusión (Fuente: propia).	163
Tabla 46. Clasificación del proceso de impresión 3D (Fuente: propia).	163
Tabla 47. Clasificación del proceso de estampación (Fuente: propia).	164
Tabla 48. Clasificación del proceso de sinterizado (Fuente: propia).	165
Tabla 49. Desglose de costes sinterizado (Fuente: propia).	174
Tabla 50. Estudio sobre el gasto y desperdicio en materia prima (Fuente: propia).	175
Tabla 51. Cálculo de los tiempos de producción (Fuente: propia).	176
Tabla 52. Tabla sobre el gasto energético mediante mecanizado (Fuente: propia).	176
Tabla 53. Estudio sobre el gasto y desperdicio en materia prima en el sinterizado (Fuente: propia). ..	176
Tabla 54. Cálculo de los tiempos de producción en el sinterizado (Fuente: propia).	176
Tabla 55. Tabla sobre el gasto energético mediante sinterizado (Fuente: propia).	177
Tabla 56. Desglose de costes para 5.000 unidades por sinterizado (Fuente: propia).	181
Tabla 57. Costes de proceso de compactación y sinterización para diferentes volúmenes (Fuente. propia).	182

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Tabla 58. Desglose de costes para 20.000 y 40.000 unidades por sinterizado (Fuente: propia).	182
Tabla 59. Desglose de costes para 5.000 unidades por mecanizado (Fuente: propia).	183
Tabla 60. Costes de proceso de torneado y fresado para diferentes volúmenes (Fuente: propia). ...	184
Tabla 61. Desglose de costes para 20.000 y 40.000 unidades por mecanizado (Fuente: propia)....	184
Tabla 62. Desglose de costes para 80.000 y 120.000 unidades por mecanizado (Fuente: propia)...	185
Tabla 63. Velocidad de corte para la herramienta elegida para fresar (Fuente: https://www.iscar.com/eCatalog/Grade.aspx?grade=IC900&item=5667908&fnum=3736&mapp=ML&app=0).	199
Tabla 64. Tabla para la determinación del avance en el fresado según herramienta ISO M (Fuente: Walter).....	201
Tabla 65. Datos técnicos Torno WT-100 (Fuente: https://www.nakamura-tome.com/products/wt-100/).	202
Tabla 66. Tabla costes estimados mecanizados (Fuente: https://metapartss.com/C_mo_calcular_el_costo_de_piezas_de_mecanizado_/).....	204
Tabla 67. Parametros del material polvo metálico 304 (Fuente: https://gzslam.en.made-in-china.com/product/FZBEpvouEQWi/China-Best-Selling-High-Quality-Stainless-Steel-304-Powder.html).	206
Tabla 68. Metales sinterizados según DIN 30910-4:2004-11 (Fuente: https://www.ginoolivaressrl.com/files/DIN30910-4.pdf).....	207
Tabla 69. Metales sinterizados JIS Z 2550:2000 (Fuente https://en.acepowdermetal.com/paper/other_page.php?id=3171).	208
Tabla 70. Metales sinterizados MPIF Standard 35 (Fuente https://en.acepowdermetal.com/paper/other_page.php?id=3171).	209
Tabla 71. Desglose presupuesto TFG (Fuente: propia).	213

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia, los seres humanos han sentido la necesidad de fabricar objetos, artilugios y herramientas para satisfacer sus necesidades. Con el avance de la tecnología y la innovación, los procesos de fabricación convencionales han ido mejorando, permitiendo obtener productos de alta calidad, costo y rendimiento. Asimismo, han surgido nuevos conceptos de producción, como la fabricación aditiva, la cual esta transformado la forma en la que se fabrican los productos en la actualidad.

Actualmente nos encontramos en la cuarta revolución industrial, caracterizada por los avances tecnológicos emergentes en diferentes ámbitos, tales como la robótica, la inteligencia artificial, los vehículos autónomos y los procesos de fabricación marcados por la fabricación aditiva.

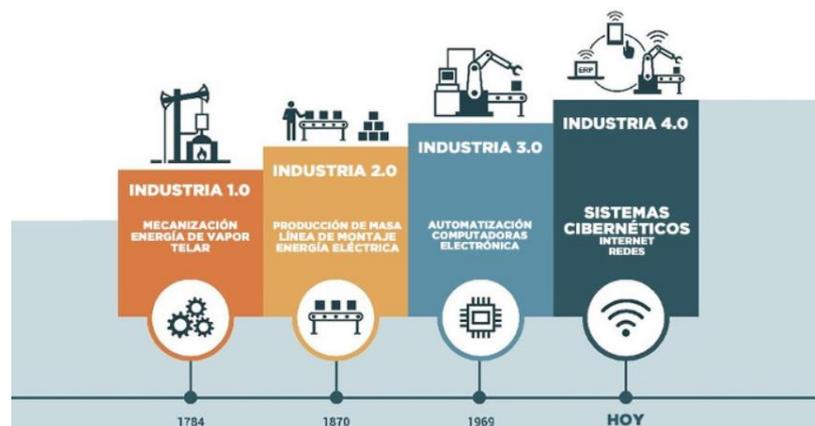


Figura 1. Revoluciones en la industria a lo largo del tiempo (Fuente: AODpaisajes)

Un estudio realizado por la compañía HP y 3dbpm ha concluido que la fabricación aditiva, especialmente en metales y polímeros, está teniendo un impacto significativo en la digitalización de la industria manufacturera, y su adopción podría acelerar la digitalización de los flujos de trabajo existentes, donde las nuevas empresas buscan un modelo de producción más ágil y flexible. El 96% de los encuestados en Europa afirma que la fabricación aditiva les ayuda a lanzar productos al mercado con mayor rapidez. Además, el 63% de los fabricantes de piezas encuestados tiene pensado invertir en la digitalización, lo que incluye tecnologías de fabricación aditiva. Entre los

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

factores que hacen de la fabricación aditiva una tecnología interesante están el aprovechamiento de materias primas y la reducción del impacto ambiental (IT Digital Media Group, 2021).

Debido a la necesidad de reducir el gasto excesivo de materia prima que conllevan los procesos de fabricación tradicionales, al igual del impacto ambiental que esto provoca, y con esto, conseguir un ahorro considerable en la producción, las grandes fábricas mundiales de componentes para la industria están cada día más inmersas en el cambio del tipo de fabricación de alguna de sus líneas para producir componentes mediante fabricación aditiva.

En este trabajo fin de grado se resaltarán la mejora económica y medioambiental respecto a la fabricación en serie de un casquillo manteniendo las características técnicas del mismo, debido al estudio de viabilidad para sugerir un cambio en el proceso de fabricación tradicional por mecanizado a ser fabricado mediante un proceso de fabricación moderno tal como la fabricación aditiva, en concreto mediante un proceso pulvimetalúrgico con sinterización.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Antes de empezar con el desarrollo del TFG, se definirá brevemente que es un proceso de fabricación:

Cuando se habla de un proceso de fabricación se hace referencia a la utilización de máquinas, dispositivos o reacciones naturales para transformar materias primas o piezas en productos terminados de manera repetitiva y coherente. Además, este proceso debe contar con medidas de calidad, tolerancias y métricas de rendimiento para mantener la coherencia y eficiencia en todas las áreas de producción, como el funcionamiento de las máquinas, la mano de obra y el flujo de materiales.

Cada fábrica, independientemente de su tamaño o complejidad de línea de productos, dispone de un proceso de fabricación óptimo para su producto y tipo de producción. El proceso elegido suele depender del tipo de producto a fabricar y puede variar en complejidad: desde sistemas simples hasta etapas intermedias más complicadas, como mezclas o preparaciones. A menudo, diferentes procesos de fabricación se utilizan en distintas empresas, y en algunos casos, incluso pueden combinarse en la misma empresa (Lauri, 2023).

Actualmente, se puede definir la manufactura de dos formas: una tecnológica y otra económica.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

En términos tecnológicos, la manufactura implica la aplicación de procesos físicos y químicos para modificar la geometría, las propiedades y/o la apariencia de un material de partida dado, con el fin de crear piezas o productos.

A su vez, también incluye el ensamblaje de varias piezas para crear productos finales. Los procesos de manufactura implican una combinación de maquinaria, herramientas, energía y trabajo humano, como se muestra en la figura 2.

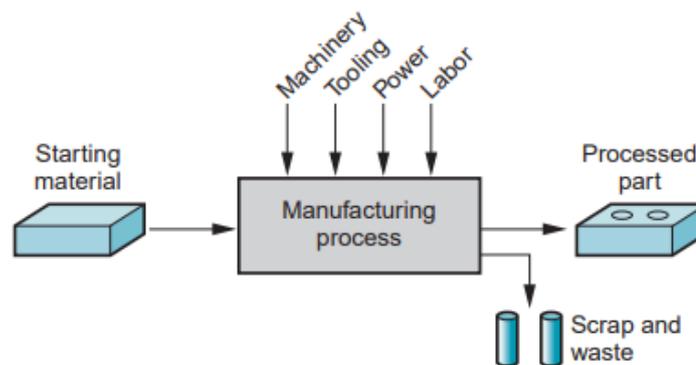


Figura 2. Fabricación enfocada al contexto tecnológico (Fuente: Fundamentals of Modern Manufacturing / Mikel P.Groover 2010)

La fabricación es un proceso secuencial en el que cada operación acerca el material a su estado final deseado. En términos económicos, la fabricación implica el coste de transformación de materiales en productos de mayor valor mediante una o varias operaciones de procesamiento y/o ensamblaje, como se observa en la figura 3.

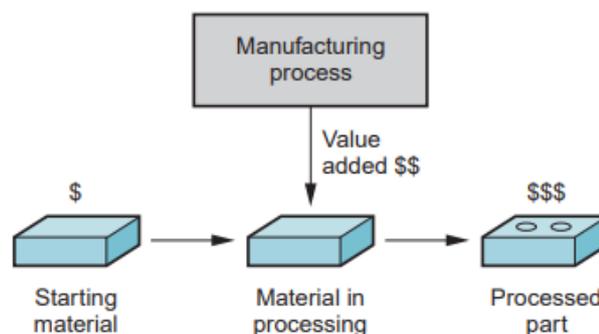


Figura 3. Fabricación enfocada al contexto económico (Fuente: Fundamentals of Modern Manufacturing / Mikel P.Groover 2010)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

La clave está en que la fabricación añade valor al material, al alterar su forma, sus propiedades o, al combinarlo con otros materiales, modificados de manera similar.

Por lo tanto, el material se vuelve más valioso gracias a las operaciones de fabricación realizadas. Por ejemplo, cuando se transforma mineral de hierro en acero, se agrega valor, al igual que cuando se convierte arena en vidrio o petróleo en plástico. Cuando el plástico se moldea en una silla de patio con geometría compleja, el producto final se vuelve aún más valioso.

Aunque a menudo se usan de forma intercambiable, la fabricación y la producción no significan lo mismo. La producción es un término más amplio, como en la "producción de petróleo crudo", mientras que la "fabricación de petróleo crudo" no tendría sentido. Por el contrario, cuando nos referimos a productos como piezas de metal o automóviles, ambas palabras son aceptables. (Groover, 2010)

1.3 OBJETIVOS Y MOTIVACIÓN

Uno de los objetivos principales en el mundo de la industria es la optimización de un proceso de fabricación, que conlleve una mejora de la producción a nivel técnico, económico y medioambiental. Para ello, con el diseño de una pieza, deben estudiarse los diferentes procesos de fabricación posibles para alcanzar la geometría diseñada y reducir al máximo la cantidad de materia prima usada.

Con la aparición de la fabricación aditiva se ha constituido una nueva metodología de fabricación. Al contrario que en los procesos de fabricación convencionales, (en los que se comienza con un bruto de materia prima y se va dando forma retirando material mediante procesos de moldeo, corte, perforación y amolado) en la fabricación aditiva existe una mínima pérdida de materia prima, debido a que se crean objetos añadiendo capas de material o conformando polvos metálicos consiguiendo alcanzar la geometría diseñada.

En el presente trabajo, de final de grado (TFG), se propondrá un procedimiento metodológico que se aplicará a un casquillo metálico para poder cambiar el tipo de proceso de fabricación, reduciendo el gasto excesivo de materia prima, el tiempo de fabricación y aumentando el rendimiento de la producción. Con su resultado se hará una comparativa resaltando la reducción de costes y del impacto ambiental, todo ello manteniendo los requerimientos técnicos de plano demandados por el cliente.

Se pueden dividir los objetivos planteados en un objetivo principal, objetivos específicos y objetivos académico personales. El objetivo principal, es el de identificar y evidenciar la mejora económica y medioambiental en la producción de un casquillo

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

metálico en base al cambio del proceso de fabricación, pasando de una fabricación convencional a un proceso mediante fabricación aditiva. En cuanto a los objetivos específicos derivados de este objetivo principal, podemos dividirlos de la siguiente manera:

- Selección justificada de una pieza objetivo sobre la que desarrollar el trabajo
- Estudio técnico-económico comparativo entre dos procesos de fabricación previamente definidos.
- Identificación de alternativas.
- Decisión de la alternativa optima.
- Definición de la metodología a llevar a cabo para el cambio en el proceso de fabricación y la posible homologación de la nueva pieza.
- Aplicación del procedimiento metodológico a una pieza metálica.
- Comparativa final y exposición de las mejoras conseguidas.

Los objetivos académico personales que conllevan a la realización de este trabajo de fin de grado son los siguientes:

- Desarrollar las nociones personales de los dos procesos de fabricación que se estudiaran en el trabajo.
- Adquirir un mayor conocimiento sobre el uso de las normas ISO y sus aplicaciones.
- Instruirse en la formalización de una metodología para el cambio en el proceso de fabricación de una pieza metálica con el objetivo de hacer uso de ello en el ámbito laboral.
- Realizar una aplicación experimental del procedimiento metodológico en un proyecto.

Todos estos objetivos académicos se fundamentan en las asignaturas cursadas durante el grado universitario, las cuales generaron una base teórica y práctica necesaria para poder llevar a cabo este proyecto final de carrera.

1.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Este trabajo se dividirá en 7 capítulos, cada uno de los capítulos está constituido por un título y describirá el contenido que se expone a continuación:

- 1- Introducción: En primer lugar, se introducirá el contexto general del estudio, el estado del arte más general en el que se sustenta, se definirán los objetivos,

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

se explicará qué nos ha llevado a centrar nuestro estudio en este tema y se expondrá la estructura que se va a llevar a cabo para la realización del proyecto.

- 2- Marco teórico: En ella se definirá el marco del proyecto, el alcance y la alineación con los objetivos de desarrollo sostenible. A continuación, se desarrollará el estado del arte y dentro de éste, se detallarán los dos procesos de fabricación que se van a definir y comparar introduciendo las reseñas históricas, las categorías de los procesos, las variables de cada proceso, los materiales que se suelen usar en cada uno de ellos, las limitaciones geométricas y las normativas aplicables. Será este apartado el que defina completamente los dos procesos de fabricación objeto de estudio de este proyecto.
- 3- Procedimiento metodológico: Para llevar a cabo el cambio en el proceso de fabricación de la pieza metálica, es necesario definir un procedimiento metodológico en el que se sustente. En este capítulo se expondrá dicho procedimiento metodológico para poder llevar a cabo el cambio en el proceso de fabricación tradicional del casquillo. Para ello, se dividirá en tres grandes apartados, en el primero se realizará un estudio técnico del plano y del casquillo, a continuación, se hará un estudio económico para evidenciar las mejoras en la producción en serie, y, por último, se definirán los documentos necesarios para homologación oficial.
- 4- Aplicación del procedimiento metodológico: Una vez descrito el procedimiento metodológico se deberá aplicar a un diseño real y en este TFG, se decidió enfocar el proyecto a un casquillo metálico.
- 5- Comparativa: En este capítulo se expondrán los resultados obtenidos de la aplicación a un caso real. En primer lugar, se estudiará si con el cambio de proceso de fabricación se ha conseguido superar los requerimientos técnicos, o en todo caso alcanzarlos y, por otro lado, se expondrán las mejoras económicas de la producción.
- 6- Conclusiones: Teniendo todos los datos recopilados debidamente del estudio se expondrán las conclusiones al respecto, evidenciando las mejoras obtenidas.
- 7- Líneas futuras: Por último y como cierre de este TFG, se exponen las posibles líneas de actuación para proyectos futuros, así como proyectos que nacerán a raíz del mismo.

Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

2.1.1 Marco del trabajo

La ejecución de este trabajo de final de grado se realiza en la escuela de arquitectura, ingeniería y diseño de la Universidad Europea de Madrid. La realización de este TFG responde a la importancia que supone la optimización del proceso de producción de una pieza metálica y a la necesidad de disminuir al máximo el desperdicio de materia prima; reduciendo el gasto en materia prima se aumenta el beneficio de la producción, debido al ahorro en material y se disminuye el impacto ambiental.

2.1.2 Alcance del proyecto

En la actualidad los procesos de fabricación tradicionales tales como la forja, estampación, fundición o mecanizado, tienen metodologías perfectamente definidas. Esto es debido a la amplia experiencia que se tiene sobre ellos y a las mejoras que se han ido realizando a lo largo de la historia. Sin embargo, cuando se trata de un proceso de fabricación tan novedoso como es la fabricación aditiva y el sinterizado, el marco y la metodología en el que se desarrolla no están definidos con tanta precisión como en los métodos tradicionales.

Es por ello que resulta de suma importancia establecer un procedimiento metodológico sólido basándose en las metodologías y experiencias ya establecidas para los procesos de fabricación tradicionales. La definición de pautas-base, que permitan obtener un producto mediante procesos de fabricación modernos, conllevará una reducción de costes y permitirá obtener un mismo producto reduciendo el impacto medioambiental que esto conlleva. Esto será debido a que el proceso de fabricación mediante sinterizado, también conocido como pulvimetalurgia (que es el proceso con el que se va a desarrollar este TFG) se basa en el conformado de polvos metálicos mediante presión para la obtención de una geometría dada, es decir, con una mínima pérdida de materia prima; al contrario que en los procesos de fabricación tradicionales, en este caso el mecanizado, en el que se comienza desde un bruto de materia prima y se va eliminando material hasta llegar a la geometría dada. En el proceso de sinterizado se conforma polvo metálico en un molde con la geometría requerida y en el mecanizado se va quitando material hasta llegar a la geometría demandada.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Resulta evidente que, en el sinterizado, no existe pérdida de material o mínima pérdida y, en el mecanizado, se va perdiendo materia prima mediante corte o arranque.

Una vez definido este procedimiento metodológico, el proceso se aplicará a una pieza metálica, en concreto a un casquillo con coliso y se estudiará la viabilidad en el cambio del proceso de fabricación tradicional al proceso de fabricación moderno.

Partiendo de la realización de un estudio de viabilidad basado en un previo análisis técnico del plano de la pieza y de la geometría del casquillo para el cambio en el proceso de fabricación, se llevará a cabo una comparativa tanto técnica como económica resaltando las mejoras en la producción. En esta comparativa, resaltaremos tanto la mejora económica como medioambiental, todo esto alcanzando los requerimientos técnicos de plano.

2.1.3 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales aprobaron por unanimidad, en la Asamblea General de Naciones Unidas la agenda para el desarrollo sostenible de 2030.

Se trata de un plan de acción destinado a fomentar el bienestar de las personas, el planeta, la prosperidad y la paz universal. Contiene 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas específicas que deben cumplirse antes de 2030.



Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 4. Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente: UNESCO)

En la realización de esta hoja de ruta, el sector privado tiene un papel crucial que desempeñar. Se dice que tienen una responsabilidad sin precedentes y una oportunidad única para alinear los objetivos de su negocio con los de la equidad y la sostenibilidad.

Como desarrollo de la iniciativa de la ONU, para promover la sostenibilidad empresarial del sector privado, el Pacto Mundial se encarga de liderar los esfuerzos de las empresas y organizaciones en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). (Gamez, 2022)

Por todo, este trabajo fin de grado sirve de implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9, 11 y 12 propuestos en la Asamblea General de las Naciones Unidas.

El ODS número 9 busca alcanzar la meta de infraestructuras sostenibles, resilientes y de alta calidad para todos. Esto se logrará al fomentar el desarrollo de una nueva industria bajo criterios de sostenibilidad, adoptando tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales. Asimismo, se impulsará la tecnología, la innovación y la investigación, y se trabajará para lograr el acceso igualitario a la información y al conocimiento, especialmente a través de internet.

Este trabajo fin de grado, se enmarca y cumple el objetivo número 9 ya que, se va a estudiar la viabilidad en el cambio del proceso de fabricación de un casquillo, de un proceso de fabricación tradicional a un proceso de fabricación moderno, adoptando un proceso industrial limpio y ambientalmente razonable. (Pacto Mundial, Red Española, 2021)



Figura 5. ODS nº9 Industria, innovación e infraestructura (Fuente: UNESCO)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Así mismo, el objetivo número 11 pretende alcanzar el objetivo de ciudades y comunidades sostenibles mediante el acceso de toda la población a viviendas, servicios básicos y medios de transporte adecuados, seguros y asequibles, especialmente para aquellos en situación de vulnerabilidad. Además, se promueve la reducción del impacto ambiental en las ciudades, el aumento de zonas verdes y espacios públicos seguros e inclusivos, un urbanismo sostenible y una mejora en las condiciones de los barrios marginales. (Pacto Mundial, Red Española, 2021)

En este sentido las empresas tienen un papel fundamental para alcanzar estas metas, introduciendo criterios de movilidad sostenible a nivel interno, fomentando infraestructuras y procesos sostenibles, preservando el patrimonio cultural y natural e invirtiendo en la protección de las personas potencialmente afectadas por desastres naturales. Como el objetivo de este TFG es el de adaptar la producción de una pieza metálica a un proceso de fabricación moderno, apostando por un proceso mas sostenible, se podría confirmar que este objetivo está comprendido dentro de este proyecto.



Figura 6. ODS nº11 Ciudades y comunidades sostenibles (Fuente: UNESCO)

Por último, el objetivo que engloba de mejor forma este TFG, es el objetivo número 12, que tiene como finalidad transformar el actual modelo de producción y consumo, mediante la implementación de procesos eficientes para la gestión de los recursos naturales, evitando la pérdida de alimentos, promoviendo el uso de productos químicos amigables con el medio ambiente y disminuyendo la cantidad de residuos generados.

Debido a la necesidad que existe en el mundo actual de optimizar el uso de las materias primas en los procesos de fabricación, el objetivo principal de este TFG es el de justificar de forma racional y eficiente la reducción del uso de materia prima en el proceso de fabricación de una pieza metálica.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Como bien se recoge en el pacto mundial a favor de un desarrollo sostenible, la huella material, definida como la cantidad total de materias primas utilizadas para consumo final, ha experimentado un aumento del 113% desde 1990. Esta demanda de materiales no se ha desvinculado del crecimiento de la población ni del aumento del PIB a nivel global. Es crucial abordar de manera urgente esta tendencia y establecer medidas efectivas para frenar la sobreexplotación de los recursos y prevenir una mayor degradación del medio ambiente.

Por lo que, es de suma importancia conseguir revertir esta tendencia e invertir en la optimización del uso de las materias primas en los procesos de fabricación, el cual es el objetivo principal de este trabajo de fin de grado.



Figura 7. ODS nº12 Producción y consumo responsables (Fuente: UNESCO)

2.2 ESTADO DEL ARTE

2.2.1 Introducción

Se denomina proceso de fabricación al conjunto de acciones y operaciones unitarias que transforman una materia prima con el objetivo de obtener un producto final. Estos procesos pueden variar dependiendo del volumen a fabricar y del plazo de entrega. Para ello, los ingenieros deben estudiar el tipo de tecnología de fabricación idónea para llevar a cabo la elaboración del producto y de esta manera, aumentar el rendimiento de la producción lo máximo posible (Pérez A. , 2017).

La tecnología de fabricación va referida al estudio de los procesos de conformado que se aplican a un material en bruto para transformarlo en un producto acabado y que cumpla con sus especificaciones. Esta transformación se lleva a cabo de manera óptima utilizando los recursos disponibles (maquinaria, utillajes, energía, etc.)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

mientras se consideran las restricciones del sistema productivo. El concepto de conformado (dar forma o modificar forma) es la esencia del proceso de fabricación (García, 2020).

Debido a que este trabajo se basa en el proceso de fabricación de una pieza metálica, vamos a definir los procesos de conformado de metales antes de adentrarnos en las dos tecnologías de fabricación.

Los procesos de conformado de metales, también conocidos como procesos de trabajo mecánico, son procesos de conformación primarios en los que una masa de metal o aleación es sometida a fuerzas mecánicas. Bajo la acción de tales fuerzas, la forma y el tamaño de la pieza de metal experimentan un cambio. A través de los procesos de trabajo mecánico se puede lograr la forma y tamaño de una pieza con una gran economía en material y tiempo. Existen operaciones de conformado de metales tanto en caliente como en frío, la decisión de conformar el metal en frío o en caliente depende de la maleabilidad y ductilidad del material a temperatura ambiente.

Existen muchos procesos diferentes de conformado de metales, y algunos procesos dan como resultado una geometría y un acabado superficial mejores que otros. Además, los procesos de conformado de metales en frío dan como resultado una mejor forma, tamaño y acabado superficial en comparación con los procesos de conformado de metales en caliente. El conformado en caliente produce oxidación y decarbonización de la superficie, formación de escamas y falta de control de tamaño debido a la contracción de la pieza de trabajo mientras se enfría a temperatura ambiente.

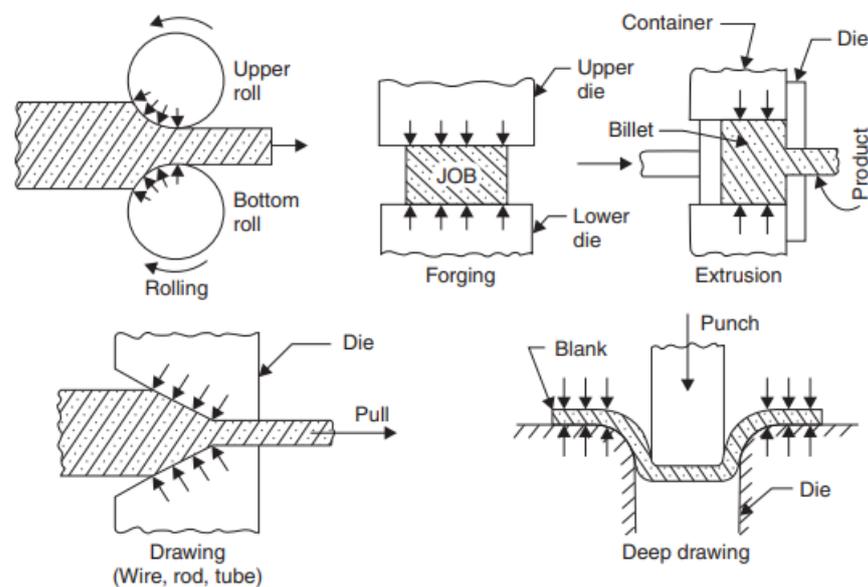


Figura 8. Procesos de conformado de metales (Fuente: Manufacturing Processes book)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Las nuevas tecnologías, como la fabricación aditiva y el sinterizado, promueven producciones más respetuosas con el medio ambiente, optimizando el uso de las materias primas.

Estamos viviendo actualmente una revolución industrial conocida como la Industria 4.0, en la cual la fabricación aditiva y dentro de ella, el sinterizado, juegan un papel fundamental. Para lograr esto se requiere investigar y desarrollar materiales, procesos, metodologías, procedimientos metodológicos y soluciones de diseño, con el fin de fabricar productos personalizados de alta calidad en fábricas inteligentes altamente eficientes y con una integración ciber física, tal y como lo propone la Industria 4.0 (Ugur M. Dilberoglu, 2017).

2.2.2 Mecanizado

2.2.2.1 Introducción histórica

Con el fin de introducir históricamente el proceso de fabricación por arranque de material o mecanizado, tenemos que remontarnos a la Prehistoria.

Los primeros materiales que fueron tratados mediante arranque de material fueron la piedra y la madera. Se sabe, debido a evidencias arqueológicas, que los egipcios hicieron uso de palos y cuerdas para la fabricación de mecanismos rotatorios que les permitieran realizar taladros. Posteriormente, se intentaron aplicar procesos ya desarrollados para cortar materiales como la madera y de esta manera dar forma a piezas metálicas, siendo el torno de pértiga, inventado alrededor del 1250, una de las primeras máquinas para el corte de metales.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

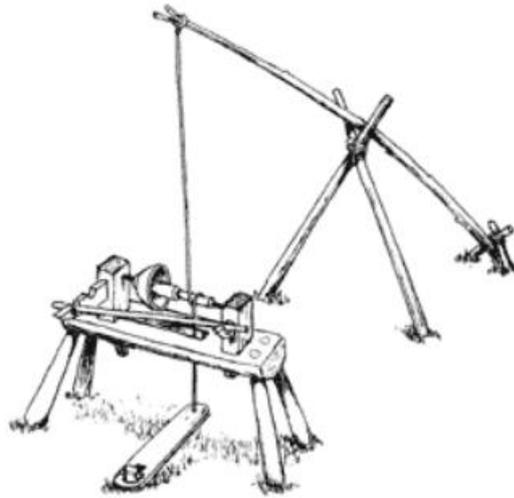


Figura 9. Torno de pértiga (Fuente: Les Forgages)

Durante el siglo XV se produjeron numerosos avances como el diseño de un torno para roscar por Leonardo da Vinci o la máquina cepilladora por Marx Lobsinger.

Más tarde, en los siglos XVIII y XIX, la introducción del vapor y la electricidad como fuentes de energía, junto con el desarrollo de aceros aleados en la metalurgia, provocó la aparición de nuevas máquinas-herramienta en la industria. En 1774, John Wilkinson realizó una de las contribuciones más significativas a esta industria al construir una máquina de precisión para perforar los cilindros de un motor, lo que permitió superar los problemas de tolerancias requeridas para las máquinas de vapor. Gracias a la mandrinadora de Wilkinson, James Watt pudo fabricar la primera máquina de vapor en ese mismo año. Henry Maudsley desarrolló en 1799 el primer torno paralelo con portaherramientas deslizante, con el paso del tiempo, se fue mejorando y se fueron añadiendo tanto el husillo como el cambio de velocidades (Amestoy, 2007).

Durante el siglo XIX, se crearon distintas máquinas de fresado donde resalta el primer modelo fabricado por Eli Whitney. En 1842 se construye el primer torno automático y en 1861 la marca Brown y Sharpe fabrican la primera fresadora universal. A principios del siglo XX, la firma alemana Krupp empezó a fabricar herramientas de metal duro y carburo sinterizado. Durante el siglo XX, se produjo un gran desarrollo en las máquinas-herramienta, y se empezó a utilizar la electricidad en lugar del vapor como fuente de energía predominante.

El desarrollo de materiales para herramientas de corte ha sido uno de los dos factores clave en la evolución de los procesos de mecanizado durante el siglo XX, ya que estos materiales permiten trabajar a mayores velocidades y con materiales de propiedades más exigentes. El segundo factor que ha permitido sustancialmente la evolución de

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

este proceso en estos últimos años ha sido la introducción de la tecnología de control numérico (CN) en 1953 por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), que abrió las puertas a los centros de mecanizado de control numérico por computadora (CNC) y control numérico directo (CND) y mejoraron la precisión y uniformidad del producto.

En las últimas cinco décadas los avances en los procesos de mecanizado y sus herramientas han continuado gracias al rápido progreso en las industrias electrónicas y de computación. Diseños ingeniosos de máquinas herramientas convencionales han permitido producir formas complejas con una precisión de ± 1 micrómetro (μm) (El-Hofy, 2005).

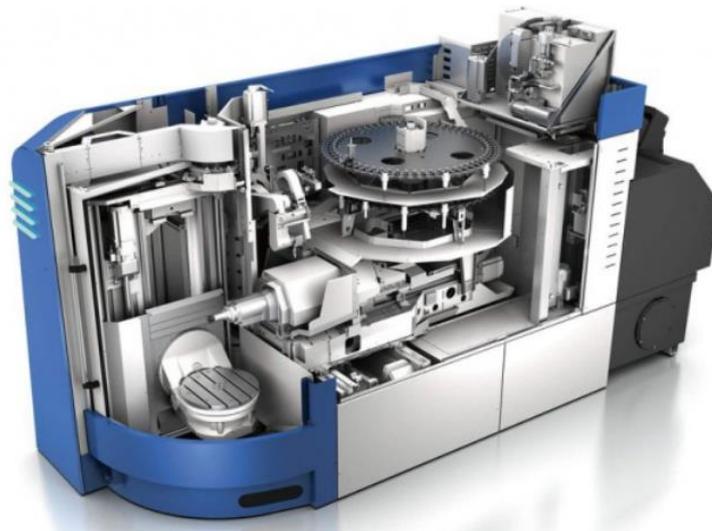


Figura 10. Centro de Mecanizado 5 ejes (Fuente: GROB)

2.2.2.2 Introducción

Los procesos de mecanizado son la columna vertebral de la fabricación y acabado de piezas en la industria moderna.

También conocidos como procesos de conformado por eliminación de material, por arranque de viruta o por procesos de corte, su esencia radica en obtener piezas precisas a partir de una preforma de partida mediante la eliminación de material en forma de virutas o partículas minúsculas. Existen diferentes tipos de mecanizado, en los que destacan debido a su versatilidad en la industria: el torneado, fresado, taladrado, limado, cepillado y rectificado.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

El éxito de estos procesos depende de elementos fundamentales, como las piezas o preformas, las herramientas, las máquinas, el utillaje y, por supuesto, el operario o sistema de control. Gracias a los avances tecnológicos y la maquinaria de última generación, se ha logrado mejorar la precisión y la eficiencia de estos procesos, permitiendo la creación de piezas cada vez más sofisticadas y de alta calidad.

2.2.2.3 Tipos de procesos de mecanizado

En la actualidad los procesos de mecanizado se llevan a cabo con el empleo de máquinas herramienta que dan forma a las piezas en bruto. Los elementos fundamentales de estas máquinas son las herramientas de corte y los dispositivos de sujeción de la pieza a la máquina.

Existen diferentes formas de clasificar los tipos de mecanizados existentes según el punto de vista de cada fuente de información. Se pueden clasificar por el tipo de energía del proceso (mecánico, electroquímico, químico o termoeléctrico), dependiendo si son procesos tradicionales o no tradicionales (convencionales o no convencionales) o por el tipo de movimiento entre la pieza a mecanizar y la herramienta de corte, es decir, el tipo de mecanismo de arranque de viruta.

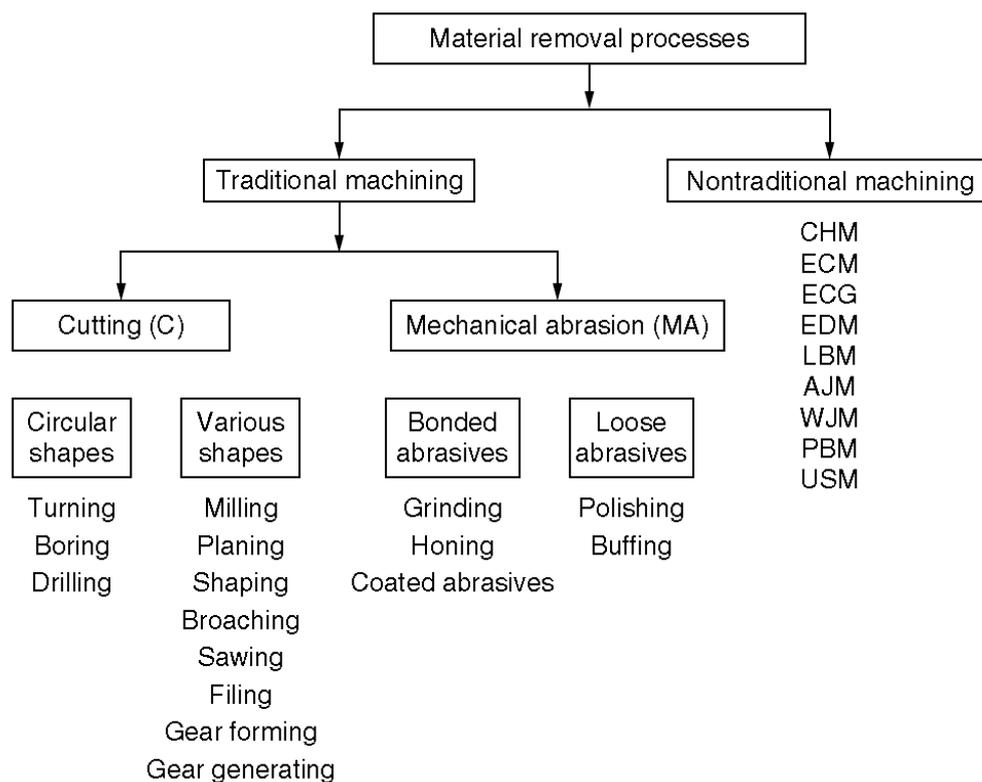


Figura 11. Clasificación de los tipos de procesos de mecanizado (Fuente: El-Hofy, 2005)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

A continuación, vamos a describir los principales procesos convencionales de mecanizado por arranque de viruta (Serope Kalpakjian, 2013) (Heinz Tschätsch, 2009) (Pérez M. Á., 2009):

- Torneado: El torneado es un proceso de mecanizado ampliamente utilizado que se realiza en una máquina herramienta conocida como torno.

Para lograr la forma deseada en el proceso de torneado la herramienta de corte instalada en el carro portaherramientas del torno se mueve hacia adelante y hacia abajo para crear un corte preciso en la pieza en rotación. A medida que la cuchilla hace contacto con la pieza, las partes del material son eliminadas y desprendidas en forma de virutas. La unidad de control del torno permite que se controlen simultáneamente tanto la velocidad de rotación como los movimientos de avance y penetración de la cuchilla, lo que resulta fundamental para lograr la forma final deseada en la pieza mecanizada.

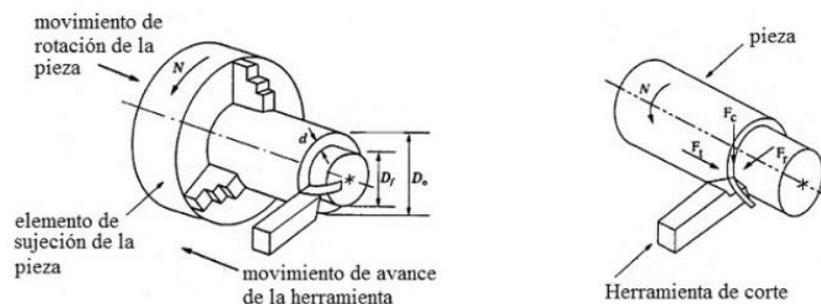


Figura 12. Proceso de torneado (Fuente: Ingemecanica.com)

- Fresado: Es uno de los procesos más utilizados junto con el torneado.

Para cortar el material se utiliza una herramienta circular llamada fresa, que cuenta con múltiples filos de corte en su perímetro exterior. En una fresadora, la herramienta se fija al cabezal de la máquina y puede moverse linealmente en tres direcciones: X, Y y Z. La pieza a trabajar se asegura a la mesa de la máquina, utilizando diferentes métodos de fijación dependiendo del diseño final de la pieza.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

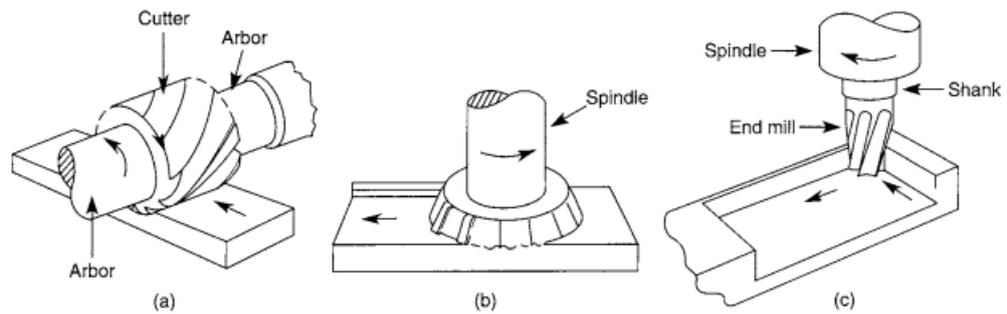


Figura 13. Tipos básicos de fresas y operaciones (a) Fresado periférico (b) Fresado frontal (c) Fresado de extremos (Fuente: Serope Kalpakjian, 2013)

Dependiendo del diseño de la máquina, la herramienta de corte, la pieza o ambas, tienen la capacidad para moverse simultáneamente lo que da lugar a tres tipos de fresadoras: fresadora horizontal, fresadora vertical y fresadora universal.

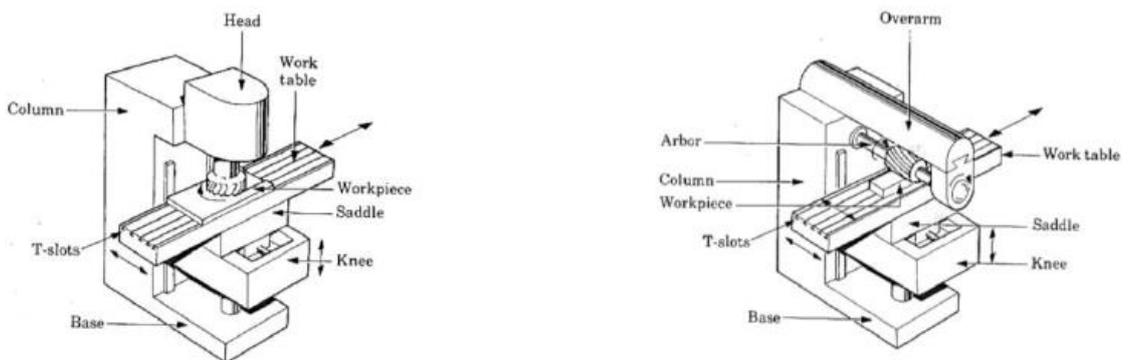


Figura 14. Tipos de fresadoras. Primera figura fresadora vertical // Segunda figura fresadora horizontal (Fuente: Serope Kalpakjian, 2013)

- **Taladrado:** El proceso de taladrado o mecanizado de agujeros es una operación que se realiza principalmente en máquinas taladradoras. El objetivo del taladrado es el de realizar agujeros en piezas, tanto pasantes como ciegos. Esta técnica se caracteriza porque es la herramienta la que lleva a cabo el movimiento principal, tanto de giro como de avance.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

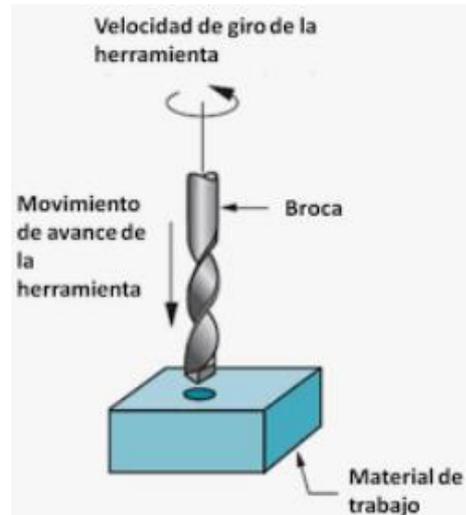


Figura 15. Proceso de taladrado (Fuente: ptolomeo.unam)

Las máquinas taladradoras se pueden clasificar en dos tipos según la posición del husillo: horizontales (como la mandrinadora y la taladradora para agujeros profundos) y verticales. Además, se pueden clasificar según el tipo de accionamiento de avance, ya sea manual o con avance automático.

Las más usadas son las maquinas taladradoras verticales y pueden dividirse de la siguiente forma:

- De columna o montante
 - De sobremesa
 - De bandera o radial
 - De precisión o máquina punteadora
 - De herramientas múltiples monohusillo
 - De husillo múltiple
-
- **Rectificado:** El rectificado es un proceso de fabricación que se engloba dentro de los procesos de mecanizado con abrasivos y se utiliza para el acabado de piezas de alta precisión o afinado. Las rectificadoras son las máquinas-herramienta empleadas para llevar a cabo este proceso. El rectificado se utiliza comúnmente como un proceso de acabado para lograr una alta precisión y/o un acabado superficial en las piezas de trabajo. Por lo general, se realiza después de otras operaciones metalmeccánicas, también, es un proceso efectivo para el mecanizado de materiales con alta dureza y que no pueden ser fresados ni torneados, como por ejemplo, las superaleaciones utilizadas para fabricar piezas destinadas al sector de la aeronáutica (Tovar, 2023).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Las técnicas de rectificado se pueden clasificar, según la forma de la pieza de trabajo, en rectificado frontal o cilíndrico, y también según el montaje, como rectificado entre centros o sin centro.

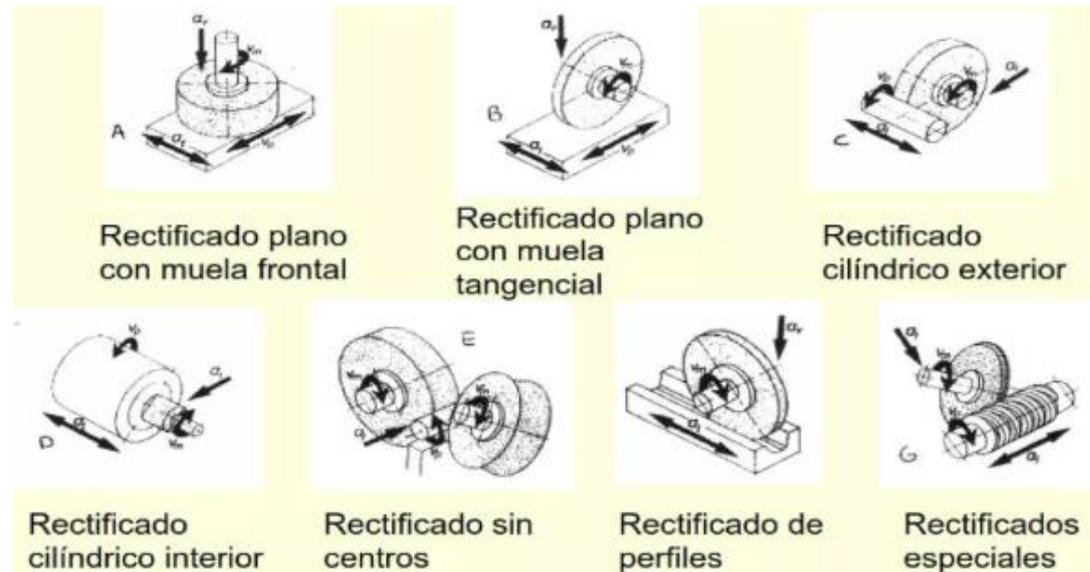


Figura 16. Tipos de rectificado (Fuente: lim.ii.udc.es)

2.2.2.4 Etapas del proceso de mecanizado

El proceso de mecanizado se divide en dos etapas: el desbaste y el acabado.

Durante el desbaste, se elimina una gran cantidad de material de la pieza sin preocuparse demasiado por la precisión del corte. Esta etapa se realiza al principio del proceso.

A diferencia del desbaste, durante la etapa de acabado se realizan las últimas pasadas de la herramienta con mayor precisión con el fin de lograr una pieza con las dimensiones, tolerancias y acabados superficiales requeridos.

Para poder fabricar una pieza mediante el proceso de mecanizado se tiene que seguir un procedimiento con varias etapas (Victor, 2021):

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

1. **Diseño de la pieza:** En esta etapa los diseñadores y fabricantes, de la mano de sus ingenieros, deberán estudiar la viabilidad del diseño demandado teniendo en cuenta aspectos como la maquinaria disponible en fabrica, las herramientas de CNC y el material a mecanizar. La elaboración de la geometría demandada se hará mediante un programa de diseño CAD de pieza sólida 3D o bien de vector 2D.
2. **Conversión de la pieza a programa CNC:** Una vez diseñada la pieza en formato CAD, se deberá exportar a un formato compatible con la maquina CNC, como por ejemplo, el formato IGES o STEP. Las máquinas CNC pueden utilizar varios lenguajes de programación, los más conocidos de código general o geométrico, son los denominados código G (controla cuando, donde y como se mueven las herramientas) y código M (controla las funciones auxiliares como por ejemplo el accionamiento del refrigerante o taladrina). Este código se genera mediante el programa CAM.
3. **Preparación de la maquina:** Antes de ejecutar el programa de mecanizado CNC, se tiene que preparar la máquina CNC. El operario debe fijar la pieza en los dispositivos de fijación y organizar el almacén de herramientas en el caso de tratarse de máquinas con automatización de colocación de herramientas.
4. **Ejecución del mecanizado:** En esta fase, se ejecuta el programa en la máquina CNC y se lleva a cabo la fabricación de la pieza diseñada previamente. El programa CNC manda instrucciones a la maquina dirigiéndola en cada momento según las operaciones a realizar en cada momento.

2.2.2.5 Variables en el proceso de mecanizado

Para la correcta realización del proceso de mecanizado a una pieza se deben controlar diferentes parámetros de corte para obtener los resultados deseados. Existen 4 variables principales de corte: la velocidad de corte, el avance, la velocidad de avance y la profundidad de corte.

A continuación, se explicará cada una de ellas y se expondrá la formula con la cual calcular el valor (Bavaresco, 2013) (Galbarro, 2022):

- **Velocidad de corte:** Se conceptúa como la velocidad lineal relativa de la herramienta respecto de la pieza en la dirección y el sentido del movimiento de corte. Podemos caracterizar la velocidad de corte como movimiento primario, dependiendo del material de la herramienta, del material de la pieza a

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

mecanizar, del tipo de acabado y de otros factores, podremos aumentar la velocidad o reducirla.

Esta velocidad de corte se define como:

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000}$$

donde,

V_c es la velocidad de corte en [m/min].

d es el diámetro de la pieza si se trata de una operación de torneado, en el caso que se esté realizando un fresado, d será el diámetro de la herramienta, expresado en [mm].

n se corresponde con la velocidad de giro de la pieza en el torneado o de la herramienta en el fresado, en [rpm]

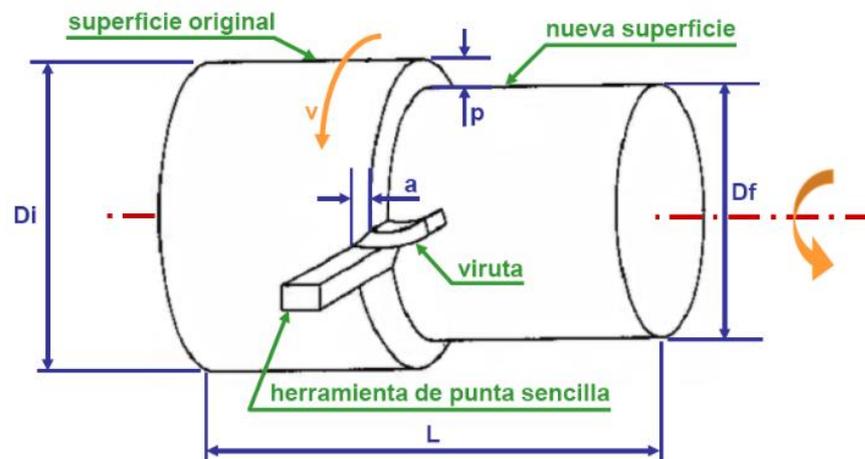


Figura 17. Velocidad de corte (Fuente: Libro Tecnologías Oxford Education)

- Avance: El avance se define como la distancia que la herramienta avanza en la dirección de la pieza por cada revolución o carrera, y se expresa en milímetros [mm].

En el caso de cortes ortogonales el avance se refiere al desplazamiento relativo entre la herramienta y la pieza. El valor del avance F_n se obtiene al multiplicar el avance por diente F_z por el número de dientes z de la herramienta.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$F_n \left[\frac{mm}{rev} \right] = F_z \left[\frac{mm}{diente} \right] \times z \left[\frac{diente}{rev} \right]$$

- Velocidad de avance: Podemos caracterizar la velocidad de avance como movimiento secundario. Conociendo la velocidad de giro n y el avance, podemos deducir la velocidad de avance:

$$V_a \left[\frac{mm}{rev} \right] = F_n \left[\frac{mm}{rev} \right] \times n \left[\frac{rev}{min} \right]$$

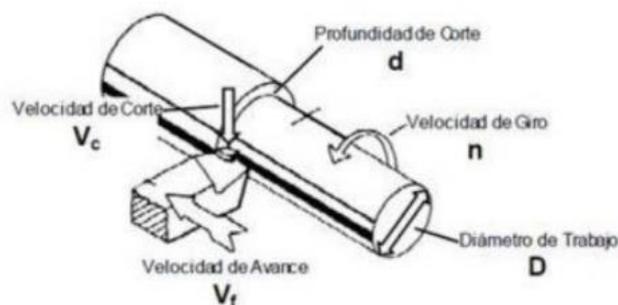


Figura 18. Velocidad de avance (Fuente: Formacionmecanizado.com)

- Profundidad de corte: Se define como profundidad de corte a la distancia que penetra la herramienta en la pieza.

Sabiendo la profundidad de corte y el avance, se puede deducir la cantidad de material que se elimina, es decir la viruta denominada con la letra S .

$$S [mm^2] = F_n [mm] \times P [mm]$$

2.2.2.6 Materiales

Dependiendo del material que se decida mecanizar y de la aplicación que tenga la pieza final requerida, el material de la herramienta deberá ser elegido para que pueda aguantar tanto los esfuerzos mecánicos que sufre (impactos o fuerzas de modulo constantes) como las altas temperaturas que alcanza el filo de la herramienta.

En el campo de la ingeniería es común emplear una amplia variedad de materiales, siendo las aleaciones uno de los materiales más utilizados. La elección del material

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

en aplicaciones industriales se basa principalmente en las propiedades específicas requeridas para satisfacer las necesidades de cada sector, tales como la ligereza, la resistencia al desgaste, entre otras. La Tabla siguiente ofrece algunos ejemplos de aplicaciones de diferentes materiales en diversos sectores industriales:

Material / Aplicación	Industria medica	Automoción y transportes	Construcción	Alimentación
Aceros al carbono y aleaciones	N/A	Ejes de vehiculos, resortes, engranajes, vías de ferrocarril, cascos de buque	Perfiles estructurales, alambres, clavos tornillos, barras, cerraduras	N/A
Aceros inoxidables	Produccion de implantes, instrumentos quirurgicos, prótesis dentales	Tubos de escape, parrillas, molduras, convertidores catalíticos	Interior de encimeras, salicaderos, barandillas, revestimiento de edificios	Cuchillos, parrillas, utensilios para la cocina
Aluminio	Empaques farmacéuticos	Alas de aviones, fuselaje de un avion, cuadros de biciletas, carrocería del automovil	Perfiles estructurales, carpas, revestimientos, ventanas	Utensilios de cocina, platos
Cobre	N/A	Fuselaje de un avion, valvulas, radiadores, frenos, cojinetes.	Tuberías, marcos interiores, elementos decorativos	Conductos de agua potable
Titanio	Reemplazo óseo, prótesis, herramientas quirúrgicas, implantes dentales y ortopédicos, contenedores de residuos radiactivos	Estructuras para el sector aerospacial, tornillos, compresores, rotores, turbinas	Revestimiento de fachadas, tornillos a la interperie, placas.	N/A

Tabla 1. Tabla de materiales mecanizados y sus aplicaciones (Fuente: Propia)

Suele ser muy común que en la fabricación de piezas exista un proceso de mecanizado para alcanzar el acabado requerido por el cliente. Por esta razón resulta importante establecer criterios que permitan evaluar la aptitud de un material para su mecanizado, a esta aptitud se le define como maquinabilidad.

La maquinabilidad de los metales tiene un impacto directo en el costo y la producción de los componentes, y se ve afectada por diversos factores, como el consumo de energía, la forma de la viruta, la calidad de la superficie y la vida útil de la herramienta. Las características deseables de un material con buena maquinabilidad incluyen un bajo consumo de energía, un tamaño de viruta pequeño, un acabado suave y una larga vida útil de la herramienta. Por ejemplo, tanto el acero inoxidable como el titanio son difíciles de mecanizar, al contrario, el aluminio o el hierro fundido se mecanizan fácilmente (Thomas Child, 2000).

2.2.2.7 Herramientas de corte

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

En las operaciones de mecanizado las herramientas de corte deben ser capaces de soportar altas temperaturas, fricción y fuerzas significativas. Por esta razón, deben tener una combinación de tenacidad, resistencia al desgaste, dureza y capacidad para no reaccionar con el material de la pieza. Es importante analizar cuidadosamente el diseño de la herramienta de acuerdo con la aplicación para la que se va a utilizar, considerando factores como el tamaño, las aristas de corte, el rompevirutas y el material o recubrimiento de la herramienta. La evolución de la industria ha llevado a la búsqueda de herramientas que permitan mecanizar mayor cantidad de material en menos tiempo, lo que ha llevado a la introducción de nuevos materiales en los procesos de mecanizado.

La evolución de los materiales de herramientas ha ido en busca de mejorar la producción y aumentar las velocidades de corte, manteniendo un desgaste aceptable. La investigación y el desarrollo han permitido la introducción de nuevos materiales en los procesos de mecanizado, lo que exige nuevas características a las herramientas de corte. La evolución de los materiales de herramientas se puede entender a través de la cronología de su desarrollo, desde los primeros materiales utilizados hasta los más recientes. Cada material tiene sus propias características y ha contribuido al proceso de mejora de las herramientas de corte en la industria.

Existen diferentes tipos de materiales usados en las herramientas de los procesos de mecanizado, de los cuales podemos clasificar los más utilizados en orden creciente de velocidad de corte a la que pueden trabajar, esta tendencia también la sigue el costo de la herramienta (SANDVIK Coromant, s.f.):

- 1 - Aceros al carbono.
- 2 - Aceros rápidos.
- 3 - Carburos sinterizados (Metal duro).
- 4 - Cerámicos.
- 5 - Nitruro de boro cúbico (CBN).
- 6 - Diamante.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez



*Figura 19. Diferentes tipos de herramientas según el material. Acero rápido, acero duro y cerámico
(Fuente: Grupo Carman)*

Para simplificar la elección del material de la pieza a mecanizar en concordancia con las tolerancias alcanzables, la norma DIN ISO 513 divide en seis grandes grupos los materiales de las piezas. Cada grupo se compone de propiedades únicas de acuerdo a la maquinabilidad y preparación de la herramienta según exigencia (MECÁNICA, 2020):

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

ISO P	Acero	ISO M	Acero inoxidable	ISO K	Fundición
					
ISO N	Aluminio	ISO S	Superalcaciones termo- resistentes	ISO H	Material endurecido
					

Figura 20. Clasificación de materiales según norma ISO (Fuente: Sandvik Coromant)

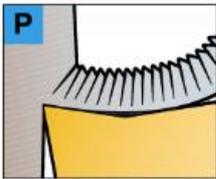
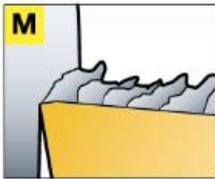
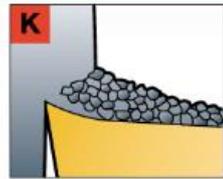
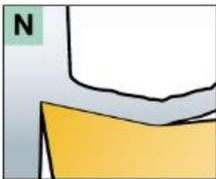
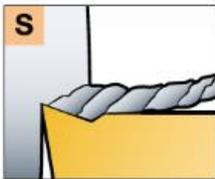
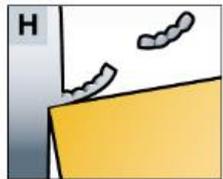
ISO P	Acero	ISO M	Acero inoxidable	ISO K	Fundición
					
ISO N	Aluminio	ISO S	Superalcaciones termorresistentes	ISO H	Material endurecido
					

Figura 21. Relación entre el material ISO y la viruta (Fuente: Sandvik Coromant)

La clasificación de los tipos de metal duro se basa en la capacidad de la herramienta para mecanizar diferentes materiales, y se divide en 6 grupos, identificados por una letra cada uno: P, M, K, S, N y H. Sin embargo, dentro de cada grupo se establecen diferentes grados o escalas que definen la relación entre dureza y tenacidad del material. Estos grados se identifican por un número específico (MECÁNICA, 2020).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

De esta manera, la norma establece una clasificación detallada para los diferentes tipos de metal duro, permitiendo a los usuarios seleccionar la herramienta más adecuada para cada aplicación en función de las características del material a mecanizar. Además, la asignación de grados dentro de cada grupo permite una mayor precisión en la elección de la herramienta, considerando factores como la dureza y la tenacidad del material.

En resumen, esta norma proporciona una guía útil para la selección y uso eficiente de herramientas de metal duro en la industria del mecanizado.

DIN ISO 513	Material	Condición	Dureza HB	No.	Ejemplos
P	Acero de fácil mecanización, Acero al carbón y acero fundido	Recocido	125	1	1010, 1015, 1018, 1020, 12L13
		Recocido	190	2	1035, 1045, 1050
		Endurecido	250	3	A387
		Recocido	220	4	1055, 1060, 1213, 1095
		Endurecido	300	5	
	Acero de baja aleación y acero fundido	Recocido	180	6	D2, 8620, 4130, 4140, L3 52100
		Endurecido	275	7	1213, 1215, 1330, 2515, 4340, 8620
		Endurecido	300	8	52100, 4340
		Endurecido	350	9	3135
	Acero de alta aleación y acero fundido	Recocido	200	10	H13, D2, 2515
		Endurecido	325	11	T15, M42, M35
M	Acero inoxidable y acero fundido	Ferrítico/martensítico	200	12	403, 410, 416, 502, 504
		Martensítico	240	13	431, 17-4 PH, 15-5 PH
K	Hierro fundido gris	Ferrítico/martensítico	180	15	Clase 20, Clase 25
		Perlítico	260	16	Clase30, Clase 35, Clase 45, Clase 50
	Hierro nodular	Ferrítico	160	17	60-40-18, 80-55-06, 65-45-12
		Perlítico	250	18	100-70-03
	Hierro maleable	Ferrítico	130	19	32510
Perlítico		230	20	70003, 50005, 90001, 1022, 1518	
N	Aleaciones de forja de aluminio	Tratamiento térmico caliente	60	21	1060, 2018, 6160, 7079
		Tratamiento térmico	100	22	7050
	Aleaciones de fundiciones de aluminio	Tratamiento térmico caliente	75	23	2024-T4, 2014-T6, 6061-T6,
		Tratamiento térmico	90	24	
			130	25	380, 390, 380-1,
	Cobre/aleaciones de cobre		110	26	Mecanizado libre de latón
			90	27	Latón
			100	28	Bronce
	No metales			29	Duroplástico, Fbra reforzada de plástico, Baquelita, 26-28 aleaciones de cobre
				30	Caucho, Nylon
S	Aleaciones resistentes al calor	Recocido	200	31	Monel 500, A286, Discaloy
		Tratamiento térmico	280	32	Inconel 600, Unitemp, Refractaloy 26
		Recocido	250	33	Nimonic, Inconel X750, Astroloy, Hsattelloy B, Inconel 625
		Tratamiento térmico	350	34	Nimonic 90, Hastelloy C, Rene 41, Waspaloy, J1570 Inconel 718
		Vaciado	320	35	
	Titanio, aleaciones de titanio			36	
H	Acero reforzado	Recocido		37	Ti-6Al-4V, Ti-6Al-2Sn-Zr-2Mo
		Endurecido	55 Rc	38	
	Endurecido	60 Rc	39		
	Enfriado/hierro fundido endurecido	Vaciado	400	40	Ni-Hard 1, Ni-Hard 3, Ni-Hard 4

Tabla 2. Clasificación DIN ISO 513 (Fuente: AENOR)

2.2.2.8 Tolerancias y geometrías alcanzables

Cuando el diseño de una pieza se lleva a cabo, para su producción y posterior venta, es necesario que los elementos del conjunto estén perfectamente definidos geoméricamente para garantizar la funcionalidad de la pieza una vez acabada como bien define la norma UNE-EN_22768-1:1994 (ISO 2768-1:1989). Por lo tanto, en los planos se definen las tolerancias y especificaciones necesarias,

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

principalmente las funcionales, para asegurar que todas las dimensiones lineales y angulares de cada componente queden definidas.

Para ello, se dividen en cuatro clases de tolerancias básicas fina (f), media (m), grosera (c), muy grosera (v). De esta manera, se asegura que la definición del componente sea completa y precisa. Es importante seleccionar la tolerancia general coherente con el proceso de fabricación para obtener la precisión adecuada en el producto final. Si la precisión obtenida no coincide con la tolerancia seleccionada, se deben indicar de forma específica las medidas que sean más o menos estrictas que la general aplicada (Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuem LHII, 2020).

En conclusión, la norma establece la necesidad de definir tolerancias y especificaciones en los planos para garantizar la correcta definición de los componentes y evitar interpretaciones erróneas en el proceso de fabricación. La selección de la tolerancia general debe ser coherente con el proceso de fabricación. La norma UNE-EN_22768-1:1994 (ISO 2768-1:1989) se basa en esta idea y establece las tolerancias lineales y angulares para componentes en un conjunto (Peng, 2020).

El impacto positivo de la norma ISO 2768 en la industria mecánica es innegable, ya que promueve la uniformidad en la interpretación de las especificaciones de dibujo y elimina la necesidad de una amplia variedad de indicaciones de tolerancia que, de lo contrario, serían necesarias para cada pieza. Además, la estandarización de las tolerancias mecánicas hace que sea más fácil para las empresas trabajar juntas y compartir información, lo que a su vez promueve la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

A continuación, se muestran las tablas de tolerancias acordes a la norma UNE-EN_22768-1:1994 (ISO 2768-1:1989).

Clase de Tolerancia	Descripción	Desviaciones admisibles respecto al valor nominal d (en mm.)							
		0,5 <d≤ 3	3 <d≤ 6	6 <d≤ 30	30 <d≤ 120	120 <d≤ 400	400 <d≤ 1000	1000 <d≤ 2000	2000 <d≤ 4000
f	fina	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	media	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	grosera	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	muy grosera	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

Tabla 3. Tolerancias para dimensiones lineales, excepto aristas matadas (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Clase de Tolerancia	Descripción	Desviaciones admisibles respecto al valor nominal d (en mm.)		
		3<d≤6	6<d≤30	30<d≤120
f	fina	±0,2	±0,5	±1
m	media			
c	grosera	±0,4	±1	±2
v	muy grosera			

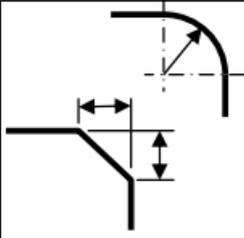


Tabla 4. Tolerancias para dimensiones lineales de aristas matadas, radios exteriores y alturas de chaflán (Fuente: ISO 2768).

Clase de Tolerancia	Descripción	Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado d (en mm.)				
		d≤10	10<d≤50	50<d≤120	120<d≤400	400<d
f	fina	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	media					
c	grosera	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
v	muy grosera	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

Tabla 5. Tolerancias para dimensiones angulares (Fuente: ISO 2768).

Grado Tolerancia Diámetro (mm.)	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
d ≤ 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
3 < d ≤ 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
6 < d ≤ 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
10 < d ≤ 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
18 < d ≤ 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
30 < d ≤ 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
50 < d ≤ 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
80 < d ≤ 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
120 < d ≤ 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
180 < d ≤ 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
250 < d ≤ 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
315 < d ≤ 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
400 < d ≤ 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
500 < d ≤ 630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
630 < d ≤ 800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
800 < d ≤ 1000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3300	5600	9000	14000
1000 < d ≤ 1250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
1250 < d ≤ 1600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
1600 < d ≤ 2000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
2000 < d ≤ 2500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
2500 < d ≤ 3150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000
Muy alta precisión	Equipos metrología y piezas de gran precisión		Piezas o elementos que han de ajustar										Superficies libres							

Tabla 6. Valores numéricos de amplitudes de zonas de tolerancia según el diámetro y el grado de calidad (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación superior es											
	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js
Calidad	Todas las calidades											
d ≤ 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Para la posición js, di = - IT/2 y ds = IT/2
3 < d ≤ 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	
6 < d ≤ 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	
10 < d ≤ 14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	
14 < d ≤ 18												
18 < d ≤ 24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	
24 < d ≤ 30												
30 < d ≤ 40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	
40 < d ≤ 50	-320	-180	-130									
50 < d ≤ 65	-340	-190	-140		-100	-60		-30		-10	0	
65 < d ≤ 80	-360	-200	-150									
80 < d ≤ 100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0	
100 < d ≤ 120	-410	-240	-180									
120 < d ≤ 140	-460	-260	-200		-145	-85		-43		-14	0	
140 < d ≤ 160	-520	-280	-210									
160 < d ≤ 180	-580	-310	-230		-170	-100		-50		-15	0	
180 < d ≤ 200	-660	-340	-240									
200 < d ≤ 225	-740	-380	-260		-190	-110		-56		-17	0	
225 < d ≤ 250	-820	-420	-280									
250 < d ≤ 280	-920	-460	-300		-210	-125		-62		-18	0	
280 < d ≤ 315	-1050	-540	-330									
315 < d ≤ 355	-1200	-600	-360		-230	-135		-68		-20	0	
355 < d ≤ 400	-1350	-680	-400									
400 < d ≤ 450	1500	-760	-440									
450 < d ≤ 500	1650	-840	-480									

Tabla 7. Diferencias fundamentales para ejes de la A a la JS (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación inferior ei																			
	j			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
Calidad	IT5 IT6	IT7	IT8	4≤IT≤7	IT<4 IT>7	Todas las calidades														
d ≤ 3	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60	
3 < d ≤ 6	-2	-4		+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80	
6 < d ≤ 10	-2	-5		+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97	
10 < d ≤ 14	-3	-6		+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130	
14 < d ≤ 18														+39	+45		+60	+77	+108	+150
18 < d ≤ 24	-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
24 < d ≤ 30																				+41
30 < d ≤ 40	-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40 < d ≤ 50																				
50 < d ≤ 65	-7	-12		+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
65 < d ≤ 80																				+43
80 < d ≤ 100	-9	-15		+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585	
100 < d ≤ 120																				+54
120 < d ≤ 140	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800	
140 < d ≤ 160									+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900	
160 < d ≤ 180									+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000	
180 < d ≤ 200	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150	
200 < d ≤ 225									+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250	
225 < d ≤ 250									+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350	
250 < d ≤ 280	-16	-26		+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550	
280 < d ≤ 315									+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700	
315 < d ≤ 355	-18	-28		+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900	
355 < d ≤ 400									+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100	
400 < d ≤ 450	-20	-32		+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400	
450 < d ≤ 500									+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600	

Tabla 8. Diferencias fundamentales para ejes de la J a la ZC (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación inferior Ei												
	Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS
Calidad	Todas las calidades												
d ≤ 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	DESVIACIÓN= ±(ITn)/2, donde n es el valor de IT	
3 < d ≤ 6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0		
6 < d ≤ 10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0		
10 < d ≤ 14	290	150	95		50	32		16		6	0		
14 < d ≤ 18													
18 < d ≤ 24	300	160	110		65	40		20		7	0		
24 < d ≤ 30													
30 < d ≤ 40	310	170	120		80	50		25		9	0		
40 < d ≤ 50	320	180	130										
50 < d ≤ 65	340	190	140		100	60		30		10	0		
65 < d ≤ 80	360	200	150										
80 < d ≤ 100	380	220	170		120	72		36		12	0		
100 < d ≤ 120	410	240	180										
120 < d ≤ 140	460	260	200		145	85		43		14	0		
140 < d ≤ 160	520	280	210										
160 < d ≤ 180	580	310	230		170	100		50		15	0		
180 < d ≤ 200	660	340	240										
200 < d ≤ 225	740	380	260		190	110		56		17	0		
225 < d ≤ 250	820	420	280										
250 < d ≤ 280	920	480	300		210	125		62		18	0		
280 < d ≤ 315	1050	540	330										
315 < d ≤ 355	1200	600	360		230	135		68		20	0		
355 < d ≤ 400	1350	680	400										
400 < d ≤ 450	1500	760	440		230	135		68		20	0		
450 < d ≤ 500	1650	840	480										

Tabla 9. Diferencias fundamentales para Agujeros de la A a la JS (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación superior Es																			VALORES DE Δ											
	J				K		M		N		Pa ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	Grados de tolerancia							
Calidad	IT6	IT7	IT8	IT<8	IT>8	IT<8	IT>8	IT<8	IT>8	IT<8	GRADOS DE TOLERANCIA SUPERIORES A IT7																				
d ≤ 3	2	4	6	0	0	-2	-2	-4+Δ	-4	Valores como en los grados de tolerancia superiores a IT7 incrementados en Δ	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0			
3 < d ≤ 6	5	6	10	-1+Δ		-4+Δ	-4	-8+Δ	0		-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6			
6 < d ≤ 10	5	8	12	-1+Δ		-6+Δ	-6	-10+Δ	0		-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7			
10 < d ≤ 14	6	10	15	-1+Δ		-7+Δ	-7	-12+Δ	0		-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9			
14 < d ≤ 18																													-39	-45	
18 < d ≤ 24	8	12	20	-2+Δ		-8+Δ	-8	-15+Δ	0		-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12			
24 < d ≤ 30																													-48	-60	-68
30 < d ≤ 40	10	14	24	-2+Δ		-9+Δ	-9	-17+Δ	0		-26	-34	-43		-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325	1,5	3	4	5	9	14		
40 < d ≤ 50																														-41	-53
50 < d ≤ 65	13	18	28	-2+Δ		-11+Δ	-11	-20+Δ	0		-37	-43	-53		-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690	2	4	5	7	13	19
65 < d ≤ 80																															
80 < d ≤ 100	16	22	34	-3+Δ		-13+Δ	-13	-23+Δ	0		-43	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19			
100 < d ≤ 120																													-65	-100	-134
120 < d ≤ 140	18	26	41	-3+Δ		-15+Δ	-15	-27+Δ	0		-43	-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900	3	4	6	7	15	23			
140 < d ≤ 160																													-68	-108	-146
160 < d ≤ 180									0		-50	-77	-122	-166	-236	-284	-340	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26			
180 < d ≤ 200																													-80	-130	-180
200 < d ≤ 225	22	30	47	-4+Δ		-17+Δ	-17	-31+Δ	0		-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29			
225 < d ≤ 250																													-98	-170	-240
250 < d ≤ 280	25	36	55	-4+Δ		-20+Δ	-20	-34+Δ	0		-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32			
280 < d ≤ 315										-114																			-208	-294	-435
315 < d ≤ 355	29	39	60	-4+Δ		-21+Δ	-21	-37+Δ	0	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34				
355 < d ≤ 400																												-132	-252	-360	-540
400 < d ≤ 450	33	43	66	-5+Δ		-23+Δ	-23	-40+Δ	0	-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34				
450 < d ≤ 500																												-132	-252	-360	-540

Tabla 10. Diferencias fundamentales para Agujeros de la J a la ZC (en micras) (Fuente: ISO 2768).

2.2.2.9 Normativas aplicables

Existentes diferentes normativas aplicables al proceso de mecanizado y podemos dividir las en 3 tipos: las normativas máquina-herramienta, normativas aplicables al fresado y normativas aplicables al torneado:

1/ Normativas máquina-herramienta:

La norma UNE-EN ISO 16090-1:2018 hace referencia a “seguridad de las máquinas herramienta. Centros de mecanizado, centros de fresado, máquinas transfer. Parte 1: Requisitos de seguridad” (Española N. , UNE , 2018).

La norma UNE 15450-1:2000 habla sobre “Máquinas-herramienta. Condiciones de ensayo de centros de mecanizado. Parte 1: Ensayos geométricos de centros de mecanizado con eje principal del cabezal horizontal y con cabezales accesorios (eje Z horizontal)” (Española N. , 2000).

2/ Normativas aplicable al fresado:

La norma UNE-EN ISO 15641:2002 “fresas para mecanizado a alta velocidad. Requisitos de seguridad” (Española N. , UNE, 2002).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

3/ Normativas aplicable al torneado:

La norma UNE -EN ISO 23125:2015 “Máquinas-herramienta. Seguridad. Tornos. (ISO 23125:2015, Versión corregida 2016-03-15)” (Española N. , UNE, 2015)

Estas normas son algunas de las muchas que se deben tener en cuenta cuando se va a llevar a cabo un proceso de mecanizado.

Debido a las exigencias para la buena práctica en los procesos industriales de la Unión Europea, una incorrecta aplicación de una de estas normas podría conllevar una sanción económica y jurídica.

2.2.3 Pulvimetalurgia

2.2.3.1 Introducción histórica

Para poder introducir históricamente la pulvimetalurgia hay que remontarse a la antigua Egipto y a los Incas. Hace varios miles de años, en el 3.500 a.C., los antiguos egipcios y los incas de Sudamérica fueron posibles pioneros en la metalurgia de polvos metálicos. Los egipcios la utilizaban para crear piezas de acero y hierro, mientras que los incas se destacaban en la fabricación de joyas de oro y platino mediante este proceso (Z. A. MUNIR, 2006).

Durante el Siglo XVIII, la metalurgia de polvos experimentó un olvido o un avance lento. Fue en este período cuando comenzaron a surgir los fundamentos y el conocimiento relacionados con las técnicas de sinterización, que son fundamentales en este proceso. Destacaron aplicaciones como la fabricación de monedas y el filamento de tungsteno utilizado en las lámparas incandescentes.

En el siglo XX, experimentó un gran avance gracias a los avances en la ciencia de los materiales y las nuevas aleaciones. Entre las décadas de 1920 y 1950, se produjeron importantes contribuciones científicas en la comprensión de los fenómenos básicos del sinterizado y el transporte de masa. Estas contribuciones sentaron las bases para la investigación y el desarrollo de la pulvimetalurgia. Además, se exploraron nuevos procedimientos que involucraban el uso de corriente eléctrica durante la sinterización, presentando ventajas como temperaturas más bajas, tiempos de sinterización reducidos y mejoras en las propiedades mecánicas debido al tamaño de grano más pequeño (Hillerns, 2007).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

En resumen, la pulvimetalurgia ha evolucionado a lo largo de la historia, desde sus orígenes en el antiguo Egipto y el imperio inca, pasando por un período de desarrollo lento en el siglo XVIII, hasta llegar a un avance significativo en el siglo XX con nuevos conocimientos en la ciencia de los materiales y la aplicación de corriente eléctrica en el proceso de sinterización.

2.2.3.2 Introducción

La pulvimetalurgia (PM) ha sido fundamental en el desarrollo de nuevos materiales y ha permitido importantes avances en el último siglo. Esta técnica ofrece la posibilidad de fabricar piezas de alta calidad con formas complejas y dimensiones cercanas al producto final, gracias a su capacidad para lograr una mayor homogeneidad y control en el tamaño de los granos. Estos factores son esenciales para generar enlaces fuertes entre las partículas y mejorar la dureza y tenacidad de los materiales. La tecnología PM ha alcanzado un nivel de madurez industrial que la posiciona como una herramienta clave en la obtención de materiales avanzados y piezas metálicas de difícil manufactura, con altas tolerancias, excelente calidad y producción en grandes series.

El proceso implica la preparación de aleaciones mediante la mezcla de polvos metálicos secos, a veces combinados con elementos cerámicos o poliméricos. Estos polvos se prensan a alta presión y se calientan a temperaturas cercanas al punto de fusión del metal principal durante el tiempo necesario para que las partículas se enlacen. El resultado es una aleación sólida y homogénea con propiedades especiales. Además de ofrecer un desperdicio reducido, casi nulo de materiales, permite trabajar con combinaciones poco comunes y controlar el grado de porosidad y permeabilidad. Estas características hacen de la pulvimetalurgia un proceso altamente eficiente, productivo y que contribuye al ahorro de energía y materias primas. De esta forma, la tecnología de polvos está reemplazando gradualmente métodos tradicionales como la fundición y la forja en la conformación de piezas metálicas (Villar, 2013).

La versatilidad de la metalurgia de polvos la convierte en una técnica de manufactura ampliamente aplicable en diversos campos como el de la aeronáutica, la automoción, la industria médica o el sector aeroespacial. Incluso en la producción de discos de esmerilar, brocas y herramientas de corte y desbaste, la pulvimetalurgia ha demostrado ser una solución eficaz y confiable. Su constante desarrollo y adopción en diversos sectores demuestran su relevancia en la generación de materiales y componentes de alta calidad para aplicaciones especializadas.

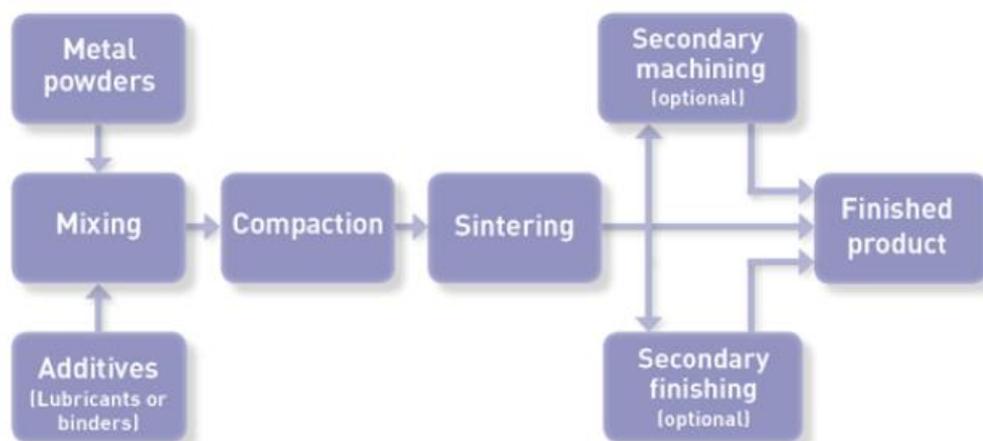
Pedro Guillermo Carbonell Núñez



Figura 22. Engranajes Sinterizados (Fuente: AMES).

2.2.3.3 Fases de la pulvimetalurgia

Cuando se somete el polvo metálico a una presión considerablemente elevada, se desencadena un proceso de aglomeración entre las partículas, incluso a temperatura ambiente. Al calentar la masa compactada, se promueve una mayor cohesión entre las partículas mediante un fenómeno conocido como sinterización. La temperatura utilizada en este proceso supera la temperatura de recrystalización, pero se mantiene por debajo del punto de fusión. No obstante, en algunos casos, esta temperatura puede exceder el punto de fusión de ciertos metales componentes. Como resultado, estos metales se funden y actúan como una matriz aglomerante para las partículas del otro metal presente (Villar, 2013) (Beşteek, 2020).



Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 23. Etapas de la pulvimetalurgia (Fuente: Beşteşek, 2020)

Las etapas principales que conllevan un proceso de pulvimetalurgia son (Eglin, 2003) (IQS Directory, 2022):

- 1- Producción de polvos: Las propiedades de los productos fabricados mediante metalurgia de polvos dependen de las características y propiedades del polvo utilizado. Uno de los procesos más utilizados para producir polvo en metalurgia de polvos es la atomización por fusión. En este proceso, el metal líquido se fragmenta en pequeñas gotas que se enfrían y solidifican en partículas minúsculas (IQS Directory, 2022).

Aunque la atomización es el método más común para producir polvo, existen otros procesos que incluyen reducción química, deposición electrolítica, molienda y descomposición térmica. Independientemente del proceso utilizado, todos los metales y aleaciones pueden convertirse en polvo.

Antes de mezclar y combinar el polvo, se evalúa y se prueba su idoneidad para el proceso de metalurgia de polvos. Se consideran factores como la velocidad de flujo, densidad, compresibilidad y resistencia.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

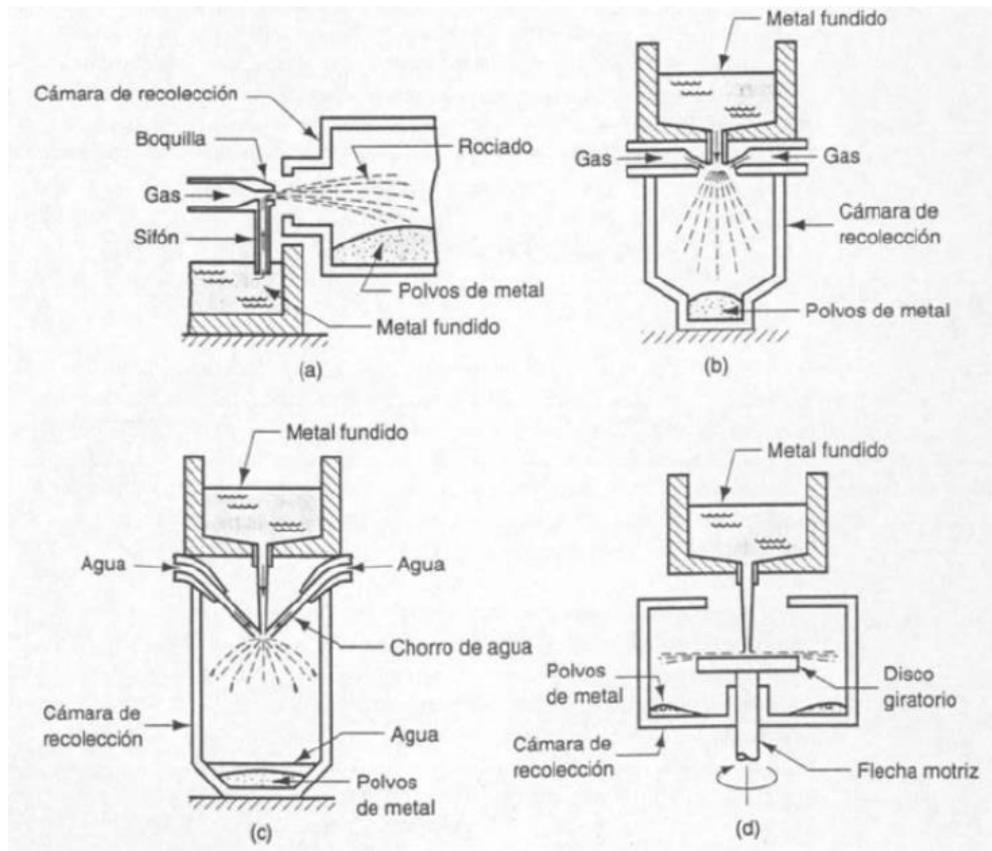


Figura 24. Métodos de atomización (Fuente: Studocu)

- 2- Dosificación y mezcla: En el proceso de mezclado y homogeneización, se combinan diferentes polvos con sus respectivas adiciones, aglutinantes y lubricantes para garantizar que la pieza final tenga las características requeridas. Para ello es necesario mezclar polvos de tamaños y composiciones diferentes (Villar, 2013).

Las cuatro técnicas más comunes de mezclado y homogeneización son el tambor rotativo, el doble cono rotativo, el mezclador de tornillo en el interior de un tambor y el mezclador de cuchillas en el interior de un tambor.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

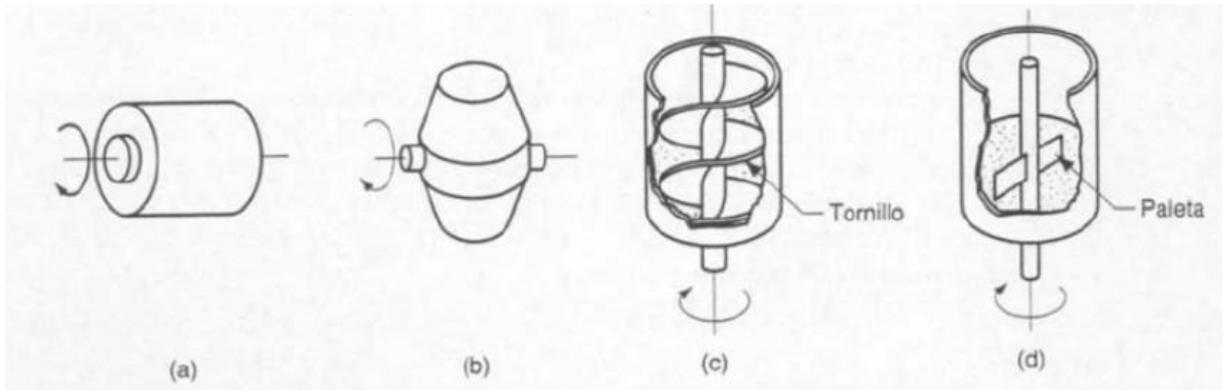


Figura 25. Métodos de mezclado. (a) tambor rotativo (b) Doble cono rotativo (c) Mezclador de tornillo (d) Mezclador de paleta o cuchillas (Fuente: Studocu).

- 3- Compresión / Compactado de polvos: La compresión de polvo metálico permite la conformación deseada del material utilizando diversos métodos (prensado unidireccional o isostático, conformado plástico por extrusión o moldeo por inyección, prensado isostático en frío CIP o prensado isostático en caliente HIP y sinterización) dependiendo del material y de la densidad requerida.

La forma, tamaño y distribución de las partículas, así como una adecuada selección y mezcla, son cruciales para obtener una pieza compactada satisfactoria. Mediante la aplicación de altas presiones, se obtiene un "cuerpo verde" que no ha sido completamente procesado. La densidad en estado verde es mayor que la inicial, especialmente si las partículas son esféricas. Durante el proceso de compactación, se produce una reorganización más eficiente de las partículas, lo que reduce los espacios porosos y aumenta el número de contactos entre las partículas. A medida que la presión aumenta, las partículas se deforman plásticamente, lo que incrementa el área de contacto entre ellas y permite que más partículas entren en contacto, reduciendo aún más el volumen de los poros (Universidad Malacitana, 2020/2021).

Se logra una resistencia adecuada en el estado verde para su manipulación, pero considerablemente menor que la que se obtendrá después del proceso de sinterización. La resistencia en verde es mayor en casos de partículas de tamaños irregulares, ya que se produce un mayor entrelazado entre ellas.

- 4- Sinterizado: Esta etapa del proceso de la pulvimetalurgia será descrita en el próximo subapartado 2.2.4.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Existen diferentes tipos de postprocesos los cuales se llevan a cabo dependiendo de los requerimientos técnicos (por ejemplo, mejora de las tolerancias dimensionales, porosidad de la pieza final, dureza, resistencia) y de acabado de la pieza.

El primero, que se efectúa justo después del sinterizado, es el calibrado de la pieza, y se realiza cuando es necesario re-compactarla para mejorar la precisión dimensional y el estado superficial de la misma. El segundo postproceso es el de la impregnación de la pieza en aceite, que tiene como objetivo el llenado de la porosidad con un aceite lubricante para conferir auto lubricación a la pieza. Por último, dependiendo del acabado y de la rugosidad requerida, se podría realizar un mecanizado para mejorar estos dos aspectos de la pieza final (Morales, 2020) .

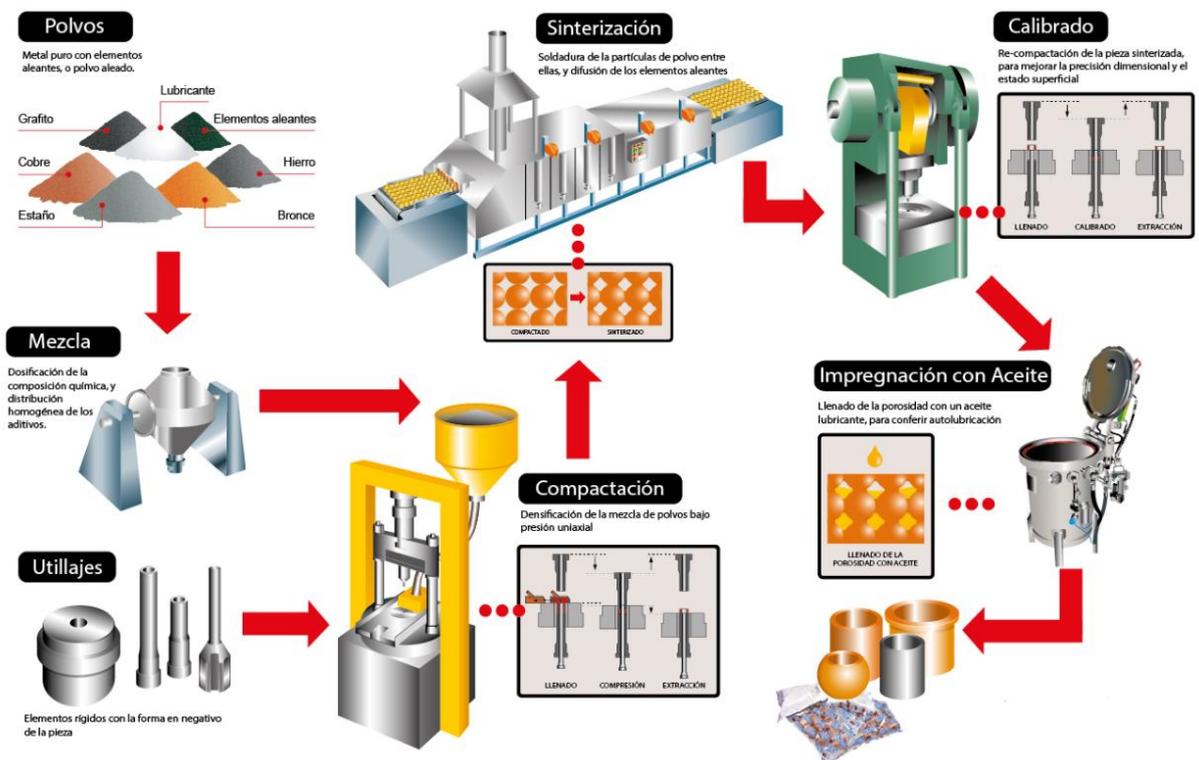


Figura 26. Fases de la pulvimetalurgia/sinterizado de una pieza (Fuente: Selfoil.com)

Asimismo, existen operaciones complementarias (no forman parte del proceso pulvimetalúrgico, son operaciones independientes complementarias) que, dependiendo de los requerimientos técnicos finales de la pieza, se deben llevar a cabo o no. Estas operaciones complementarias están recogidas en la tabla siguiente (Höganäs, 2015):

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Operation		Purpose
Heat-treatment	Through hardening: austenitizing, quenching, tempering	+ improve cross-sectional hardness and strength
	Precipitation hardening	+ see above
	Case hardening: - carburizing - carbonitriding - nitriding - plasma nitriding - nitrocarbonizing - induction hardening	+ improve surface hardness
	Annealing/Tempering	+ eliminate internal stresses
Infiltration and impregnation	Infiltration - with metals	+ increase density and properties + make parts pressure-tight
	Impregnation - with polymers	+ make parts impermeable to gases and fluids
	Impregnation - with oil	+ give parts self-lubricating properties
Machining and other operations	Machining	+ provide parts with threads, undercuts and transverse holes
	Deburring and Cleaning: - barreling - vibratory deburring - abrasive blasting - ultrasonic bath - electrolytic alkaline	+ remove burrs + clean parts from shop soil, grease and other contamination
	Joining: - brazing - welding - other methods	+ join different sintered parts together to achieve component of more complex shape
	Peening and Plating: - shot peening - surface rolling - peen plating - electroplating	+ hardens surface and improves fatigue strength + improve parts' appearance and corrosion resistance
	Corrosion Protection: - Steam treatment - Phosphatizing	+ improve parts' corrosion- and wear- resistance

Tabla 11. Operaciones complementarias a la pulvimetalurgia (Fuente: Höganäs, 2015)

2.2.3.4 Aplicaciones

Las piezas obtenidas mediante el conformado de polvo (pulvimetalurgia) tienen aplicaciones diversas. El sector de la automoción es por excelencia, el que más hace uso de este proceso, esto es debido a la capacidad de producir piezas complejas para lotes grandes evitando la pérdida de material que tienen los procesos de fabricación tradicionales. La fabricación de piezas sin residuos ni desechos (se calcula

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

que solo un 3% de material es desechado en un proceso pulvimetalúrgico) aumenta exponencialmente la rentabilidad de una producción, además, la precisión geométrica que nos da este proceso permite ahorrar procesos de acabado o mecanizado.

A continuación, se expone una tabla con algunos ejemplos de uso, dependiendo de la industria que se hace referencia (IQS Directory, 2022):

INDUSTRIA	EJEMPLOS DE USO
Automoción	Válvulas, engranajes, varillas, cojinetes, bielas, piñones, levas, pistones.
Aeronáutica y Aeroespacial	Discos de superaleación, componentes de fuselajes, escudos térmicos, Disco de turbina de motor a reacción
Agricultura	Equipos de jardín, cobertores de semillas
Eléctrica	Conductores, conectores
Médica y Dental	Implantes quirúrgicos, instrumentos médicos
Manufactura	Herramientas, moldes, maquinaria industrial
Nuclear	Filtros, reflectores, escudos, válvulas, colectores

Tabla 12. Aplicaciones de la pulvimetalurgia (Fuente: Propia).

2.2.3.5 Ventajas y desventajas

Como todo proceso de fabricación existen ventajas y limitaciones cuando se lleva a cabo una producción. Para poder estudiar la viabilidad tanto técnica como económica de la producción mediante este proceso hay que tener en cuenta estos dos aspectos y hacer comparativas con otros procesos para encontrar el proceso con el que mas se pueda optimizar la fabricación.

Las ventajas y las limitaciones de este tipo de proceso se recogen en la tabla siguiente:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

VENTAJAS	LIMITACIONES
Precisión geométrica, permite eliminar la necesidad de operaciones extras de acabado y mecanizado	Equipos, herramientas y matrices con costes elevados. Es necesario que la pieza tenga un volumen alto para poder rentabilizar la inversión
No existe casi desperdicio, únicamente se desecha el 3% del material inicial	Los polvos tienen un coste elevado y es difícil almacenarlos
La fabricación de carburos sinterizados, cojinetes porosos y bimetálicos de capas moldeadas, sólo se puede producir mediante el proceso de pulvimetalurgia	El mantenimiento de las matrices de compactado implica un elevado coste
Se pueden obtener piezas de alta pureza debido a la calidad y pureza de los polvos producidos	Existen geometrías imposibles de alcanzar debido a la dificultad de fluencia del material
Se consigue fabricar piezas con temperaturas menores que en otros procesos como por ejemplo la forja	En ocasiones, existen piezas que se pueden producir más económicamente mediante otros procesos de fabricación
Es posible el control de la porosidad de la pieza final gracias a recubrimientos y lubricantes	Las producciones están limitadas a piezas con tamaños reducidos
Los procesos pueden hacerse totalmente automatizados, evitando errores humanos	
Debido al mínimo desperdicio de material y a la reducción en la temperatura de producción, se reduce considerablemente el impacto ambiental	
Permite obtener tolerancias dimensionales elevadas	

Tabla 13. Ventajas y limitaciones de los procesos pulvimetalúrgicos (Fuente: Propia).

2.2.4 Sinterizado

2.2.4.1 Introducción

Existen dos elementos fundamentales que resultan indispensables para la fabricación de un componente sinterizado: un polvo metálico y un utillaje. Para ello, se necesita hacer uso de un proceso previo pulvimetalúrgico para la preparación del polvo y el compactado del mismo antes de la sinterización. La sinterización de

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

materiales metálicos y los fenómenos relacionados se agrupan colectivamente bajo el título de metalurgia de polvos o pulvimetalurgia

El proceso de sinterización consiste en transformar un polvo en un cuerpo sólido mediante la aplicación de calor. La idea detrás de la sinterización es unir partículas sin fundirlas. Por lo tanto, la sinterización es un tratamiento térmico aplicado al compacto de polvo con el fin de impartirle resistencia e integridad. La temperatura utilizada para la sinterización se mantiene por debajo del punto de fusión del componente principal del polvo (Derlet, 2017).

La sinterización puede ocurrir en presencia o ausencia de una fase líquida. En el primer caso, se denomina sinterización en fase líquida, donde se eligen composiciones y temperaturas de cocción de manera que se forme algún líquido durante el proceso (un líquido puede formarse cuando un componente está expuesto a una temperatura más alta que su punto de fusión), como se muestra esquemáticamente en la figura 26a. En ausencia de una fase líquida, el proceso se conoce como sinterización en estado sólido figura 26b (Mustafa, 2021).

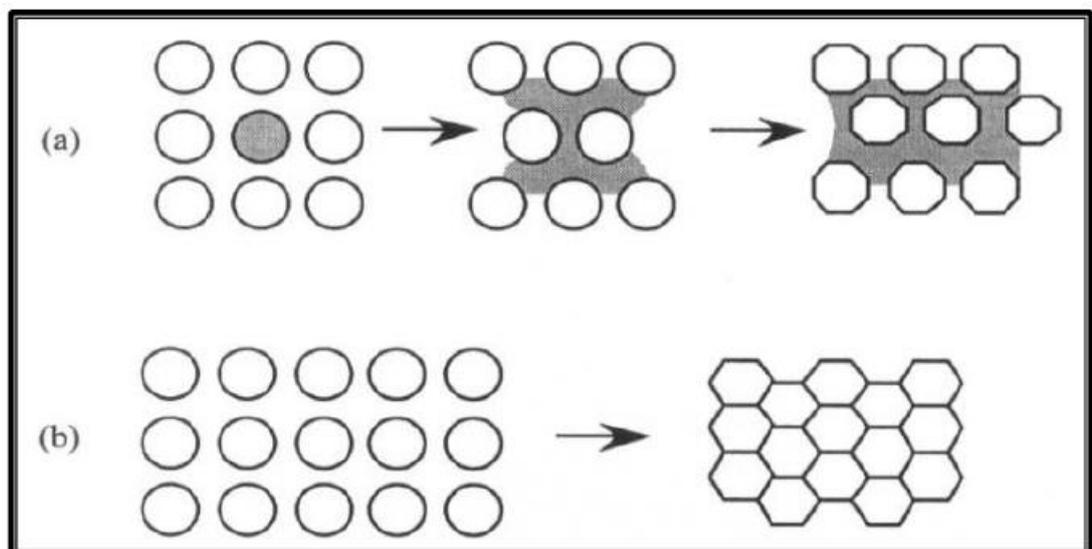


Figura 27. Tipos de sinterizado. (a) fase líquida (b) fase sólida (Fuente: Mustafa,2021)

Se ha observado que la sinterización resulta eficaz al reducir la porosidad y mejorar las propiedades del material. Durante el proceso de sinterización, los átomos presentes en los materiales se difunden a través de los límites de las partículas, fusionándose y generando una estructura sólida cohesionada. Este proceso se inicia con la formación de conexiones entre los polvos, conocidas como cuellos, y culmina con la eliminación final de pequeños poros al término del proceso, tal como se ilustra en la figura 27 y en la figura 28 a nivel atómico (Menad, 2013).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

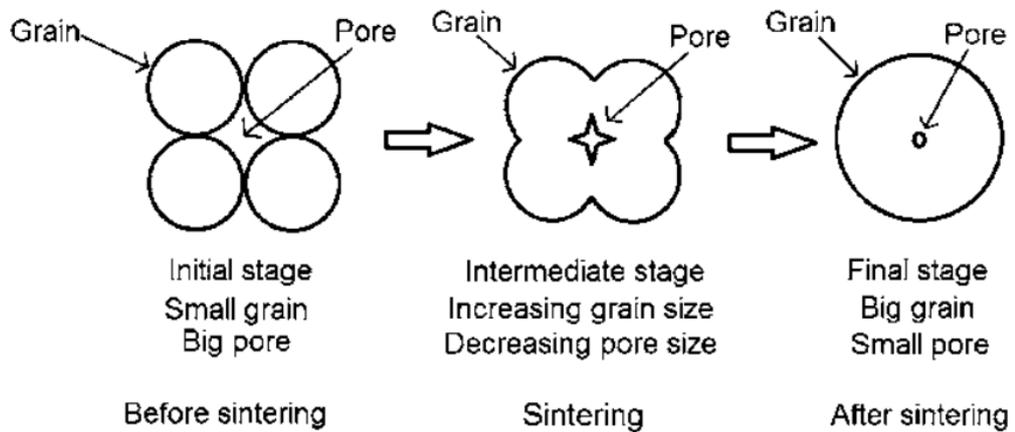


Figura 28. Proceso de sinterización a nivel atómico (Fuente: ResearchGate)

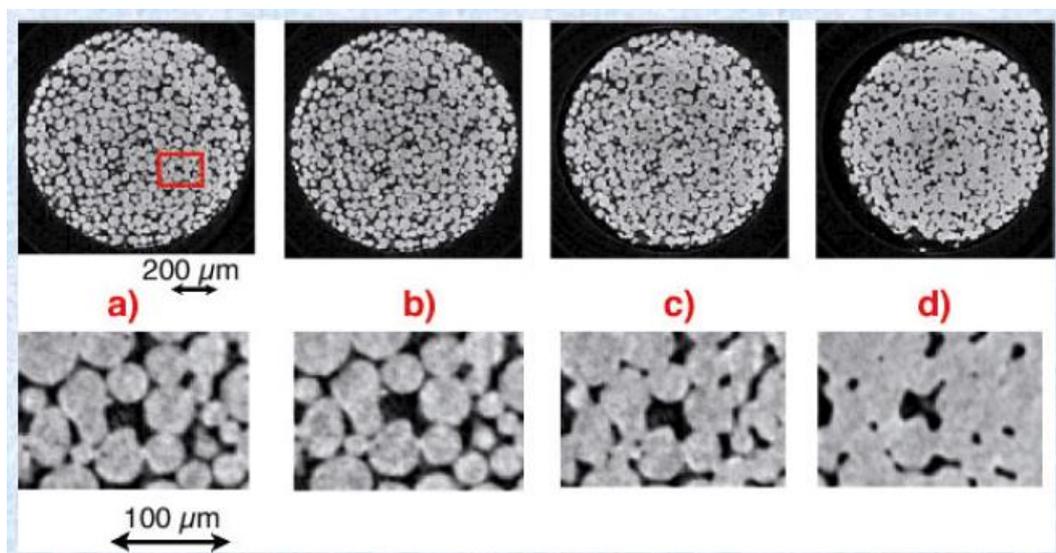


Figura 29. Partículas del material Cu en diferentes etapas del proceso de sinterización (a) Antes del sinterizado (b) Después de un sinterizado a 1000°C (c) Después de un sinterizado a 1050°C (d) Después de un sinterizado a 1150°C (Fuente: Menad,2013)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

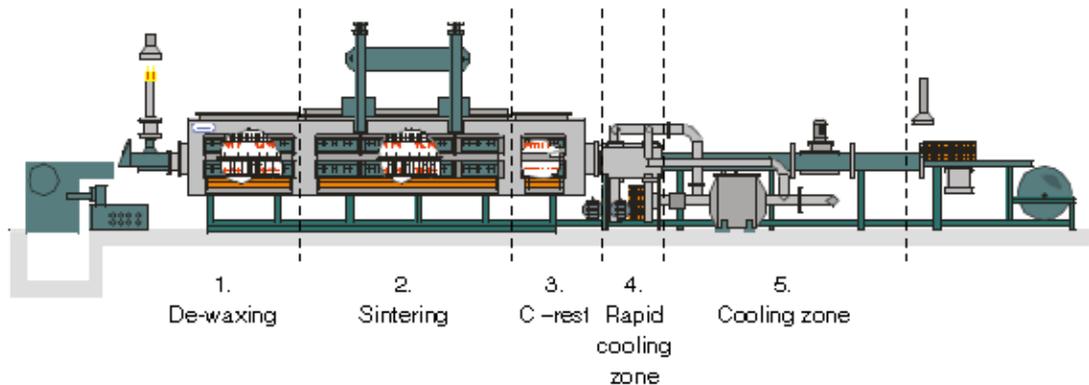


Figura 30. Máquina de sinterizado (Fuente: Cremer Thermoprozessanlagen GmbH)

2.2.4.2 Tipos de sinterizado

Dependiendo de la temperatura de sinterizado y del punto de fusión de los polvos utilizados (componentes), podemos dividir el proceso de sinterización en dos tipos:

- La sinterización en fase líquida (Liquid phase sintering, LPS), ocurre cuando los componentes y la temperatura del proceso permiten la aparición de una fase líquida debido a la fusión de una parte del polvo metálico.

La formación de la fase líquida en sistemas de mezcla de polvos con composiciones químicas distintas se promueve habitualmente mediante dos métodos: la adición de un componente con un punto de fusión inferior al del componente principal, o bien a través de una reacción eutéctica entre los componentes. Dependiendo de la solubilidad de las fases presentes, se generará una fase líquida que puede ser de carácter permanente o transitorio. Durante el proceso de sinterización, la composición de esta fase líquida cambiará y se consumirá mediante la formación de una solución sólida en el material sólido (German, 1985) (Tahar Laoui, 2002).

Esta fase líquida, tiene como principal ventaja la activación de la sinterización, debido a que el transporte de masa es notablemente más rápido que en fase sólida. Por otro lado, permite la disminución de la fricción entre las partículas sólidas, lo que resulta en una reorganización de las mismas, esto, en última instancia, facilita una rápida densificación y la eliminación de la porosidad. Asimismo, la fase líquida acelera el cambio en la microestructura de la pieza y

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

permite la obtención de propiedades específicas en los límites de grano (Salamarkesa, 2016).

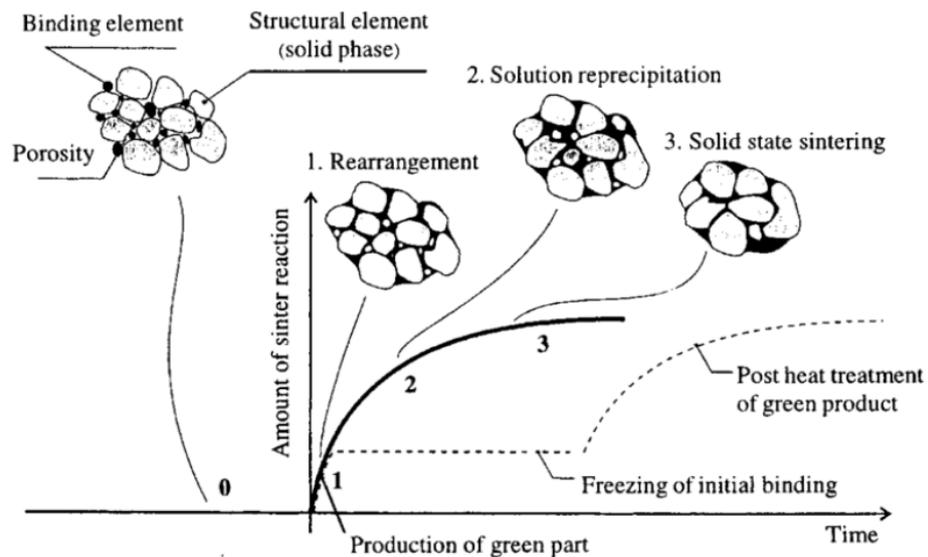
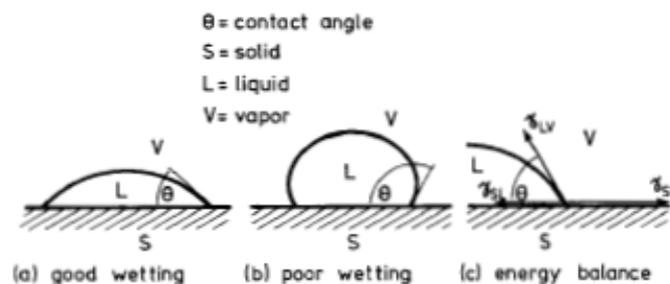


Figura 31. Etapas principales de la sinterización con fase líquida (Fuente: Tahar Laoui, 2002).

El grado en que estas mejoras se alcanzan durante el proceso de sinterización en fase líquida, depende de numerosos factores y variables de los cuales destacan los siguientes (Savitskii, 1999):

- 1- Grado de reacción entre las fases.
- 2- Buena mojabilidad de la fase líquida, es decir, la capacidad del líquido generado de extenderse y adherirse al sólido, esto depende de una baja energía superficial sólido-líquido en comparación con las de sólido-vapor y líquido-vapor (Burdon, 1949).



Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 32. Equilibrio sólido-líquido-vapor para una buena humectación/mojabilidad (Fuente: German, 1985)

- 3- La solubilidad entre fases. La fase líquida se adhiere al sólido y se distribuye en su superficie, permitiendo su penetración entre las partículas sólidas y disolviendo parcialmente las mismas. Esto favorece la formación de una estructura en la que las partículas sólidas quedan perfectamente recubiertas por el líquido (Tecnun, 2019). A partir de este punto, se desencadenan simultáneamente una serie de mecanismos que contribuyen a la densificación de la estructura (Randall M. German, 2008).

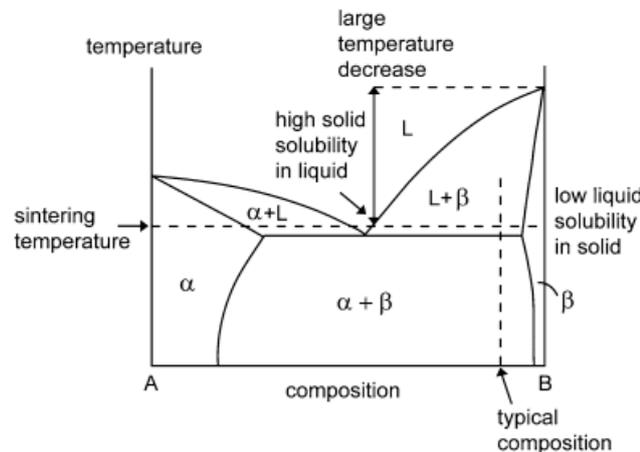


Figura 33. Solubilidad en LPS con presencia de líquido eutéctico (Fuente: Randall M. German, 2008).

Debido a los numerosos factores que entran en juego en la sinterización con fase líquida, el control del progreso y el grado de densificación de la estructura se dificulta. Si estos factores no se controlan, pueden aparecer contracciones excesivas o dilataciones pronunciadas, así como la formación de porosidad, lo que representa un riesgo para la estabilidad dimensional de los componentes sinterizados. De hecho, el análisis de los parámetros que influyen en el control dimensional de los aceros sinterizados con fase líquida es un área de investigación destacada en la actualidad.

En el proceso de sinterización con presencia de fase líquida, se distinguen 3 etapas principales:

- 1- En la etapa inicial de la sinterización, el líquido ejerce fuerzas capilares que provocan una rápida densificación. El reordenamiento de las partículas se favorece con un líquido de buena mojabilidad. De manera similar, la

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

capacidad de reordenamiento de las partículas está determinada por la morfología, el tamaño y la densidad de las partículas. Conforme avanza este reordenamiento, la viscosidad aumenta y la velocidad de densificación disminuye (Quejido, 2014).

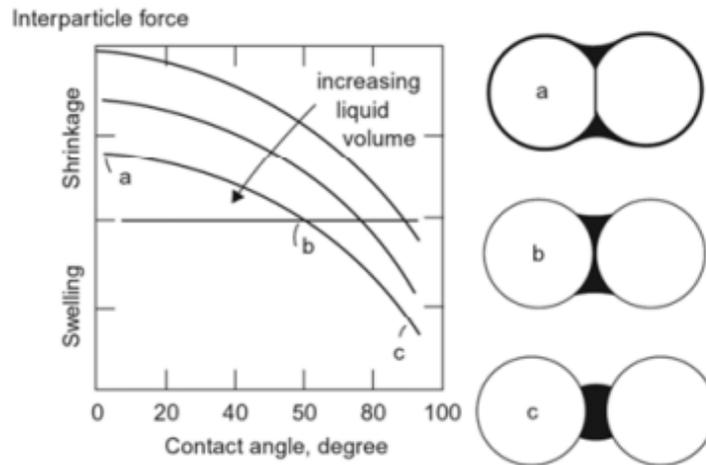


Figura 34. Relación entre la mojabilidad y capacidad de densificación (a) excelente mojabilidad (b) mojabilidad intermedia (c) falta de mojabilidad (Fuente: Quejido, 2014).

- 2- La etapa en cuestión se distingue principalmente por la alteración de la morfología y el tamaño de las partículas sólidas, impulsada por tres mecanismos de transporte de masa. Estos mecanismos son la disolución, la difusión y la precipitación. Durante este proceso, las partículas experimentan cambios en su estructura y distribución de masa, lo que contribuye a la evolución de la composición y propiedades del material sinterizado (Randall M. German, 2008).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

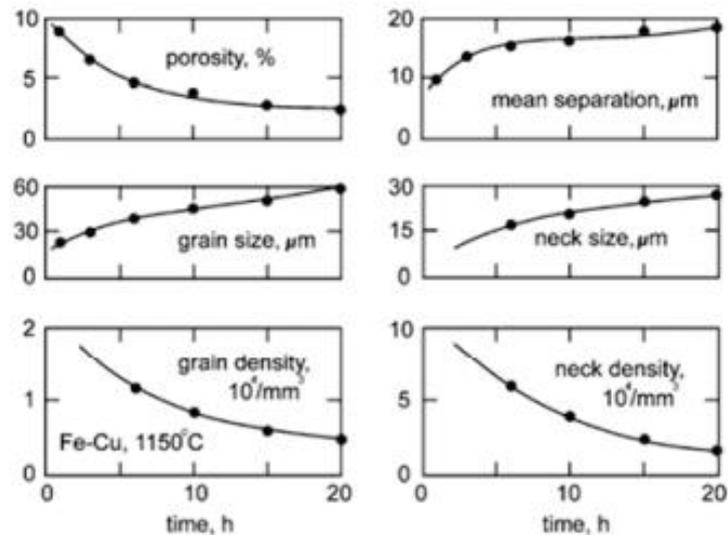


Figura 35. Cambios durante la etapa de solución-precipitación del Fe-20%Cu sinterizado a 1150 °C (Fuente: Randall M. German, 2008).

- 3- En la etapa final, el sistema se caracteriza por tener un esqueleto sólido y rígido, junto con la presencia de poros aislados. Durante esta etapa, la microestructura tiende a alcanzar el estado de energía mínima. Los mecanismos de difusión en estado sólido desempeñan un papel crucial al promover el crecimiento de grano y la eliminación de la porosidad, llevando así al proceso de densificación final. Estos mecanismos permiten la redistribución de los átomos y la transformación de la estructura, lo que contribuye a mejorar las propiedades y la integridad del material sinterizado (Quejido, 2014) .
- La sinterización en estado sólido es un proceso mediante el cual se logra la unión de polvos al calentarlos a una temperatura cercana a su punto de fusión. Esta elevada temperatura proporciona la energía necesaria para que los átomos difundan a través del volumen, la superficie, y por evaporación y condensación. La difusión resultante crea conexiones o "cuellos" entre las partículas, formando enlaces metálicos sólidos que incrementan la resistencia de la pieza. Este proceso ofrece diversas ventajas en comparación con la fundición tradicional, como la capacidad de producir piezas de alta complejidad a temperaturas más bajas, una mayor vida útil de los moldes y una reducción de costos. Estas ventajas hacen de la sinterización en estado sólido una opción atractiva para la fabricación de componentes en masa (José S. Moya, 2003). La fuerza motriz para que se lleva a cabo el proceso de sinterización es posible debido a la reducción de la energía total del sistema, esta puede ser definida mediante la ecuación siguiente (María Dolores Salvador Moya, 2018):

$$\Delta(\gamma A) = (\Delta\gamma)A + \gamma(\Delta A)$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

donde,

γ es la energía superficial

A es el área superficial

$\Delta(\gamma A)$ se corresponde al cambio de energía debido a la densificación

$\gamma(\Delta A)$ se corresponde con el cambio de energía resultante del crecimiento y unión de granos

Según el punto de vista termodinámico, la sinterización es un proceso térmicamente activado en el cual un sistema particulado, con una composición química determinada, reduce su energía libre total al disminuir la relación entre las áreas interfaciales sólido-vapor y sólido-sólido en equilibrio. El cambio en la energía libre del sistema, debido a las variaciones en las superficies interfaciales, se puede expresar mediante la siguiente fórmula (C. Baudin, 1983):

$$\delta G_{sit} = \delta \int \gamma_{SV} dA_{SV} + \delta \int \gamma_{SS} dA_{SS}$$

donde,

A_{SV} y A_{SS} son las áreas de las superficies interfaciales sólido-vapor y sólido-sólido

γ_{SV} y γ_{SS} las tensiones superficiales de estas superficies

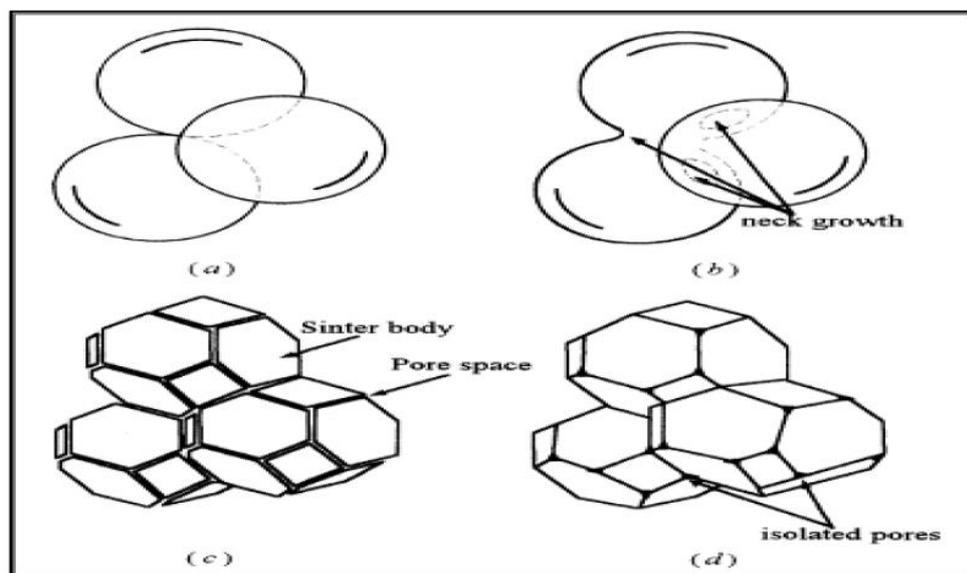


Figura 36. Etapas de la sinterización en estado sólido (Fuente: Mustafa, 2021).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

En la sinterización en estado sólido, existen dos mecanismos que pueden provocar el crecimiento de los granos, estos mecanismos son la densificación de crecimiento de grano y el engrosamiento de las partículas (María Dolores Salvador Moya, 2018):

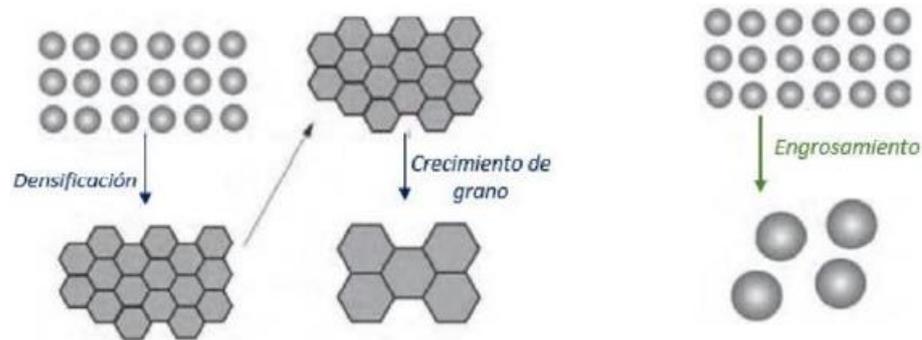


Figura 37. Mecanismos que permiten la disminución de la energía (Fuente: María Dolores Salvador Moya, 2018).

Si un compacto formado por partículas de una sola fase cristalina es expuesto a temperaturas suficientemente altas que permiten la ocurrencia de diversos mecanismos de transporte de masa, a lo largo de un período prolongado, se observará una transformación significativa en la estructura del material. En un principio, el compacto exhibirá una combinación de una red sólida y una fase de poros interconectados. A medida que progresa el proceso de sinterización, la fase porosa se tornará discontinua y finalmente desaparecerá por completo. En este punto, se habrá eliminado toda la interfaz entre el sólido y el vapor, logrando así que el compacto alcance su densidad teórica correspondiente sin dejar ningún rastro de porosidad residual. El transporte de masa tiene diferentes mecanismos principales tales como (C. Baudin, 1983) (John E. Blendell, 2021) :

- 1- Evaporación – condensación (camino 1 (a)).
- 2- Difusión superficial (camino 2 (a)).
- 3- Difusión volumétrica (camino 3 (a)) en el caso que la materia sea transferida de la superficie al área del cuello.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

4- Difusión volumétrica (camino 5 (b)) en el caso que la materia sea transferida del área del borde de grano al área del cuello.

5- Difusión en borde de grano (camino 4 (b)).

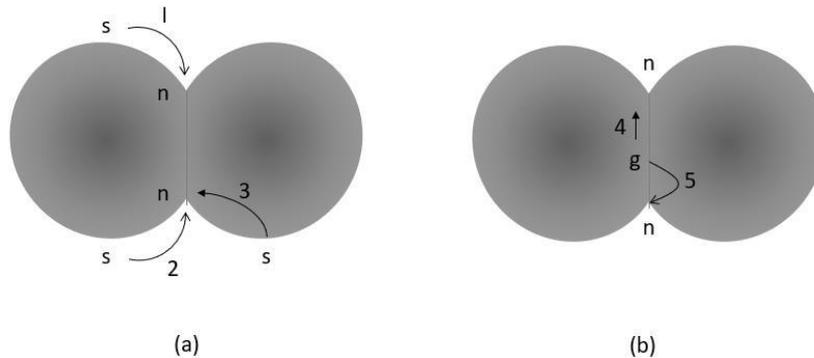


Figura 38. Esquema de los mecanismos de transporte (Fuente: María Dolores Salvador Moya, 2018).

2.2.4.3 Diferentes procesos de sinterizado

Existen diferentes tipos de sinterizado para llevar a cabo la producción de una pieza. La decisión de cual usar en un proceso de fabricación depende de las características requeridas por la pieza final y de la aplicación. Pueden clasificarse en métodos convencionales y no convencionales o por tipo de aplicación, es decir, si se aplica presión o no en el proceso.

En la tabla siguiente, se exponen los tipos de sinterizado existentes, los cuales se dividen en 2 subgrupos principales dependiendo de si se aplica presión o no durante el proceso (All about sintering, 2022):

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

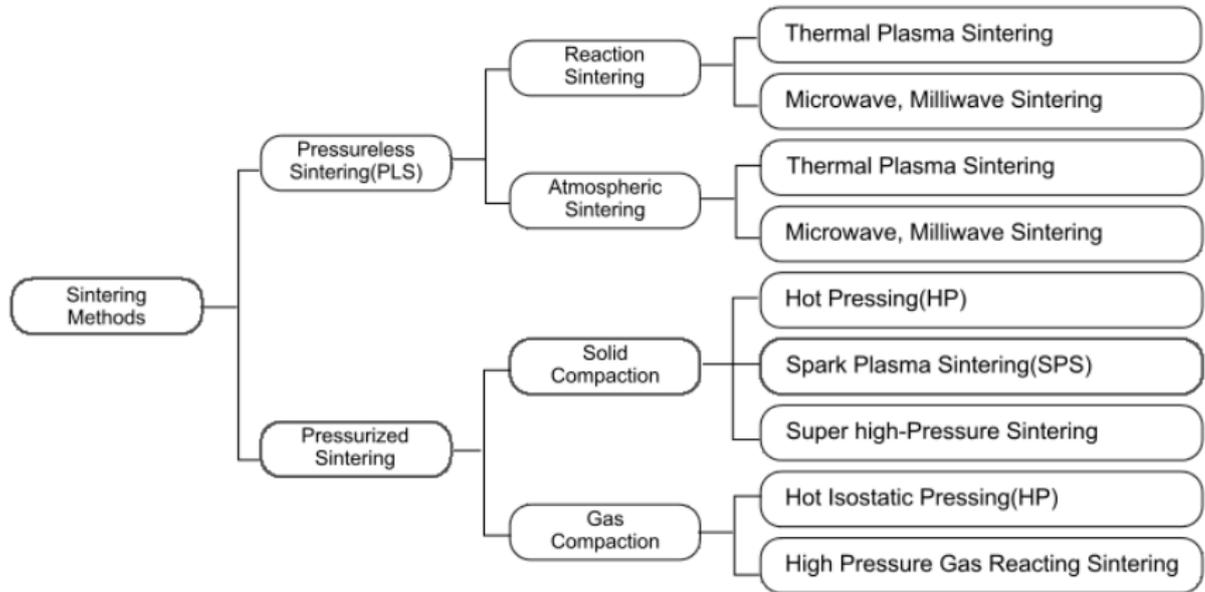


Figura 39. Taxonomía de los procesos de sinterización (Fuente: All about sintering, 2022).

Los métodos convencionales de sinterización se refieren a las técnicas tradicionales ampliamente utilizadas para el proceso de sinterizado. Estos métodos se basan en principios establecidos y se han desarrollado durante mucho tiempo en la industria y la investigación. Este método incluye la sinterización por presión, en horno, por fase líquida y por fase sólida.

Los métodos no convencionales de sinterización se refieren a técnicas alternativas o innovadoras utilizadas en el proceso de sinterización, que difieren de los enfoques tradicionales ampliamente establecidos. Algunos ejemplos de métodos no convencionales de sinterización incluyen la sinterización por microondas, la sinterización por chispa eléctrica, la sinterización por plasma, la sinterización por láser y la sinterización por campos magnéticos pulsados.

2.2.4.4 Variables principales del proceso

Es importante tener en cuenta las variables y parámetros principales del proceso de sinterización para poder optimizar todo lo posible, el tiempo de producción y el gasto en materia prima, y de esta manera, reducir el coste de fabricación y el impacto ambiental que esto conlleva. Pese a estar reduciendo drásticamente con el proceso de fabricación mediante sinterización, el impacto ambiental de la producción, siempre hay que intentar optimizar al máximo el gasto en materia prima, energía y tiempo de producción.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Para ello, se deben tener en cuenta los parámetros principales expuestos a continuación para un proceso de sinterización (Höganäs, 2013) (Zavadiuk S., 2020) :

Temperatura y tiempo: A mayor temperatura de sinterización, se requiere menos tiempo de sinterización para lograr el grado deseado de unión entre las partículas de polvo en un compacto de polvo (especificado, por ejemplo, en términos de resistencia mecánica).

Desde el punto de vista de la eficiencia en la producción, sería preferible contar con tiempos de sinterización más cortos; sin embargo, las temperaturas de sinterización más altas son menos económicas debido a los mayores costos de mantenimiento del horno de sinterización y de la energía consumida. En la metalurgia de polvo de hierro, las condiciones de sinterización comunes son: 15 - 60 minutos a 1120 - 1150°C.

Estructura geométrica de las partículas de polvo: Bajo condiciones de sinterización determinadas, los polvos compuestos por partículas finas o partículas con alta porosidad interna se sinterizan más rápidamente que los polvos compuestos por partículas compactas y gruesas. Una vez más, nos encontramos con un dilema: los polvos finos suelen ser más difíciles de compactar que los polvos gruesos, y los compactos fabricados a partir de polvos finos se contraen más durante la sinterización en comparación con los compactos fabricados a partir de polvos gruesos.

Composición de la mezcla de polvos: Los componentes de las mezclas de polvo se seleccionan con el objetivo de lograr propiedades físicas deseadas y controlar los cambios dimensionales durante la sinterización. Cuando se sinterizan mezclas de dos o más metales diferentes en polvo (por ejemplo, hierro, níquel y molibdeno), ocurre una aleación entre los componentes simultáneamente con el proceso de unión.

A temperaturas comunes de sinterización (1120 - 1150°C), los procesos de aleación son lentos (excepto entre el hierro y el carbono) y no se logra una homogeneización completa de los elementos metálicos de aleación. Si la mezcla de polvo contiene un componente que forma una fase líquida a la temperatura de sinterización (por ejemplo, cobre en mezclas de polvo de hierro), tanto la unión entre partículas como los procesos de aleación se aceleran.

Densidad del polvo compactado: Cuanto mayor sea la densidad de un compacto de polvo, mayor será el área total de contacto entre las partículas de polvo y más eficientes serán los procesos de unión y aleación durante la sinterización. Además, estos procesos se ven potenciados por las perturbaciones en la red cristalina de las partículas causadas por la deformación plástica durante la compactación.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Composición de la atmósfera protectora en el horno de sinterización: La atmósfera protectora debe cumplir varias funciones durante la sinterización, las cuales en algunos aspectos son contradictorias. Por un lado, las atmósferas de sinterización deben proteger los polvos compactos de la oxidación durante la sinterización y reducir los óxidos superficiales residuales para mejorar el contacto metálico entre las partículas de polvo adyacentes; por otro lado, debe prevenir la descarbonización de materiales que contienen carbono y, viceversa, evitar la carbonización de materiales libres de carbono.

Esto ilustra el problema de elegir la atmósfera adecuada para cada tipo particular de productos sinterizados. En la metalurgia de polvo de hierro, las siguientes atmósferas de sinterización son comunes:

- Tipo reductor-descarburante: hidrógeno (H₂), amoníaco craqueado (75% H₂, 25% N₂).
- Tipo reductor-carburante: endogas (32% H₂, 23% CO, 0-0.2% CO₂, 0-0.5% CH₄, balance N₂).
- Tipo neutro: nitrógeno criogénico (N₂), si es deseable con pequeñas adiciones de H₂ (para eliminar óxidos residuales) o de metano o propano (para restaurar las pérdidas de carbono).

2.2.4.5 Limitaciones de diseño

Además de las variables que se tienen que tener en cuenta para poder controlar correctamente el proceso de fabricación, hay que considerar las siguientes limitaciones dimensionales para poder llevar a cabo la producción de piezas por sinterización.

Cuando se diseña una pieza para su fabricación mediante sinterizado, se tienen que tener en cuenta ciertas reglas básicas para reducir al mínimo posible los postprocesos a llevar a cabo en las últimas etapas de fabricación, de esta manera se abaratan costes, se reduce el uso de la energía y el impacto medioambiental de la producción. Para ello, se expondrán a continuación ciertas geometrías a evitar y las tolerancias dimensionales típicas, que se pueden alcanzar por sinterizado.

En general, se debe buscar un diseño que permita la compactación de los polvos de manera uniforme, que evite paredes muy delgadas o agujeros de diámetro pequeño,

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

que tenga radios de acuerdo para la mejora del flujo del polvo y ángulos de salida en los extremos de la pieza (Universidad del País Vasco, 2021). Las formas recomendadas teniendo en cuenta estos 4 importantes condicionantes son (AMES, 2018) (MFS SINTERING):

- 1- **Utillaje robusto:** La forma de la pieza debe ser diseñada de tal manera que los utillajes utilizados para la compactación sean robustos y no sufran daños durante la operación. Los principios fundamentales a tener en cuenta son los siguientes:
 - Se deben evitar las formas cilíndricas perpendiculares a la dirección de prensado.
 - Es importante evitar transiciones tangenciales abruptas en el utillaje, así como formas frontales que terminen en secciones muy delgadas, similares a una punta de cuchillo.
 - Se deben evitar espesores de pared demasiado delgados (< 1,5 mm) en los punzones, así como entrantes pronunciados y de sección estrecha.
 - Es recomendable evitar agujeros frontales con un diámetro inferior a 1,5 mm, así como agujeros ciegos excesivamente estrechos.
 - Para los bordes frontales, se recomienda utilizar chaflanes con una zona plana final y/o zonas cilíndricas con una altura de 0,5 mm.

- 2- **Expulsabilidad:** La geometría de la pieza debe ser diseñada de manera que sea fácilmente expulsable del utillaje de compactación y/o calibrado. Los principios fundamentales a tener en cuenta son los siguientes:
 - Se deben evitar figuras que dificulten la expulsión del componente de la matriz, como ranuras o agujeros laterales, cambios bruscos de sección en el diámetro, grafilados, entre otros.
 - Se deben incluir ángulos de desmoldeo superiores a 7°, aunque en casos particulares pueden ser más pequeños.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- 3- **Espesor de pared mínimo:** El espesor de la pared de la cavidad de llenado del utillaje de compactación debe ser adecuado para permitir que las partículas de polvo penetren y llenen la cavidad de manera eficiente. En términos generales, se requieren espesores de pared mínimos superiores a 1,5 mm, aunque en situaciones particulares es posible lograr espesores de hasta 0,8 mm.

- 4- **Integridad dimensional de la pieza compactada:** La pieza compactada debe presentar la suficiente resistencia mecánica para ser manipulada durante el proceso sin comprometer su integridad, y para prevenir la aparición de defectos internos debido a la expulsión o manipulación. Los principios fundamentales a tener en cuenta son los siguientes:
 - Es recomendable trabajar con espesores de pared mínimos superiores a 1,5 mm, aunque en casos específicos es factible lograr espesores de hasta 0,8 mm.

 - Las valonas, en general, deben tener un espesor superior a 2 mm, aunque en situaciones particulares pueden ser más delgadas. La relación entre el espesor y la anchura de la valona no debe superar el valor de 5.

 - Se deben agregar radios en todo el contorno del utillaje y evitar terminaciones con aristas vivas.

 - Se debe procurar finalizar los contornos frontales con chaflanes que incluyan una zona plana.

2.2.4.6 Precisión dimensional.

Las piezas fabricadas mediante metalurgia de polvos/sinterizadas son competitivas en términos de costos principalmente debido a su capacidad para producir formas complejas a precios económicos. Sin embargo, al igual que cualquier otro proceso de producción en masa, los mecanizados adicionales solo se pueden evitar si los requisitos de la aplicación se pueden cumplir dentro de las tolerancias y limitaciones de forma inherentes al ciclo de fabricación (MFS SINTERING).

Aunque es posible obtener utillajes de prensado con un alto nivel de tolerancia, tanto la operación de prensado como el subsiguiente proceso de sinterización están controlados por mecanismos complicados. Cada etapa introduce cambios que afectan las dimensiones y restringen las tolerancias de la pieza final. Las dimensiones creadas

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

en dirección transversal a la presión no alcanzan la misma precisión que aquellas dimensiones que son paralelas al eje de la presión (Höganäs, 2015).

Las dimensiones principales alcanzables se recogen en las tablas siguientes, para poder estudiar estas tolerancias de calidad IT, hay que volver a las tablas expuestas según norma DIN ISO 2768 en el apartado de mecanizado (Tablas 6, 7, 8, 9 y 10).

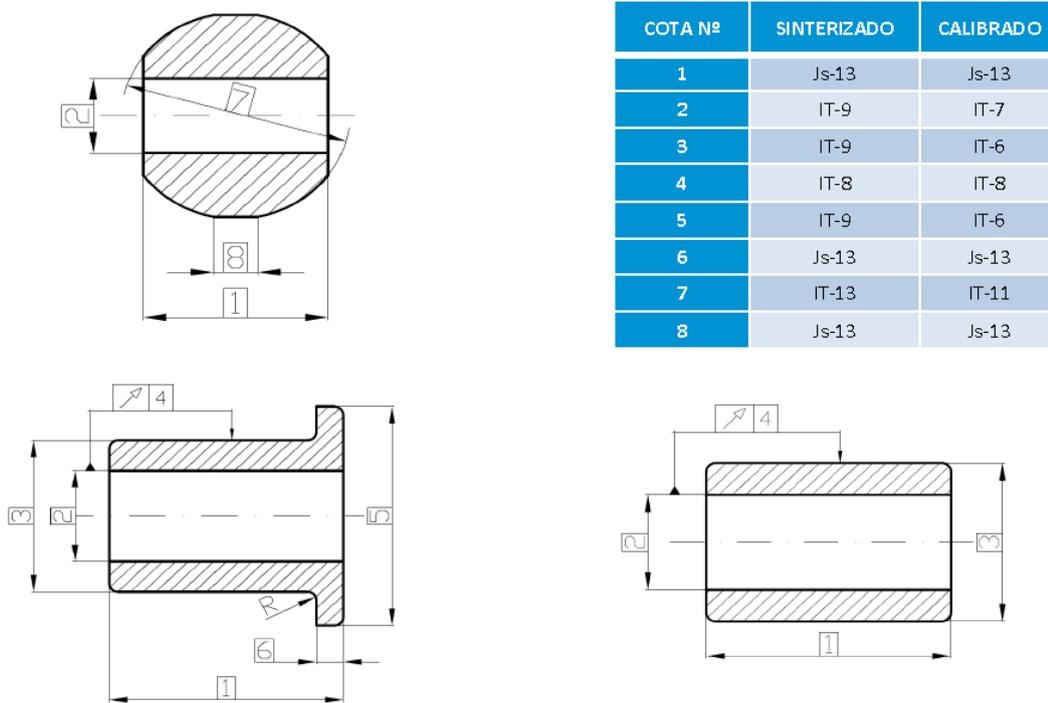


Tabla 14. Tolerancias típicas en casquillos (Fuente: MFS SINTERING)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Tolerancia ISO (Cpk=1,33)		
COTA N°	SINTERIZADO	CALIBRADO
1	IT-12 (200 μm mín.)	IT-12 (200 μm mín.)
2	IT-12 (140 μm mín.)	IT-12 (140 μm mín.)
3	IT-12 (140 μm mín.)	IT-12 (140 μm mín.)
4	IT-10 (50 μm mín.)	IT-10 (50 μm mín.)
5	IT-12 (200 μm mín.)	IT-12 (200 μm mín.)
6	IT-9/10	IT-8/9
7	IT-9	IT-8
8	IT-8/9	IT-7
9	IT-9	IT-8
10	IT-8/9 Interiores con forma: IT-9/10	IT-8/9 Interiores con forma: IT-9/10
11	IT-6	IT-6
12	IT-11	IT-11
13	IT-10	IT-10
14	0,0015 mm · Altura	0,0015 mm · Altura
15	0,0020 mm · Diámetro	0,0020 mm · Diámetro
16	0,0020 mm · Diámetro	0,0020 mm · Diámetro
17	0,0020 mm · Diámetro	0,0020 mm · Diámetro
18	0,0015 mm · Diámetro	0,0010 mm · Diámetro

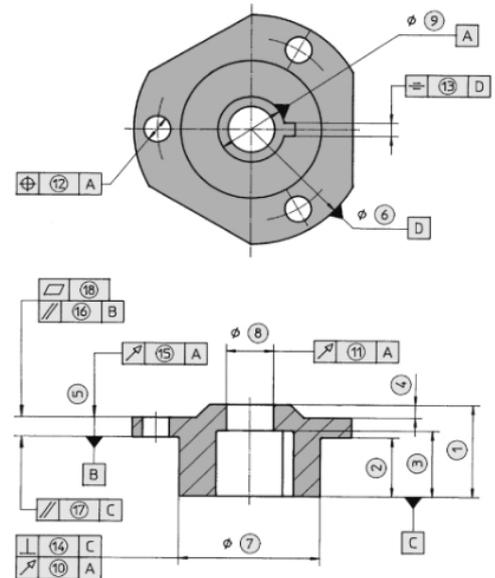


Tabla 15. Tolerancias dimensionales típicas, alcanzables en una pieza sinterizada (Fuente: Ames-sintering.com)

Hay que tener en cuenta que cuando se le realiza un proceso posterior a la pieza sinterizada para aumentar sus propiedades físicas, las dimensiones de la pieza pueden cambiar. A continuación, se muestra un esquema de cómo afectan diferentes procesos a la geometría final de la pieza, se tiene que considerar que estas variaciones dependen también del material y de la geometría (Höganäs, 2015):

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

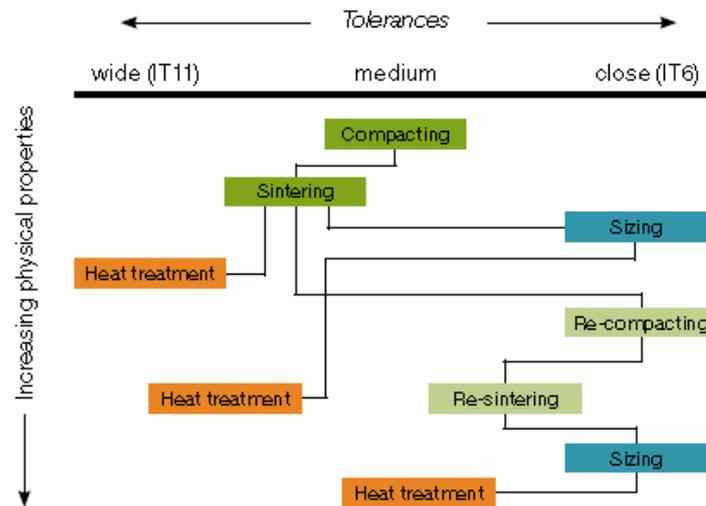


Figura 40. Influencia de diferentes procesos a las tolerancias y propiedades físicas de las piezas sinterizadas (Fuente: Höganäs, 2015).

2.2.4.7 Materiales sinterizados

El proceso de sinterización de una pieza mediante la metalurgia de polvos proporciona al diseñador una amplia gama de oportunidades, dado que la materia prima se presenta en forma de partículas, lo que permite la elección de la composición y estructura del material. En el diseño de componentes mecánicos, los materiales basados en hierro son igualmente importantes en la Metalurgia de Polvos en comparación con los procesos convencionales. El diseñador tiene la oportunidad, combinando diversas composiciones y condiciones estructurales, de encontrar soluciones viables para satisfacer todos los requerimientos (MFS SINTERING).

Mediante este proceso, es posible fabricar productos metálicos, cerámicos y poliméricos (TWI, 2022) (China Savy). La norma DIN 30910-4:2004-05, recoge diferentes tipos de metales obtenidos mediante pulvimetalurgia:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Standard	Material Code	Density (g/cm ³)	Hardness	Tensile Strength		Compositions (%)												
				Ultimate (MPa)	Yield (MPa)	Fe	Cu	C	Ni	Mo	Mn	Cr	Sn					
DIN 30910-4:2004-05 (Germany Standard)	Sint-C 01	6.4-6.8	>HRB 70	240	170	Bal.		0.5										
	Sint-D 01	6.8-7.2	>HRB 90	300	200	Bal.		0.5										
	Sint-C 10	6.4-6.8	>HRB 40	200	140	Bal.	1.5											
	Sint-D 10	6.8-7.2	>HRB 50	250	180	Bal.	1.5											
	Sint-E 10	>7.2	>HRB 80	340	240	Bal.	1.5											
	Sint-C 11	6.4-6.8	>HRB 80	390	290	Bal.	1.5	0.6										
	Sint-D 11	6.8-7.2	>HRB 95	460	370	Bal.	1.5	0.6										
	Sint-C 30	6.4-6.8	>HRB 55	360	290	Bal.	1.5	0.3	4.0	0.5								
	Sint-D 30	6.8-7.2	>HRB 60	460	330	Bal.	1.5	0.3	4.0	0.5								
	Sint-E 30	>7.2	>HRB 90	570	390	Bal.	1.5	0.3	4.0	0.5								
	Sint-C31	6.4-6.8	>HRB 50	320	220	Bal.		0.2	2.0	1.5								
	Sint-D31	6.8-7.2	>HRB 60	380	260	Bal.		0.2	2.0	1.5								
	Sint-E31	>7.2	>HRB 90	460	320	Bal.		0.2	2.0	1.5								
	Sint-C32	6.4-6.8	>HRB 55	400	370	Bal.	2.0	0.6		1.5								
	Sint-D32	6.8-7.2	>HRB 60	520	480	Bal.	2.0	0.6		1.5								
	Sint-C39	6.4-6.8	>HRB 90	480	350	Bal.	1.5	0.5	4.0	0.5								
	Sint-D39	6.8-7.2	>HRB 120	560	380	Bal.	1.5	0.5	4.0	0.5								
	Sint-C40	6.4-6.8	>HRB 95	330	250	Bal.		0.06	13	2.5				18				
	Sint-D40	6.8-7.2	>HRB 125	400	320	Bal.		0.06	13	2.5				18				
	Sint-C43	6.4-6.8	>HRB 165	510	370	Bal.		0.2						13				
Sint-C50	7.2-7.7	>HRB 35	150	90		Bal.											10	
Sint-D50	7.7-8.1	>HRB 45	220	120		Bal.											10	

Tabla 16. Composiciones de materiales pulvimetalúrgicos - Norma DIN 30910-4:2004-05 (Fuente: AENOR).

Esta norma recoge diferentes tipos de materiales como por ejemplo, metales sinterizados a base de hierro, metales sinterizados a base de cobre (bronce) y los metales sinterizados a base de aluminio, que se utilizan principalmente para piezas estructurales (Aluminio, aceros, aceros inoxidable, bronce, cobre, hierro) (AENOR, 2010).

2.2.4.8 Piezas

Las piezas sinterizadas tienen aplicaciones diversas en numerosos campos de la industria

INDUSTRIA	EJEMPLOS DE USO
Automotriz	Piñones, poleas, soportes de cigüeñal, sensores, acoplamientos, levas, separadores, horquillas de regulación, tensores, balancines, rotores, estátores, acoplamientos, cubos, cremalleras, piñones de regulación, engranajes, bridas internas y externas, discos de apoyo.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Aeronáutica y Aeroespacial	Discos de superaleación, componentes de fuselajes, escudos térmicos, Disco de turbina de motor a reacción
Agricultura	Equipos de jardín, maquinaria agrícola
Eléctrica	Núcleos de bobina, armaduras, polos, estatores, rotores, carcasa, contactores, interruptores, componentes inductivos, bobinas de ignición
Electrodomésticos y hogar	Piñones, acoplamientos, contrapesos, placas, pistones y bielas de compresor, componentes para toldos, persianas, puertas, ventanas, electrodomésticos varios, grifería, cerraduras.
Manufactura	Herramientas, moldes, maquinaria industrial
Sectores industriales diversos	Maquinaria para embotellado, maquinaria para la madera, maquinaria de montaje en general, automatización, duplicadoras de llaves, máquinas de coser, aparellaje eléctrico, medicina, hostelería.

Tabla 17. Aplicaciones de las piezas sinterizadas (Fuente: Propia).



Figura 41. Diferentes piezas sinterizadas para el sector automotriz (Fuente: ames-sintering.com).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez



Figura 42. Piezas estructurales sinterizadas (Fuente: dicoi-pm.com).

Capítulo 3. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

3.1 DEFINICIÓN DE REQUISITOS

En este capítulo, se define el procedimiento metodológico para llevar a cabo el cambio en el proceso de fabricación de una pieza metálica, pasando de un proceso de fabricación tradicional como es el mecanizado y en el cual se va quitando material de una pieza más grande (pieza en bruto) hasta llegar a la geometría requerida, a un proceso de fabricación pulvimetalúrgico por sinterización, en este se conforma polvo metálico aprovechando el 97% de la materia prima utilizada y consiguiendo tolerancias geométricas muy precisas.

Para poder llevar a cabo este cambio, se deberá hacer un estudio técnico y económico para confirmar su viabilidad.

Para ello, en primer lugar se realizará un estudio técnico del plano de la pieza, de la geometría (geometría alcanzable y tolerancias dimensionales) y de las exigencias respecto a la calidad del acabado (apariencia estética y rugosidad). Por otro lado, se examinará la viabilidad para el cambio de material de un proceso de mecanizado a un proceso de sinterizado, intentando mantener las composiciones químicas y propiedades mecánicas del bruto. Por último, se hará una comparativa de geometrías y tolerancias alcanzables en los dos procesos.

En paralelo, se realizará un estudio económico recopilando todos los costes que supone fabricar la pieza por mecanizado y por sinterizado y de esta manera, resaltar la reducción de costes que permite el cambio en el modelo de producción. Con esto, también se hará un estudio medioambiental comparando tanto la generación de residuos como el impacto energético de cada uno de los dos procesos.

La finalidad de este procedimiento metodológico es el de crear una herramienta para que tanto los diseñadores como los ingenieros que vayan a trabajar en la validación del cambio de proceso de fabricación puedan encontrarse con una guía que les ayude o les valga de referencia.

Destacar que este trabajo de fin de grado no se centra en la realización del diseño de la pieza para su fabricación, sino que se partirá directamente con el plano ya definido

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

por cliente y se hará una etapa de consultoría técnica para estudiar la viabilidad en el cambio del proceso de fabricación, además de un estudio económico para evidenciar tanto la reducción de costes como la reducción en el impacto medioambiental de la producción.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra la macroestructura que se llevaría a cabo en el caso de tener en cuenta el diseño de detalle de la pieza basándose en las propuestas elaboradas por M. Asimow y T.T. Woodson (Eliseo Gómez-Senent Martínez, 2003):

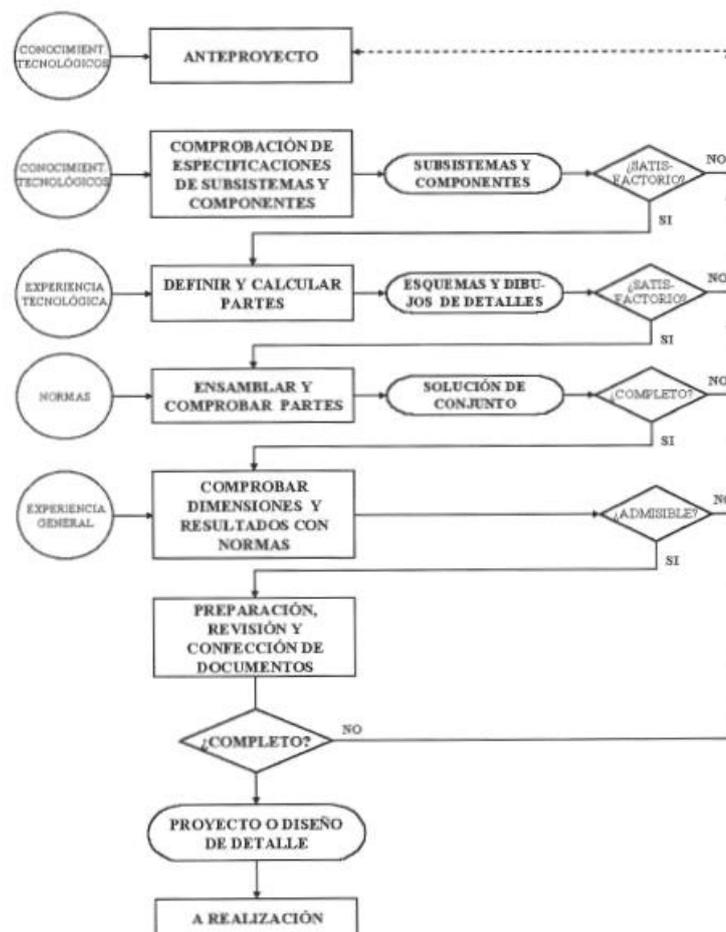


Figura 43. Macroestructura de la fase de diseño de detalle (Fuente: Eliseo Gómez-Senent Martínez, 2003).

Como en este trabajo de fin de grado el diseño de la pieza vendrá definido por el cliente, será necesario adaptar la macroestructura propuesta por M. Asimow y T.T. Woodson, por lo que se creará un proceso metodológico para lograr los objetivos definidos al principio del trabajo y resaltar los beneficios tanto económicos como

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

medioambientales del cambio en el proceso de fabricación de la pieza metálica, todo esto, manteniendo los requerimientos técnicos demandados por cliente.

Existen dos tipos de procedimientos metodológicos creados que se pueden seguir. En el primero se realiza el estudio técnico y económico al mismo tiempo y en el segundo, primero se realiza un estudio técnico, se clasifica cual es el proceso de fabricación más óptimo para llevar a cabo la producción y una vez tomada la decisión se realiza el estudio económico para poder realizar la comparativa con el proceso de fabricación original:

Primer procedimiento metodológico general creado



Figura 44. Procedimiento metodológico general 1 (Fuente. Propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Segundo procedimiento metodológico general creado

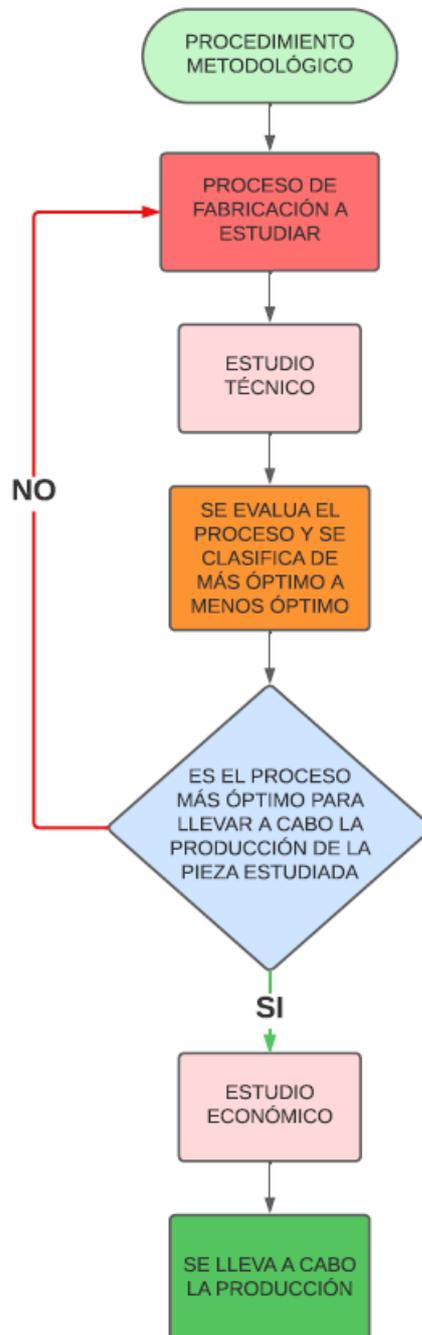


Figura 45. Procedimiento metodológico general 2 (Fuente: Propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Para este TFG se va a adoptar el segundo procedimiento metodológico expuesto.

3.2 ESTUDIO TÉCNICO

El estudio técnico de una pieza metálica y de su proceso de fabricación, comprende diferentes variables a tener en cuenta.

En cuanto a la pieza, se deberá estudiar los requerimientos geométricos de plano, es decir, que dimensiones y tolerancias se deben alcanzar, el material con el cual se va a llevar a cabo la fabricación y las propiedades mecánicas que tiene que cumplir, de esta manera, el diseñador y el ingeniero podrán comprobar que la pieza es funcional.

Respecto al proceso de fabricación, se investigará las tolerancias alcanzables propias del proceso, la viabilidad en el uso del material requerido en la fabricación y si se deberán tener en cuenta post procesos para llegar a los requerimientos demandados por cliente.

3.2.1 Análisis del plano de la pieza

Para poder realizar un estudio preciso sobre una pieza, se debe analizar en primer lugar los aspectos principales del plano diseñado. Existen dos aspectos principales de los cuales depende el tipo de proceso de fabricación que se vaya a llevar a cabo:

- 1- Geometría y tolerancias de la pieza
- 2- Exigencias de acabado
- 3- Material requerido

Hay que tener en cuenta el tipo de plano que se va a estudiar, ya que existen diferentes tipos dependiendo de si se diseña un plano preliminar (en este caso únicamente el diseñador junto al ingeniero estudian la viabilidad del diseño) o un plano de ejecución, en los cuales existen principalmente dos tipos, el que se diseñara para llevar a cabo la producción de prototipos, y de esta manera verificar si la pieza es funcional o se debe modificar alguna dimensión de plano, en un segundo lugar los planos de producción en serie, que dependen de la validación de los prototipos para poder ser diseñados y validados (Universidad Politécnica de Cartagena, 2013).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

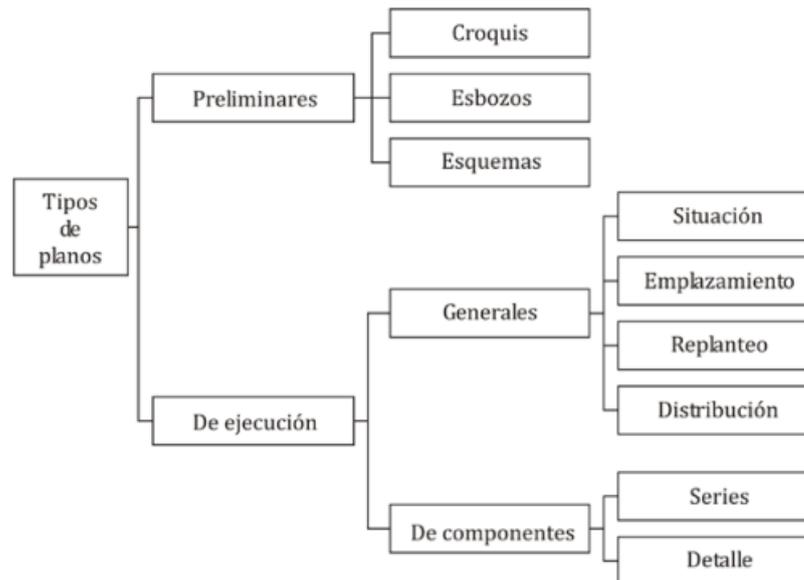


Figura 46. Ejemplo de clasificación de planos (Fuente. Universidad politécnica de Cartagena).

3.2.1.1 Análisis geométrico y dimensional

En este trabajo fin de grado, el análisis geométrico se hará directamente con el plano del cliente ya definido, es decir, no existe fase de diseño, pero sí que existe fase de consultoría técnica de plano y estudio de la geometría requerida, posibles modificaciones y recomendaciones de las dimensiones de la pieza para que el cambio en el proceso de fabricación sea posible. El objetivo principal del análisis geométrico es evidenciar que aun haciendo un cambio en el proceso de fabricación de la pieza, las dimensiones y tolerancias se mantienen y se respetan.

Existen normas básicas para establecer una relación entre la pieza creada por el diseñador (pieza original de cliente), la pieza fabricada (pieza que vamos a proponer a cliente con el cambio en el proceso de fabricación) y la pieza efectivamente medida.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

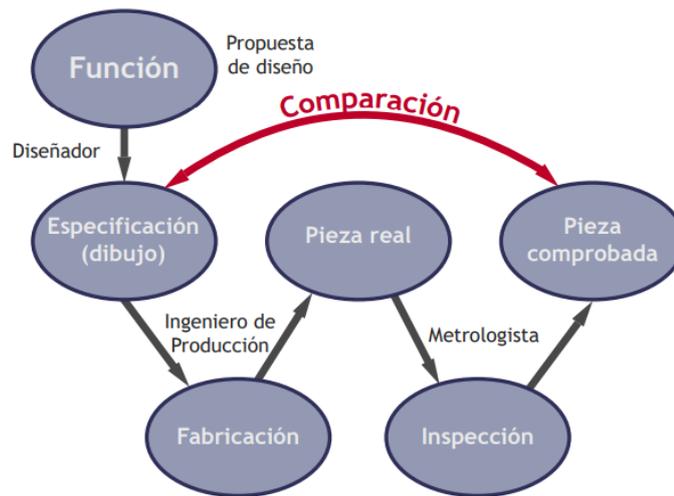


Figura 47. Fases del diseño, fabricación y comprobación de una pieza (Fuente: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2016).

Estas normas se han desarrollado en el campo GPS (“Geometrical product specifications”) y definen conceptos básicos, representaciones simbólicas, principios de medida y otras variables para poder comprobar el cumplimiento geométrico de la pieza respecto a requerimientos de cliente. Todos estos conceptos y representaciones se recogen en la norma UNE-EN ISO 14638:2015 (“Especificación geométrica de productos (GPS). Modelo de matriz.”) y algunos de sus valores principales en la norma DIN EN ISO 1101:2017 (“Especificación geométrica de productos (GPS). Tolerancia geométrica. Tolerancias de forma, orientación, localización y alabeo”).

La norma UNE-EN ISO 14638:2015 se fundamenta en tres pilares fundamentales (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2016) (Dr. M.A. Sáenz-Nuño, 2011):

- Cubrir varios tipos de normas
- Cubrir todo tipo de característica geométrica (figura 46)
- Intervenir en las diversas etapas de desarrollo de un producto (diseño, fabricación, metrología, aseguramiento de la calidad y otras muchas) (Dr. M.A. Sáenz-Nuño, 2011)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

NORMAS GPS FUNDAMENTALES	MATRIZ GPS GENERAL Cadena de normas GPS generales 1.- Tamaño 2.- Distancia 3.- Forma 4.- Orientación 5.- Posición 6.- Alabeo 7.- Perfil de acabado superficial 8.- Área o zona de acabado superficial 9.- Defectos superficiales
	MATRIZ GPS COMPLEMENTARIA Cadena de normas GPS complementarias A. Normas sobre tolerancias en procesos específicos A.1 Mecanizado A.2 Fundición A.3 Soldadura A.4 Corte térmico A.5 Moldeado plástico A.6 Recubrimiento metálico y no orgánico A.7 Pintura B. Normas sobre geometría de productos o componentes particulares B.1 Roscas B.2 Engranajes B.3 Acanaladuras y chaveteros

Figura 48. Normas GPS fundamentales (Fuente: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2016).

Las tolerancias geométricas complementan las especificaciones que se dan con las tolerancias dimensionales o con el acabado superficial y tienen que ver con los aspectos funcionales del producto. En las tablas siguientes (tabla 18, 19, 20, 21, 22 y 23) se recogen los tipos de tolerancias geométricas existentes (OCW - Universidad de Cantabria, 2013).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Referencia	Tipo de tolerancia	Características	Símbolo
Elementos simples	- Forma	Rectitud	—
Sin referencia		Planitud	
		Redondez	
		Cilindricidad	
Elementos simples (de forma) o asociados, (Orientación, Situación)	- Forma	Forma de una línea	
Sin / con referencia	- Orientación	Forma de una superficie	
	- Situación		
Elementos asociados.	- Orientación	Paralelismo	//
		Perpendicularidad	
		Inclinación, angularidad	
Con referencia	- Situación	Posición (con o sin referencia)	
		Concentricidad / Coaxialidad	
		Simetría (Plano)	
	- Alabeo, Oscilación	Alabeo Radial.	
		Alabeo Axial.	

Tabla 18. Tipos de tolerancias geométricas DIN EN ISO 1101:2017 (Fuente: OCW - Universidad de Cantabria, 2013).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Descripción	Símbolo	Referencia
Indicación del elemento de tolerancia		ISO 1101
Indicación del elemento de referencia		ISO 1101
Indicación de referencia parcial		ISO 1101
Dimensión teóricamente exacta		ISO 1101
Característica media del elemento (centro, eje, plano medio)		ISO 1101
Zona de tolerancia desigualmente dispuesta	UZ	ISO 1101
Entre		ISO 1101
De ... hasta		ISO 1101
Zona de tolerancia proyectada		ISO 1101 UNE 1157
Requisito de máximo material		ISO 1101 UNE 1121-2
Requisito de mínimo material		ISO 1101 UNE-EN-ISO 2692
Condición de estado libre (piezas no rígidas)		ISO 1101 ISO 10579
Aplicación a todo el perfil		ISO 1101
Condición de envolvente		ISO 1101 UNE 1149
Zona común	CZ	ISO 1101
No convexo	NC	ISO 1101
Cualquier sección transversal	ACS	ISO 1101
Dirección de la tolerancia		ISO 1101
Todo el perímetro		ISO 1101
Plano intersección sobre el que se sitúa la tolerancia		ISO 1101
Plano de referencia		ISO 1101

Tabla 19. Tipos de tolerancias geométricas II DIN EN ISO 1101:2017 (Fuente: OCW - Universidad de Cantabria, 2013).

Para asegurar una definición completa y precisa de todas las dimensiones geométricas de cada componente, evitando interpretaciones subjetivas en el taller o servicio de control, se establecen tres clases de tolerancias básicas: Fina (H), Media (K) y Grosera (L). Estas clases garantizan una correcta y exhaustiva definición del componente y están definidas en la norma DIN ISO 2768-2:1991-04.

Estas tolerancias se aplican a los elementos que no están sujetos a tolerancias geométricas individuales, a continuación, se exponen las 4 tablas principales que definen las tres clases de tolerancias básicas.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE RECTITUD Y PLANITUD Se toma la longitud más significativa (más larga o Ø) (mm)					
	L≤10	10>L≤30	30>L≤100	100>L≤300	300>L≤1000	1000>L≤3000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Tabla 20. Tolerancias generales de rectitud y planitud DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR).

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE PERPENDICULARIDAD El lado más corto (mm)			
	L≤100	100>L≤300	300>L≤1000	1000>L≤3000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0

Tabla 21. Tolerancias generales de perpendicularidad DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR).

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE SIMETRÍA El lado más largo (mm)			
	L≤100	100>L≤300	300>L≤1000	1000>L≤3000
H	0,5			
K	0,6		0,8	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0

Tabla 22. Tolerancias generales simetría DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR).

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE OSCILACIÓN CIRCULAR (mm).
H	0,1
K	0,2
L	0,5

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Tabla 23. Tolerancias generales de oscilaciones DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR).

En cuanto a las tolerancias geométricas generales (tolerancias dimensionales y rugosidades), se recogen en la norma UNE-EN_22768-1:1994 (ISO 2768-1:1989) de la cual se habló en el subapartado 2.2.2.8. Esta define que los elementos o componentes de un conjunto deben estar correctamente dimensionados y definidos geoméricamente (forma, orientación y posición), para ello en los planos se definen las tolerancias y especificaciones necesarias, principalmente las funcionales.

La indicación de la tolerancia general en el dibujo se realiza en el cajetín o cerca de él, mediante la inclusión de la norma y la designación de la calidad seleccionada, como por ejemplo: ISO 2768-mK. Esto implica que se ha elegido una tolerancia general de tipo dimensional "m" y geométrica "K" (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2016).

Las tablas de tolerancias respecto a la norma UNE-EN_22768-1:1994 (ISO 2768-1:1989) se encuentran en el apartado 2.2.2.8 y en el ANEXO de este trabajo.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

adecuado puede reducir la fricción y el desgaste, mejorar la resistencia a la corrosión y facilitar la lubricación. Además, ciertos acabados pueden contribuir a propiedades como la conductividad eléctrica o térmica.

2. **Apariencia estética:** También tiene un impacto visual en las piezas metálicas. Un acabado de calidad puede realzar la apariencia estética, proporcionando un aspecto pulido, mate, satinado u otro acabado deseado. Esto es especialmente relevante en aplicaciones donde la estética es importante, como en productos de consumo, joyería, automóviles y electrodomésticos.
3. **Seguridad y ergonomía:** Puede influir en la seguridad y ergonomía de las piezas metálicas. Un acabado inapropiado puede generar bordes afilados, rebabas o superficies rugosas que pueden causar lesiones a los usuarios o dificultar su manipulación. Un buen acabado puede suavizar los bordes, eliminar rebabas y mejorar la comodidad de uso.
4. **Calidad y durabilidad:** El acabado superficial adecuado es esencial para garantizar la calidad y durabilidad de una pieza metálica. Un acabado deficiente puede ser propenso a imperfecciones, como grietas, porosidad o áreas propensas a la corrosión. Un acabado de alta calidad, como el pulido o el tratamiento de superficie, puede mejorar la resistencia a la fatiga, prolongar la vida útil de la pieza y prevenir fallas prematuras.
5. **Procesos de fabricación y ensamblaje:** Además tiene implicaciones en los procesos de fabricación y ensamblaje de piezas metálicas. Algunos acabados pueden facilitar el mecanizado, el troquelado, la soldadura o el ensamblaje de componentes. Además, un acabado uniforme y consistente puede facilitar la inspección visual y la medición de dimensiones.

Podemos diferenciar dos tipos de irregularidades superficiales las cuales son importantes saber diferenciar, estas son la rugosidad Ra (afectan al comportamiento de la superficie frente a rozamiento, lubricación, desgaste, ...) y el defecto de forma (afectan al funcionamiento, excentricidad, falta de ajuste, holguras, ...) (GTM GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA, 2014).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

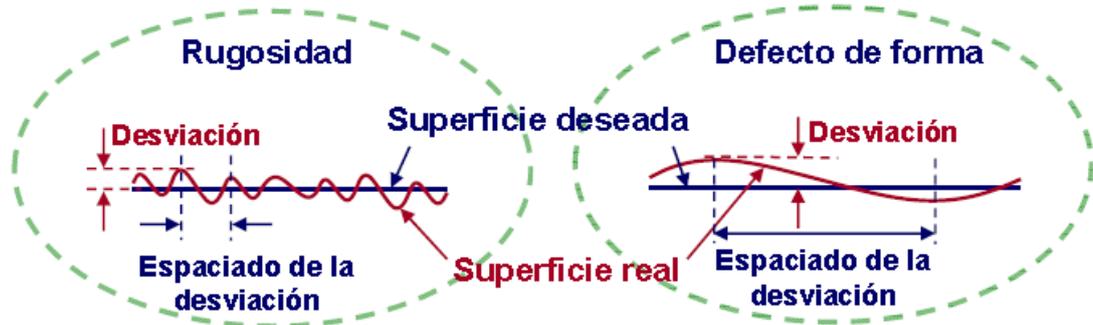


Figura 50. Diferencia entre la rugosidad y el defecto de forma (Fuente: Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea, 2018).

Para poder medir la rugosidad de una pieza, deben realizarse los siguientes pasos (Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea, 2018):

- 1- En primer lugar, se debe medir un perfil completo con una longitud de evaluación normalizada $l_n > l_c$ (generalmente, $5 \cdot l_c$) donde l_c es la longitud de corte o Cutoff (distancia que se utiliza para diferenciar ondulación y rugosidad).
- 2- A continuación, se filtra la señal para eliminar la ondulación.
- 3- Establecer la línea media: Línea que separa áreas iguales en los picos y en los valles

Para medir la rugosidad media (R_a), debemos usar la media aritmética de las rugosidades del perfil (Universidad Politécnica de Cataluña, 2012):

$$R_a = \frac{1}{l_n} \int_0^{l_n} |y(x)| dx$$

Donde $y(x)$ es la función que representa el perfil de rugosidad para un cierto sistema de referencia.

l_n es la longitud de evaluación

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

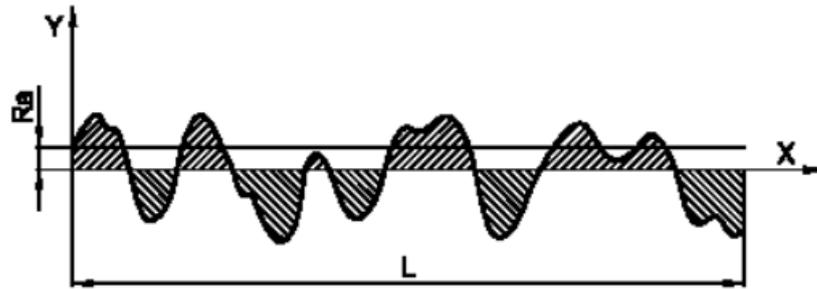


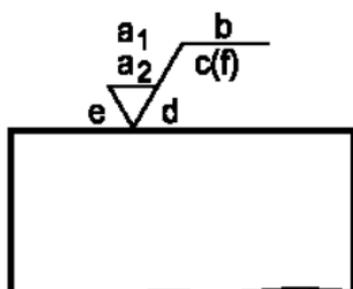
Figura 51. Desviación media aritmética de la rugosidad Ra (Fuente: Gutiérrez, 2019).

Los valores y parámetros normalizados se recogen en la norma ISO 21920-3:2021(“Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Profile — Part 3: Specification operators”) (ISO, 2021) aunque también pueden encontrarse algunas comparativas de rugosidad dependiendo el proceso llevado a cabo en la norma ISO 2632-1:1985 (“Roughness comparison specimens — Part 1: Turned, ground, bored, milled, shaped and planed”) (ISO, 1985).

CLASE DE RUGOSIDAD		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra	μm	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
	μin	1	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000	2000

Tabla 24. Clases de rugosidad y valores (Fuente: Gutiérrez, 2019).

La simbología usada para la rugosidad es la siguiente (Gutiérrez, 2019):



- a₁** = valor máximo admisible para la rugosidad
- a₂** = valor mínimo admisible para la rugosidad
- b** = proceso de fabricación, tratamiento o recubrimiento
- c** = longitud básica
- d** = dirección de las estrías del mecanizado
- e** = sobremedida para mecanizado
- f** = otros criterios para la valoración de la rugosidad

Figura 52. Simbología de la rugosidad (Fuente: Gutiérrez, 2019).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

El acabado o rugosidad de una pieza depende en gran medida del proceso de fabricación que se vaya a tener en cuenta para la producción de la pieza demandada. Los acabados de las piezas fabricadas mediante forja no van a tener la misma calidad de acabado que las piezas fabricadas mediante mecanizado, esto es medible con la ayuda de un rugosímetro (en la tabla 21 podemos observar las rugosidades alcanzables con diferentes procesos de fabricación), pero existen procesos modernos como es el sinterizado que además de permitir geometrías muy precisas, mejoran enormemente el acabado de la pieza (rugosidades menores alcanzables mostradas en el subapartado 2.2.4.6).

Proceso de acabado	Rango de valores de Ra esperados		Valores de cut-off admisibles		
	μm	μinch	0,25 μm 0,01 μin	0,8 μm 0,03 μin	2,5 μm 0,1 μin
Superacabado	0,025 - 0,20	1 - 0	x	x	
Lapidado	0,025 - 0,40	1 - 16	x	x	
Pulimento	0,025 - 0,40	1 - 16		x	X
Pulido (liso)	0,10 - 0,40	4 - 16		x	X
Bruñido	0,10 - 0,80	4 - 32	x	x	
Esmerilado	0,10 - 1,6	4 - 64	x	x	X
Perforado con Diamante	0,20 - 0,40	8 - 16	x	x	
Tomeado con Diamante	0,20 - 0,40	8 - 16	x	x	
Tomeado	0,40 - 6,30	16 - 250		x	X
Perforado con Mecha	0,40 - 6,30	16 - 250		x	X
Trefilado	0,80 - 3,20	32 - 125		x	X
Mandrilado	0,80 - 3,20	32 - 125		x	x
Fresado	0,80 - 6,30	32 - 250		x	x
Electroerosión	1,60 - 6,30	64 - 250		x	x
Modelado por Prensa	1,60 - 12,50	64 - 500	x	x	
Aplanamiento	1,60 - 12,50	64 - 500		x	x
Electrodeposición	0,80 - 0,80	8 - 32			x
Fresado químico	1,60 - 6,30	63 - 250	x	x	
Laser	1,60 - 6,30	63 - 250		x	
Aserrado	1,60 - 25,0	63 - 1000		x	x
Extrusión	0,80 - 3,20	32 - 125		x	
Fundición a presión	0,80 - 1,60	32 - 63		x	
Forjado	3,20 - 13,0	32 - 63		x	
Laminación en Caliente	13,0 - 25,0	500 - 1000		x	x
Fundido con molde de arena	13,0 - 25,0	500 - 1000		x	x

Tabla 25. Rugosidades típicas dependiendo del proceso de fabricación (Fuente: formaciónmecanizado.com).

3.2.1.3 Estudio del material y posibles equivalencias

El material de una pieza está definido por el diseñador y el ingeniero en la etapa de diseño. Depende de varios factores como por ejemplo, de la funcionalidad de la pieza, del proceso de fabricación que se vaya a llevar a cabo y del país donde se vaya a fabricar. Teniendo en cuenta estos tres aspectos fundamentales se podrá

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

hacer el estudio del material y de las posibles equivalencias. Existen muchos casos en los que una pieza producida en Europa pasa a ser fabricada en China, esto conlleva un estudio de equivalencia en el material ya que la materia prima cambia dependiendo donde se fabrique. Para ello existen tablas de equivalencia como las expuestas a continuación o en el anexo.

Acero Q235 Equivalencias											
China		USA		Alemania		Reino Unido (UK)		Japón		ISO	
Norma	Grados	Norma	Grados	Norma	Grados (Número)	Norma	Grados (Número)	Norma	Grados	Norma	Grados
GB/T 700	Q235A	ASTM A36/A36M; ASTM A283/A283M	Acero A36; Grado D			BS 970 Prat 1	080A15	JIS G3101, JIS G3106	SS400, SM400A		
GB/T 700	Q235B	ASTM A36; ASTM A283/A283M	A36; Grado D	DIN EN 10025-2	S235JR (1.0038)	BS EN 10025-2	S235JR (1.0038)	JIS G3101, JIS G3106	SS400, SM400A		
GB/T 700	Q235C	ASTM A36; ASTM A283/A283M; ASTM A573/A573M	A36; Grado D; Grado 58	DIN EN 10025-2	S235J0 (1.0114)	BS EN 10025-2	S235J0 (1.0114)	JIS G3106	SM400A, SM400B	ISO 630-2	S235B
GB/T 700	Q235D	ASTM A36; ASTM A283/A283M	A36; Grado D	DIN EN 10025-2	S235J0 (1.0114); S235J2 (1.0117)	BS EN 10025-2	S235J0 (1.0114); S235J2 (1.0117)	JIS G3106	SM400A	ISO 630-2	S235B, S235C

Tabla 26. Equivalencias para acero Q235 (Fuente: <https://www.materialmundial.com/acero-q235-q235a-q235b-q235c-q235d/>).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Material equivalente de acero inoxidable AISI 303									
NOSOTROS		Unión Europea		YO ASI		Japón		China	
Estándar	Tipo AISI (UNS)	Estándar	Grado (número de acero)	Estándar	Nombre ISO (Número ISO)	Estándar	Grado	Estándar	Grado
AISI SAE; ASTM	303 (UNS S30300)	EN 10088- 2; EN 10088-3	X8CrNiS18-9 (1.4305)	ISO 15510	X10CrNiS18-9 (4305-303-00-I)	JIS G4303; JIS G4304; JIS G4309;	SUS303	GB / T 20878; GB / T 4237; GB / T 3280	Y1Cr18Ni9; Y12Cr18Ni9 (Nueva designación)

Tabla 27. Equivalencias materiales AISI 303 (Fuente: <https://es.china-stainless-steels.com/stainless-steel-plate/aisi-303-stainless-steel-part-1.html>).

3.2.2 Determinación de los procesos de fabricación

Existen diferentes factores clave que se deben tener en cuenta a la hora de decidir qué tecnología de fabricación utilizar para una pieza metálica. A continuación, se establece una guía para poder tomar la decisión correspondiente:

1. **Requisitos de diseño:** En primer lugar, se deben estudiar los requisitos específicos de diseño de la pieza, como forma, tamaño, tolerancias dimensionales y características funcionales. Esto ayudará a determinar qué procesos de fabricación son adecuados para cumplir con esos requisitos.
2. **Material:** Hay que considerar el tipo de material metálico que se utilizará. Algunos procesos de fabricación son más adecuados para ciertos materiales, ya sea acero, aluminio, cobre u otros. Se deben tener cuenta las propiedades del material, como su resistencia, maleabilidad, conductividad, etc., al seleccionar el proceso de fabricación adecuado.
3. **Volumen de producción:** Evaluar el volumen de producción requerido. Algunos procesos de fabricación son más eficientes y rentables para grandes volúmenes, mientras que otros son más adecuados para producciones más pequeñas o piezas personalizadas.
4. **Costo:** Analizar el costo asociado con cada proceso de fabricación. Considerar los costos de la maquinaria, herramientas, mano de obra, materiales y cualquier

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

otro gasto involucrado en cada proceso. Comparar los costos para determinar cuál es más viable desde una perspectiva económica.

5. **Tiempo de producción:** Realizar una estimación del tiempo requerido para producir la pieza utilizando cada proceso de fabricación. Algunos procesos pueden ser más rápidos que otros, lo que puede ser crítico si tienes plazos de entrega ajustados.
6. **Calidad y tolerancias:** Considerar los estándares de calidad y las tolerancias requeridas para la pieza. Algunos procesos de fabricación pueden ofrecer una mayor precisión y control sobre las dimensiones y características superficiales, lo cual es fundamental para ciertas aplicaciones.
7. **Experiencia y capacidad:** Se debe evaluar la experiencia y capacidad técnica de la fábrica, así como la disponibilidad de equipos y recursos necesarios para cada proceso de fabricación.

Al considerar estos factores y analizar las necesidades específicas del cliente, se podrá tomar una decisión informada sobre el proceso de fabricación más adecuado para producir la pieza metálica.

A continuación, se presentará un resumen en forma de diagrama respecto al procedimiento metodológico que se va a tener en cuenta para llevar a cabo la elección del proceso de fabricación, en función del aspecto técnico del plano y de la pieza del cliente:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

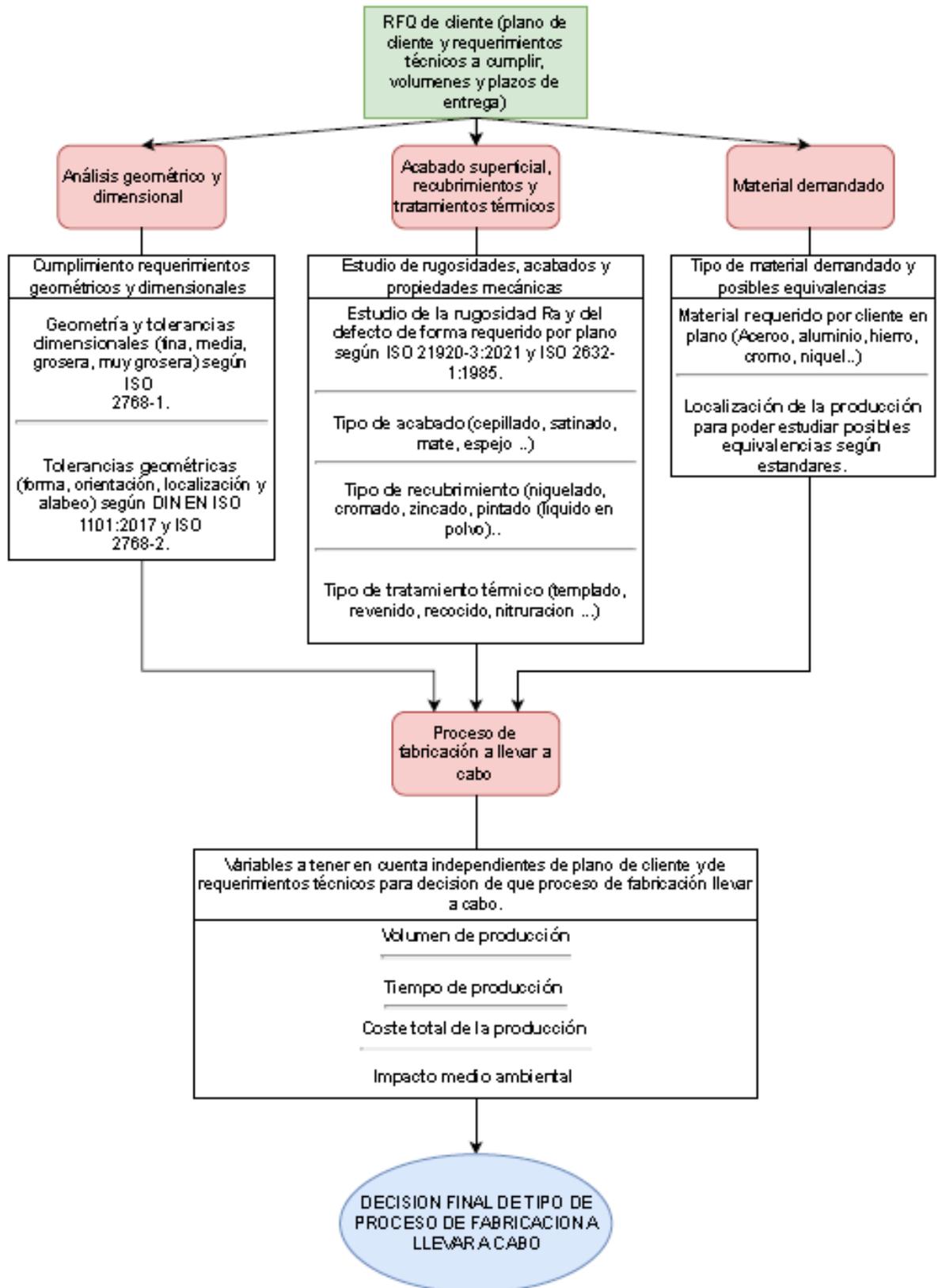


Figura 53. Diagrama resumen del procedimiento metodológico para llevar a cabo la elección del tipo de proceso de fabricación (Fuente: Propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Para llevar a cabo la elección del proceso de fabricación óptimo y basándonos en el diagrama anterior, se expondrá el diagrama de flujo que resumirá las acciones a llevar a cabo para la elección del proceso:

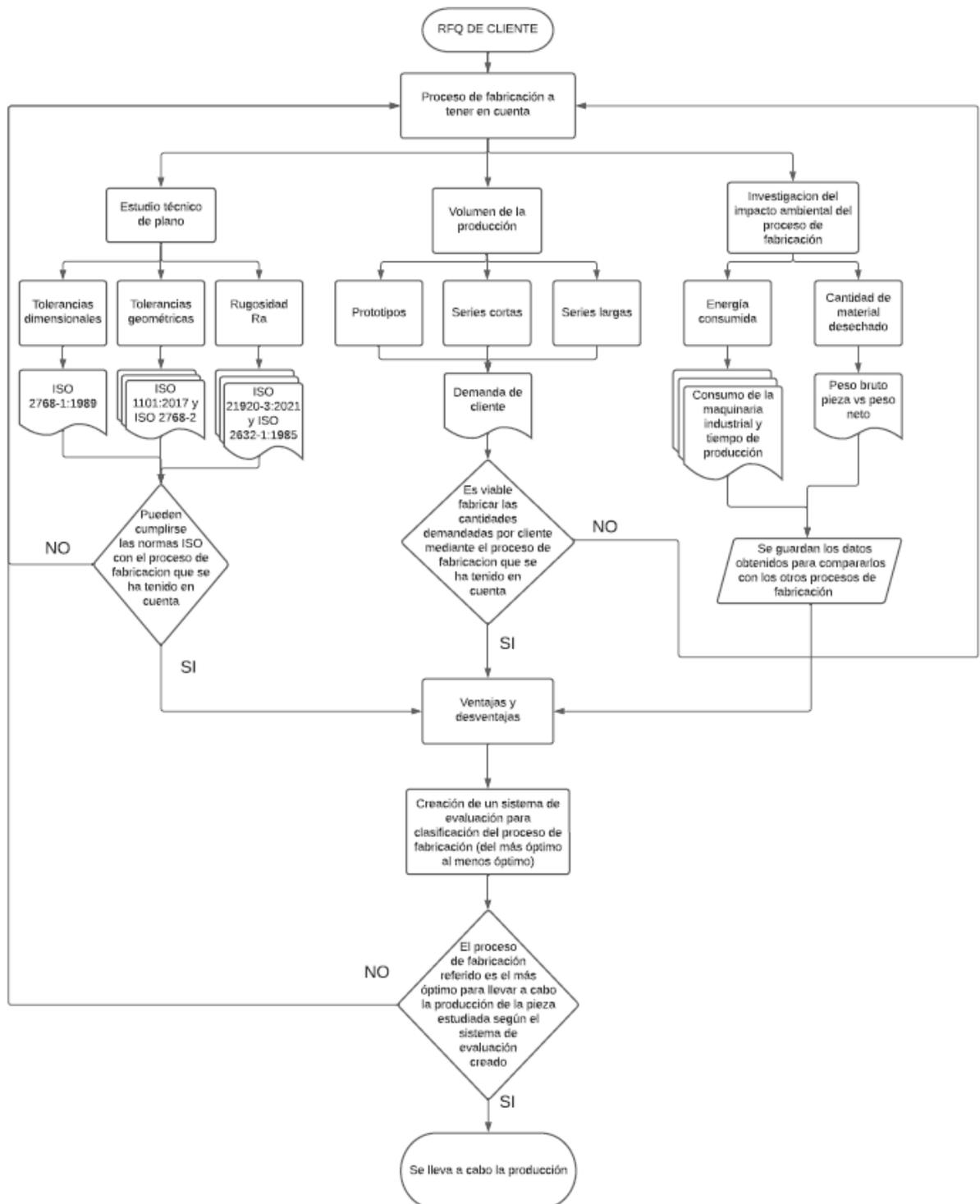


Figura 54. Diagrama de flujo definiendo el procedimiento metodológico de elección del proceso de fabricación óptimo (Fuente: Propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Para poder apreciar de mejor forma el diagrama, se recomienda seguir este link:

<https://lucid.app/documents/view/b522442b-14a0-4492-a256-7655a8aad589>

La decisión de que proceso de fabricación llevar a cabo, dependerá de la clasificación que obtengan las tecnologías de fabricación estudiadas. Para ello, se tendrá en cuenta el siguiente método. Se tendrá que tener en cuenta que este método se completará en el apartado siguiente con el estudio económico del proceso:

Tecnologías de fabricación	Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Mecanizado								
Forja en frío								
Forja en caliente								
Fundición a la cera perdida								
Impresión 3D								
Sinterizado								
Estampación								

Tabla 28. Tabla clasificatoria de las tecnologías en función de las variables a cumplir (Fuente: propia).

Se puntuará del 0 al 2 cada variable que afecte a la toma de decisión según la tecnología de fabricación estudiada. La tecnología que más puntos obtenga será la más óptima de cara a llevar a cabo la producción de la pieza de cliente.

Se valorará de la siguiente forma el criterio de puntuación:

- 0 puntos → En el caso que no se pueda cumplir la variable estudiada o no sea viable.
- 1 punto → En el caso que se pueda cumplir la variable estudiada con la ayuda de subprocesos o que la variable estudiada pueda cumplirse con la tecnología de fabricación estudiada, pero pueda mejorarse con otras tecnologías.
- 2 puntos → En el caso que se pueda cumplir la variable estudiada teniendo en cuenta únicamente la tecnología de fabricación estudiada.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

3.3 ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico en la producción de una pieza metálica es de suma importancia para el proyecto global que englobe. Además de ser una forma de desmarcarse de la competencia y conseguir ser asignado en un proyecto, se puede evaluar el costo de llevar a cabo la producción (costos de materiales, mano de obra, maquinaria, herramientas, energía y otros gastos relacionados), la rentabilidad del proyecto (al comparar los costos de la producción con los ingresos esperados al respecto, se puede determinar si la fabricación de la pieza será rentable), la optimización del proceso (se pueden identificar áreas donde se pueden realizar mejoras para reducir los costos de producción) y puede ayudar a la toma de decisiones (proporciona información clave que permite tomar decisiones fundamentadas en relación con el proceso de fabricación de la pieza). Puede ayudar a determinar la cantidad de unidades a producir, seleccionar los proveedores más adecuados, evaluar diferentes opciones de diseño o considerar la subcontratación de ciertas etapas de producción.

3.3.1 Estudio de mercado

El estudio de mercado desempeña un papel fundamental en cualquier proceso industrial, ya que proporciona información valiosa sobre la viabilidad y el potencial de éxito de un producto o servicio en un determinado mercado (QuestionPro, 2022) (Agencia Federal de Pequeños Negocios de Estados Unidos, 2023). En este TFG el estudio de mercado se centra especialmente en los siguientes puntos:

- 1- Demanda de cliente e identificación de oportunidades: El estudio de mercado permite identificar las necesidades y demandas insatisfechas en el mercado objetivo. Como en este trabajo, la información vendrá dada por el cliente y lo único que se tendrá que estudiar es como abaratar costes y reducir el impacto ambiental, este punto se simplifica enormemente.
- 2- Toma de decisiones estratégicas: Permite a las empresas evaluar la viabilidad de lanzar un nuevo producto o mejorar un producto ya existente, determinar el tamaño del mercado y desarrollar estrategias para aumentar la rentabilidad del proyecto.
- 3- Competencia y posicionamiento: El estudio de mercado analiza la competencia existente en el mercado, lo que ayuda a las empresas a entender su posición relativa y a desarrollar estrategias de posicionamiento efectivas. Permite identificar fortalezas y debilidades de los competidores, identificar brechas en el mercado y diferenciarse de la competencia.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- 4- Diseño de productos y servicios: Teniendo en cuenta la demanda de cliente y el estudio de la competencia, se diseñará un servicio o producto que se ajuste a dicha demanda y que mejore a la competencia en diferentes aspectos. El diseño de productos y servicios ayuda a definir características, funcionalidades, precios y beneficios que serán más atractivos para el mercado objetivo.

3.3.1.1 Necesidades del cliente

Para poder realizar un estudio de mercado válido que ayude al análisis de la viabilidad del proyecto y que reporte los beneficios posibles de llevar a cabo el cambio en el proceso de fabricación, es primordial conocer el cliente con el que estamos tratando, tener en cuenta la demanda realizada y saber sus necesidades. De esta manera podremos posicionarnos en el mercado y estudiar la forma de desmarcarnos.

Para ello, estudiar los volúmenes necesarios de compra de cliente, alcanzar el precio objetivo marcado, agilizar lo máximo posible las entregas (de esta manera evitar que el cliente tenga rotura de stock) y conseguir mejorar el servicio prestado por la competencia, son algunos de los factores que harán que un cliente te afiance en su cartera de proveedores.

Todos estos factores expuestos anteriormente asegurarán la satisfacción y fidelidad del cliente, ayudarán a que pueda vender con mayor eficiencia y a que consiga desmarcarse de sus competidores en el mercado. Esto crea una estrategia de negociación Win-Win, donde el proveedor consigue un nuevo cliente al que producirle piezas (con su consecuente fidelización y la posibilidad de aumentar la colaboración con nuevas piezas a producirle) y el cliente consigue comprar piezas a menor precio y en un tiempo menor lo que le permite desmarcarse en el mercado.

3.3.1.2 Estudio de la competencia

El estudio de la competencia en el sector industrial desempeña un papel crucial en la estrategia empresarial. Proporciona una visión integral de las prácticas, fortalezas y debilidades de las empresas competidoras en el mercado. Mediante la recopilación y el análisis sistemático de información, como precios, productos, servicios, estrategias de marketing y posición en el mercado, las empresas pueden obtener una comprensión profunda del entorno competitivo en el que operan (Silva, 2021).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Este estudio permite a las empresas identificar oportunidades y amenazas potenciales, anticipar movimientos y respuestas de la competencia, y tomar decisiones informadas en cuanto a precios, innovación y posicionamiento en el mercado. Al conocer a sus competidores, las empresas pueden adaptar sus estrategias para destacar en el mercado, diferenciarse de los competidores y aumentar su ventaja competitiva.

En resumen, el estudio de la competencia en el sector industrial proporciona a las empresas una base sólida para tomar decisiones estratégicas, optimizar su desempeño y mantenerse competitivas en un entorno empresarial dinámico y desafiante.

3.3.1.3 Dafo o Swot

Es de vital importancia saber las capacidades propias de una empresa, de esta forma, se puede considerar desde un primer momento, si se es capaz de poder mejorar a la competencia y competir en el mercado.

Conociendo las fortalezas y debilidades internas, así como las oportunidades y amenazas externas del entorno del mercado en el cual se va a trabajar, se puede tener una visión integral y desarrollar estrategias adaptadas a cualquier situación específica.

Para ello, en este TFG se hará uso de la herramienta DAFO (también conocida como FODA o SWOT de los términos en inglés, strengths, weaknesses, opportunities, threats) para realizar un primer acercamiento al mercado en el cual se va a competir.



Figura 55. Análisis DAFO (Fuente: Growth Hacking Course).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

3.3.2 Costes consultoría técnica

Los costos asociados a una consultoría técnica para la producción de una pieza metálica pueden variar dependiendo de varios factores, como la complejidad del proyecto, la geometría y tamaño de la pieza los requerimientos específicos y la ubicación geográfica de donde se vaya a llevar la fabricación.

Se podría desglosar los costes asociados en (Asociación Española de empresas de consultoría, 2018) (BOE , 2017):

- Costes directos: Salarios de personal, materias primas, costes de producción
- Costes indirectos: Gastos generales de estructura
- Beneficio industrial

Podemos resumir los costes asociados al presupuesto base de licitación (PBL) en la tabla siguiente:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

ID	CONCEPTO	IMPORTE	OBSERVACIONES
1	COSTES DIRECTOS		
2	Mano de obra		$h * p \text{ tareas} \times \text{costes/h perfiles}$
3	Materiales		Ej. equipos, licencias, etc.
4	Otros costes directos		Ej. PMO, documentación técnica, costes financieros, etc.
5	TOTAL COSTES DIRECTOS		
6	COSTES INDIRECTOS		
	Gastos generales		% aplicado sobre [5]
	TOTAL COSTES INDIRECTOS		
7	SUBTOTAL COSTES DIR + INDIR		
	BENEFICIO INDUSTRIAL		
8	Beneficio industrial		% aplicado sobre [7]
9	TOTAL PBL sin IVA		
10	IVA		21% aplicado sobre [9]
11	TOTAL PBL con IVA		

Tabla 29. Desglose del PBL (Fuente: AEC).

Ese desglose se basa en la estructura de las consultorías que optan a proyectos públicos. Como en este TFG el proyecto que se llevará a cabo será para una empresa privada, se tendrá que adaptar el desglose de costes asociados.

A continuación, se mencionarán los variables que afectarán a los costes de consultoría y que se tendrían en cuenta en este trabajo para el proyecto que se va a llevar a cabo:

- Costes de mano de obra: Se calcularán los costes asociados a los honorarios de las personas contratadas y que llevarán el estudio técnico a cabo.
- Análisis y diseño: Dependiendo del estudio y del análisis técnico del proyecto (requisitos de la pieza metálica, diseño geométrico, estudio del material, optimización de los procesos) los costes de la consultoría pueden variar, teniendo en cuenta el tiempo desempeñado.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- Investigación y desarrollo: Si el proyecto requiere investigaciones especiales, pruebas de laboratorio o desarrollo de prototipos, es posible que se incurra en costos adicionales.
- Costes de producción: Dependiendo de la consultoría, es posible que se ofrezcan recomendaciones para la producción eficiente de la pieza metálica. Esto podría incluir el análisis de costos de materiales, maquinaria, mano de obra, procesos de fabricación, entre otros. Como en este trabajo se estudiará el cambio en el proceso de fabricación de un casquillo metálico, se va a tener en cuenta el coste asociado a este estudio.

Para ello, se desglosa en la tabla expuesta a continuación los costes que se tendrían en cuenta, de todas maneras, clarificar que esto irá implícito en el precio total de la pieza, por lo que no se realizará ningún cálculo destinado a los costes de consultoría técnica:

CONCEPTO	IMPORTE	OBSERVACIONES
COSTES DIRECTOS		
Mano de obra		
Materiales		
Documentación técnica		
Investigaciones		
Costes financieros		
TOTAL COSTES DIRECTOS		
COSTES INDIRECTOS		
Gastos generales		
TOTAL COSTES INDIRECTOS		
SUBTOTAL COSTES DIRECTOS + INDIRECTOS		
TOTAL		

Tabla 30. Tabla asociada a los gastos de consultoría técnica en este TFG

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

3.3.3 Precio materia prima

El cálculo del coste de la materia prima para la producción de una pieza metálica, depende del coste propio de la materia prima (viene dado por el acerista) y de dos variables como son la aleación (alloy) que se vaya a tener en cuenta y la chatarra (scrap) asociada.

Para saber el gasto total en material para este proyecto, se tendrá que tener en cuenta las siguientes variables:

- 1- Tipo de material: Se deberá determinar el tipo de material necesario para llevar a cabo la producción. Por ejemplo, acero, acero inoxidable, aluminio, hierro, entre otros.
- 2- Cantidad de material requerido: Se deberá calcular el bruto necesario para fabricar una pieza. Esto se podrá calcular a través de los planos técnicos y del proceso de fabricación que se va a tener en cuenta.
- 3- Volumen anual de la producción: Una vez conocido el volumen anual de la producción, se deberá multiplicar el peso bruto por pieza por el volumen anual a fabricar. Las empresas suelen estudiar la tendencia del coste de la materia prima para hacer acopio de materia prima según precio de mercado y tendencias de subida o bajada en el precio del mismo.
- 4- Proceso de fabricación: Teniendo en cuenta el proceso de fabricación que se llevará a cabo, se puede calcular el desperdicio de material y el margen de error que se obtendrá. Siempre se tendrá que sumar un porcentaje adicional de materia prima para compensar los rechazos obtenidos durante la producción.

3.3.4 Precio proceso de fabricación

Calcular el costo de un proceso de fabricación de una pieza metálica implica considerar varios factores. En primer lugar, es necesario calcular los costos de mano de obra directa, considerando las horas de trabajo requeridas y el costo por hora de los trabajadores involucrados. También se deben considerar los costos de maquinaria y equipos, el consumo de energía, los costos indirectos de fabricación (como supervisión y mantenimiento) y los costos de calidad.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

3.3.4.1 Costes de mano de obra

El cálculo del coste en mano de obra se calculará teniendo en cuenta el costo por hora de cada empleado asociado a la producción de la pieza que vamos a fabricar, multiplicándolo por las horas trabajadas para poder llevar a cabo la producción completa.

3.3.4.2 Costes de maquinaria y equipos

En este trabajo final de grado, se partirá de la base que tanto el coste de la maquinaria como el de los equipos necesarios para llevar a cabo la producción, son propios de la fábrica en la que se realizará la fabricación, por lo que no tendrán que ir incluidos en el coste de la producción.

De todas formas, se hará una breve presentación de la maquinaria que se usará y del coste de los equipos necesarios.

3.3.4.3 Costes de energía

Los costes de energía asociados a este proyecto dependen directamente del gasto energético durante el proceso de fabricación.

Para poder calcularlos correctamente habrá que tener en cuenta los 3 puntos siguientes:

- 1- Determinar el consumo de energía de las máquinas y equipos: Se tendrá que consultar las especificaciones técnicas o manuales de los equipos para obtener información sobre su consumo de energía. El consumo de energía puede expresarse en kilovatios por hora (kWh) o en una unidad similar.
- 2- Registrar el tiempo de funcionamiento: Se calculará el tiempo total de trabajo de cada uno de los equipos para llevar a cabo la producción completa.
- 3- Multiplicar el punto 1 y 2: Se multiplicará el consumo de energía por hora de cada máquina o equipo (obtenido en el paso 1) por el tiempo total de funcionamiento registrado (obtenido en el paso 2). Esto dará el consumo de

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

energía específico para cada máquina o equipo utilizado en la producción de la pieza metálica.

3.3.5 Valor añadido de un proyecto

El valor añadido de un proyecto en relación con el proceso de fabricación de una pieza metálica, se refiere al incremento de valor que se genera en cada etapa del proceso. Representa la diferencia entre el valor de los insumos utilizados y el valor de los productos o servicios obtenidos.

En el contexto de un proceso de fabricación, el valor añadido se genera a medida que los materiales se transforman y se convierten en productos terminados. Cada etapa del proceso, desde la adquisición de la materia prima hasta la producción y entrega del producto final, aporta valor adicional al producto.

El valor añadido puede manifestarse de diversas formas, como mejoras en la calidad, características especiales del producto, eficiencia en los procesos, innovación tecnológica, diseño único, atención al cliente o servicios complementarios. El objetivo es crear un producto que tenga un valor superior al costo de los materiales y los procesos involucrados en su fabricación.

3.3.6 Coste de transporte

Dependiendo de los Incoterms (“International Commercial Terms”) pactados con el cliente, se tendrán en cuenta diferentes tipos de coste de transporte. Existen 3 tipos de envíos principales, los envíos marítimos, los envíos por avión y los envíos terrestres.

Los Incoterms son términos utilizados en los contratos internacionales que detallan las obligaciones de cada una de las partes (exportador-vendedor e importador-comprador) a la hora de entregar las mercancías. Existen 11 tipos de incoterms los cuales se exponen en la tabla a continuación:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

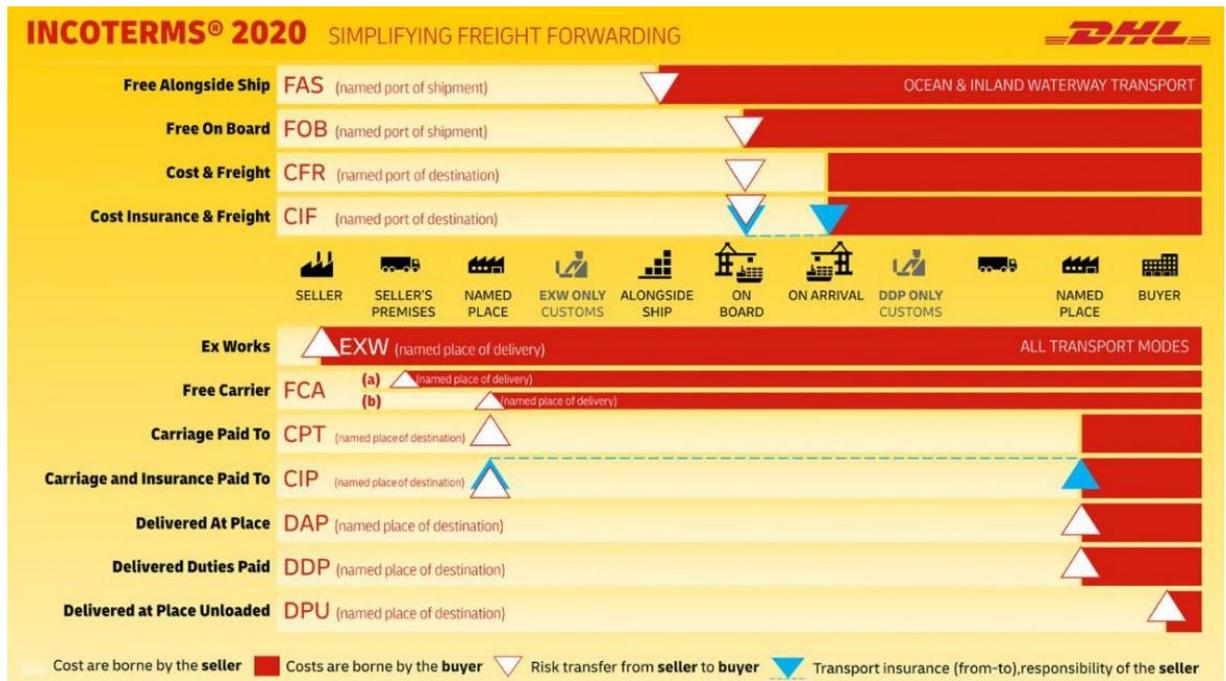


Figura 56. INCOTERMS (Fuente: DHL).

3.3.7 Diagrama explicativo del coste total del proyecto

Para poder simplificar el estudio económico del proyecto y poder tener una guía de cómo se calculará el coste total del proyecto, se propondrá a continuación un diagrama explicativo para poder seguirlo y entender cómo se aplicará en el capítulo 4.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez



Figura 57. Diagrama explicativo estudio económico (Fuente: propia).

Una vez habiendo resumido con el diagrama anterior como se realizará el estudio económico completo del proyecto, definamos como vamos a dividir en dos partes el procedimiento metodológico para calcular el coste del proyecto.

En primer lugar, se calcularían los costes asociados a la consultoría técnica, estos costes serán independientes de este TFG, ya que el objetivo de este trabajo, es el de evidenciar que con el estudio técnico para el cambio en el proceso de fabricación de una pieza de un proceso como es el mecanizado a un proceso de fabricación por sinterizado (optimización de procesos), se reducen los costes de la producción, reduciendo el tiempo de fabricación, el uso de materia prima y el gasto en energía. Esto quiere decir que solo tendremos en cuenta los costes asociados a la producción y entrega de las piezas en las instalaciones del cliente.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

El siguiente diagrama de flujo resume el proceso a seguir para saber el coste total del proyecto según el tipo de proceso de fabricación. Realizando un estudio económico para el proceso por mecanizado y un estudio para el proceso por sinterizado, se podrá evidenciar la reducción de costes debido a la optimización de la producción debido al cambio en el proceso de fabricación y se podrá comparar el gasto en material y energía de ambos procesos.

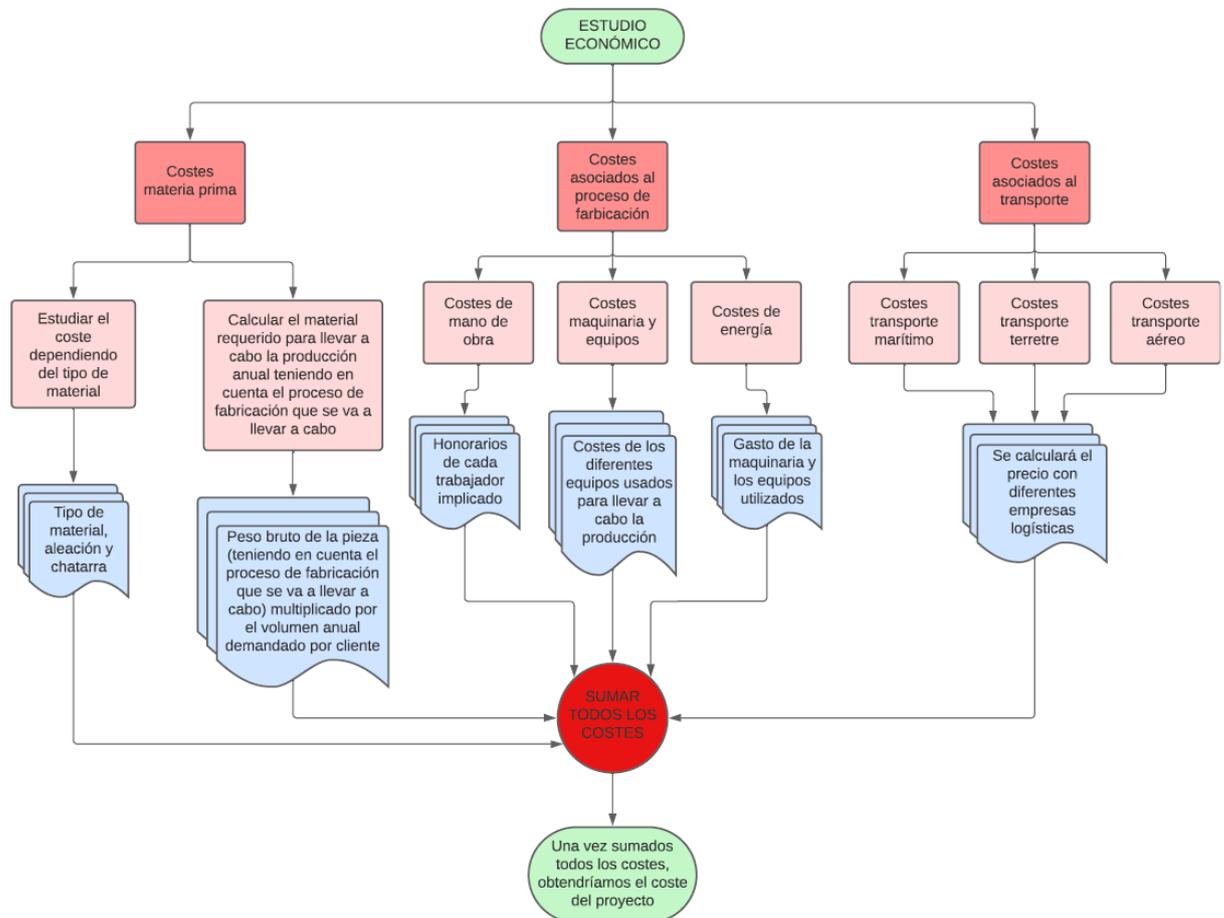


Figura 58. Diagrama de flujo asociado al estudio económico de la producción (Fuente: Propia).

Para poder apreciar de mejor forma el diagrama, se recomienda seguir este link:

<https://lucid.app/documents/view/fd3fe73f-f450-42f3-8a8c-c95aba2d47a7>

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

3.4 DOCUMENTOS PARA HOMOLOGACIÓN INDUSTRIAL

Para poder homologar una pieza metálica y su respectiva producción, es necesario aportar ciertos documentos que confirmen la trazabilidad del proceso de fabricación, los materiales usados y los controles tenidos en cuenta.

Tres de los documentos obligatorios a la hora de entregar muestras a un cliente y que pueda homologar la pieza y el proceso de fabricación, son el certificado de material, el informe dimensional de la pieza y plan de control llevado a cabo.

En este TFG no se llevará a cabo la realización de estos tres documentos, ya que no se llegará a producir la pieza estudiada, solamente se hará el estudio de viabilidad técnica y económica del cambio en el proceso de fabricación del casquillo metálico. Pese a ello, es de suma importancia explicar como se valida y homologa una pieza para producción y en que documentos se basa o apoya esa homologación.

3.4.1 Certificado de material

Un "Certificado de Material 3.1" es un tipo específico de certificado de material que se utiliza comúnmente en la industria de fabricación y suministro de productos, especialmente en sectores como la industria automotriz, ferroviaria, química y energética. Este certificado se basa en una norma internacionalmente reconocida llamada UNE-EN 10204:2006 (Classic Filters, 2014).

El Certificado de Material 3.1 proporciona una garantía adicional sobre la calidad y las propiedades del material suministrado. Indica que el material ha sido sometido a pruebas de inspección, ensayos y análisis por parte del fabricante o proveedor, y que cumple con las especificaciones técnicas y normas aplicables.

Algunas características clave del Certificado de Material 3.1 son (AENOR, 2006):

1. Verificación independiente: El certificado es emitido por un organismo independiente o por el fabricante autorizado, garantizando que los resultados de las pruebas y los datos proporcionados son precisos y confiables.
2. Rastreabilidad: El certificado proporciona información detallada sobre la identificación del material, incluyendo número de lote, número de colada, número de

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

fundición u otros identificadores únicos. Esto permite rastrear la procedencia del material y proporciona seguridad en cuanto a su trazabilidad.

3. Documentación completa: El Certificado de Material 3.1 incluye información sobre la composición química del material, propiedades mecánicas, pruebas de calidad realizadas, normas o especificaciones técnicas aplicables, así como los resultados de las pruebas y ensayos realizados.

En resumen, un Certificado de Material 3.1 proporciona una evidencia documentada de que el material suministrado cumple con las especificaciones técnicas y normativas requeridas. A continuación, se muestra un ejemplo de un certificado de material 3.1:

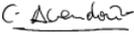
BOBINA		HRB	TRACCIÓN					r	n	REVESTIMIENTO		RUGOSIDAD		EMB	COMPOSICIÓN QUÍMICA %										
P	S	Re	Rm	A%					(4)	(4)	Ra	Otr.Med.	mm	C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	V	Ti	Cu	B	Cr
(1)	(2)	N/mm2	2(3)								(µm)	(5)		C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C85	C80	C82
B07	C32	C01	C02	C11	C12	C13	C14	C15	C60	C60	C61	C62	C63	C71	C72	C73	C74	C75	C76	C77	C78	C79	C85	C80	C82
26911917	66	P	T	300	364	34.3								0.0276	0.1848	0.0094	0.0162	0.0074	0.0466						
(1) Posición P: Principio M: Medio F: Final (2) Sentido L: Longitudinal T: Transversal (3) Alargamiento 1: L=50mm 2: L=100 Ser(1/2) 3: L=50mm 4: Otras medidas (4) Revest G: grm/2 µm (5) Rugosidad 1: Ra 2: RMax 3: Rz(µm) 4: Rz(µm)														OBSERVACIONES: Organismo y/o Servicio de control SERVICIO LABORATORIO A05 FECHA: 30.01.2018  FIRMADO: CARLOS AVENDAÑO Z01											

Figura 59. Ejemplo certificado 3.1 (Fuente: Gonvaeri Burgos).

3.4.2 Informe dimensional

El informe dimensional de una pieza metálica es un documento que describe y documenta las mediciones y características dimensionales de una pieza de

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

metal específica. Este informe se genera a partir de las mediciones realizadas en la pieza utilizando instrumentos y técnicas de medición adecuadas.

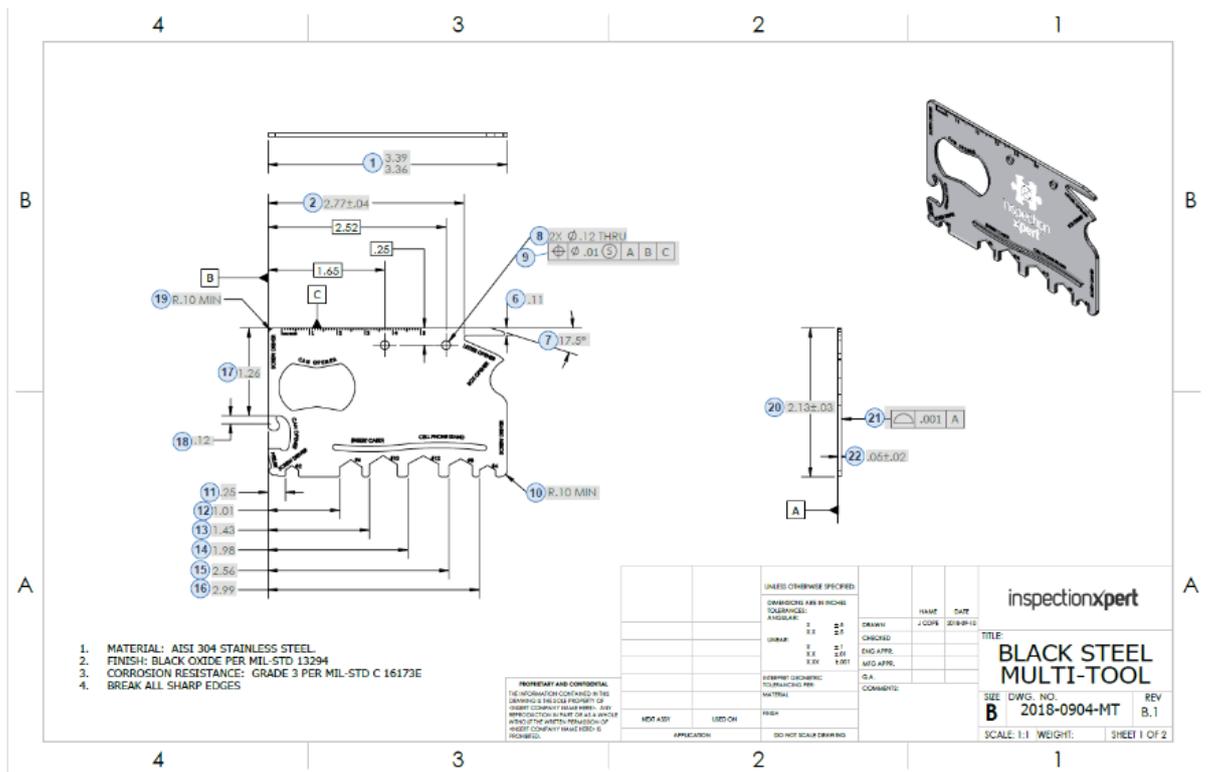
El objetivo principal del informe dimensional de una pieza metálica es verificar si las dimensiones de la pieza cumplen con los requisitos especificados en los planos técnicos, dibujos o especificaciones del cliente. El informe proporciona información detallada sobre las dimensiones lineales, angulares, de forma y otras características geométricas relevantes de la pieza (DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, 2006).

El contenido del informe dimensional puede variar dependiendo de la naturaleza y complejidad de la pieza, así como de los requisitos específicos del cliente. Sin embargo, en general, el informe puede incluir (Luke, 2021):

- Lista de características dimensionales: Enumeración de todas las dimensiones y características que se midieron en la pieza, como longitudes, diámetros, espesores, ángulos, perfiles, etc.
- Valores medidos: Los valores numéricos obtenidos en las mediciones de cada característica, mostrando la dimensión real de la pieza.
- Tolerancias: Las tolerancias especificadas en los planos o especificaciones del cliente, que indican la variación permitida en cada dimensión.
- Resultados de las mediciones: Indicación de si cada característica cumple con las tolerancias especificadas o si hay desviaciones fuera de los límites aceptables.
- Representación visual: Puede incluir dibujos, gráficos o imágenes que ayuden a visualizar las mediciones y características dimensionales de la pieza.

Este informe es importante para garantizar la calidad y la precisión de las piezas metálicas, así como para asegurar su cumplimiento con los requisitos establecidos. Ayuda a mantener registros precisos de las mediciones y a facilitar la comunicación entre los fabricantes, proveedores y clientes en relación con la conformidad dimensional de las piezas metálicas.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez



Pedro Guillermo Carbonell Núñez

BLACK STEEL															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	P
1	Production Part Approval - Dimensional Test Results														
2	Organization: inspectionxpert				Part Number: 2018-0904-MT										
3	Supplier/Vendor Code:				Part Name: BLACK STEEL MULTI-TOOL										
4	Inspection Facility:				Design Record A.5										
5					Engineering Change Documents:										
6	Organization Measurement Results (Data)														
7	Item	Dimension / Specification		Specification / Limits	Test Date	Qty. Tested	1	2	3	4	5	6	Ok	Not Ok	
8	1	3.39 / 3.36	in	3.39 3.36			3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37	X		
9	2	2.77	in	2.80 2.74			2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	X		
10	6	.11	in	0.111 0.109			0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	X		
11	7	17.5	deg	18.0 17.0			17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	X		
12	8	Ø.12	in	0.121 0.119			0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	X		
13	9	⊕Ø.01⊗ABC	in	0.01			0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	X		
14	10	R.10	in	0.10			0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	X		
15	11	.25	in	0.251 0.249			0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	X		
16	12	1.01	in	1.011 1.009			1.01	1.01	1.01	1.011	1.011	1.013		X	
17	13	1.43	in	1.431 1.429			1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	X		
18	14	1.98	in	1.981 1.979			1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	1.98	X		
19	15	2.56	in	2.561 2.559			2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	X		
20	16	2.99	in	2.991 2.989			2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	X		
21	17	1.26	in	1.261 1.259			1.26	1.26	1.26	1.261	1.261	1.263		X	

Figura 61. Ejemplo informe dimensional aplicado a pieza (Fuente: Inspectionxpert).

3.4.3 Plan de control

Un plan de control en el proceso de fabricación de una pieza es un documento que detalla las actividades y medidas necesarias para garantizar la calidad y la conformidad de la pieza durante su producción. El objetivo principal del plan de control es identificar y controlar los puntos críticos en el proceso de fabricación para minimizar los defectos y asegurar que la pieza cumpla con los requisitos especificados (SPC GROUP, 2013).

Capítulo 4. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

4.1 INTRODUCCIÓN

Una vez definido en el capítulo anterior el procedimiento metodológico a seguir en este trabajo fin de grado, este se deberá aplicar al casquillo metálico objeto de estudio de este TFG. Para ello, en primer lugar se definirá la causa de por qué realizar el cambio en el proceso de fabricación de esta pieza metálica y en segundo lugar se explicará la estructura del procedimiento que se va a llevar a cabo.

4.1.1 Declaración del problema

El procedimiento metodológico parte de una proposición básica: el ahorro de costes debido al cambio en el proceso de fabricación de la pieza metálica estudiada manteniendo los requerimientos técnicos del plano. Dicho ahorro, afecta no solo al coste económico sino también al coste medio ambiental. Este cambio en el proceso de fabricación se realizará debido a dos principales problemas estudiados en la propuesta de cliente.

En primer lugar, reducir el coste en el proceso de fabricación de una pieza metálica conlleva a una optimización de la producción. Esto se traduce en una disminución en el tiempo de fabricación, un ahorro en el coste de la energía y una reducción en el gasto de materia prima, lo que permite al fabricante aumentar el beneficio y al mismo tiempo el cliente reduce el gasto en piezas.

Comprar piezas a menor precio permite al vendedor (cliente) desmarcarse de la competencia, además de aumentar el valor añadido de su pieza, pudiendo demostrar que el proceso de fabricación llevado a cabo tiene un mínimo gasto de materia prima y un gasto en energía admisible. Con esto se podría justificar que cumple con 3 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la Asamblea General de las Naciones Unidas (Objetivos 9, 11 y 12).

En segundo lugar, según las Naciones Unidas, el drástico aumento en el uso de materias primas agudizará enormemente el cambio climático, aumentando la contaminación atmosférica y conduciendo al agotamiento de los recursos naturales. La huella de consumo de materiales (el metal es una de las 3 materias primas más

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

consumidas a nivel mundial) aumentó de 22 mil millones de toneladas en 1970 a 70 mil millones de toneladas en 2010, esto significa que si se sigue con esta tendencia en 2050 se consumirán 180 mil millones de toneladas. Alrededor del año 2000 la eficiencia en los procesos de fabricación cayó drásticamente debido al desplazamiento de la producción de países con economías más eficientes como Japón y Europa a economías menos eficientes como China e India (NACIONES UNIDAS, 2016).

Esto demuestra la necesidad de innovar la forma de producir y fabricar a nivel mundial. En este TFG se partirá de un proceso de fabricación por mecanizado en el que el porcentaje de materia prima desperdiciada puede superar el 45% del bruto inicial, y se cambiará a un proceso de fabricación pulvimetalúrgico por sinterización en el que únicamente se desperdicia un 3% de la materia prima utilizada.

Debido a la necesidad que tienen los países como China e India de innovar la forma de producir y fabricar piezas metálicas, se tomará en cuenta que la producción de esta pieza se llevará a cabo en ambos casos en China (fabricación por mecanizado y fabricación por sinterizado).

4.1.2 Estructura del procedimiento metodológico a seguir

Para llevar a cabo el procedimiento metodológico que se ha expuesto en el Capítulo 3, resulta oportuno dividir en 3 apartados la estructura.

En un primer momento se estudiará la petición realizada por el cliente. En esta petición de presupuesto o RFQ, el cliente informará del proceso de fabricación mediante el cual se fabrica la pieza, el plano de la pieza a fabricar, el precio objetivo que alcanza con su proveedor actual (se hará un estudio para evidenciar este coste), el volumen de consumo anual y el porqué de la búsqueda de nuevos proveedores respecto a esta pieza.

Una vez se tiene esta información, se estudiará el aspecto técnico de la pieza siguiendo el procedimiento metodológico descrito en el subapartado 3.2. Se estudiarán diferentes tipos de procesos de fabricación y según el resultado obtenido con el criterio de evaluación que se diseñó, se decidirá el proceso de fabricación más adecuado y óptimo para llevar a cabo la producción.

Teniendo el proceso de fabricación definido, se realizará un estudio económico siguiendo el procedimiento metodológico detallado en el subapartado 3.3. En primer lugar, se hará un estudio de mercado dependiendo de las necesidades demandadas por el cliente, en el cual se efectuará un estudio de la competencia y mediante un

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

análisis DAFO se analizarán las fortalezas y debilidades. Una vez realizado este estudio, se procederá a realizar la suma de los costes del proceso de fabricación que se ha tenido en cuenta, analizando el precio de la materia prima utilizada, el coste del proceso de fabricación en el que se desglosará, la mano de obra mínima para controlar y llevar a cabo la producción (este coste, al igual que el coste de optimización de la máquina irá incluido en los gastos generales, “Over Head” de la producción), la maquinaria y equipos necesarios y la energía utilizada, y por último el coste del transporte hasta las instalaciones del cliente.

4.2 PETICIÓN DE PRESUPUESTO O RFQ

El estudio de la RFQ del cliente y de sus necesidades es de suma importancia a la hora de posicionarse de cara a un proyecto.

En este apartado, se estudiará el proceso de fabricación actual de la pieza, lo que conllevará un estudio técnico y económico de la misma, por otro lado, se efectuará un estudio medioambiental respecto al impacto del proceso de producción llevado a cabo teniendo en cuenta el volumen anual a producir, y para terminar, se analizarán los motivos de la demanda de cliente para el cambio en el proceso de fabricación.

4.2.1 Estudio del proceso de fabricación actual y del plano de la pieza

Este casquillo metálico expuesto a continuación, tiene un proceso de fabricación actual por la tecnología de mecanizado.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 63. Plano casquillo coliso INOX (Fuente: propia).

Dimensiones de plano:

1. $9 \pm 0,1$ mm

2. $7 \pm 0,1$ mm

3. $7 \pm 0,15$ mm

4. $7 \pm 0,15$ mm

5. $19 \pm 0,2$ mm

6. $27 \pm 0,2$ mm

7. $R_a = 1,8$ μ m

8. $R = 0,2 \begin{matrix} +0,15 \\ -0 \end{matrix}$ mm

Teniendo en cuenta que el mecanizado es uno de los procesos de fabricación con mayor precisión, la geometría de este casquillo puede respetarse totalmente. Por otro lado, el material AISI 303 demandado por plano, es apto para el proceso de mecanizado. El casquillo no lleva ningún tipo de tratamiento térmico ni de recubrimiento superficial por lo que las propiedades mecánicas de la pieza vendrán dadas por el material y el proceso de fabricación llevado a cabo.

En cuanto al consumo anual que tiene el cliente respecto a esta pieza, se considera un volumen anual de 120.000 unidades divididas en 2 entregas de 60.000 unidades. Hay que tener en cuenta que este proyecto tiene una duración de 4 años además de los dos que ya lleva en producción. El volumen de producción en 2021 fue de 5.000 piezas y en 2022 de 20.000 piezas, y para los próximos años será de 120.000 piezas:

	2023	2024	2025	2026
Volumen de consumo estimado	120000	120000	120000	120000

Tabla 31. Volumen del proyecto a partir del 2023 (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Los principales motivos por los que el cliente busca un cambio en el tipo de proceso de fabricación son debido a la necesidad de reducir los precios de compra para posicionarse frente a la competencia y minimizar tanto la pérdida material como los tiempos de entrega.

4.2.2 Proceso de mecanizado

Para poder tener una estimación del tiempo de fabricación de este casquillo mediante un proceso por mecanizado, se va a hacer uso de la calculadora Walter.

La calculadora de mecanizado de Walter ofrece un cálculo preciso y completo para determinar el tiempo, potencia, torque, fuerza de corte, volumen de material removido y espesor de virutas en operaciones de mecanizado. Optimiza la planificación y ejecución de tareas, mejorando la productividad y eficiencia. Con parámetros específicos del material y otros datos introducidos por el usuario, se logran resultados altamente precisos para una fabricación eficiente y libre de problemas. Además, de proporcionar el tiempo estimado de fabricación de la pieza en cuestión (Walter, s.f.).

Para ello, en primer lugar se elegirá el bruto de barra del que se va a partir, en segundo lugar se decidirá qué tipo de material tendrá que tener la herramienta de corte apoyándonos en el subapartado 2.2.2.7 y por último se estudiará que proceso de mecanizado se tendrá que llevar a cabo en cada etapa de la fabricación para llegar a obtener la pieza requerida. Como se ha expuesto anteriormente, se trata de una estimación, no de un proceso definido, sin embargo es necesario para poder calcular el tiempo de producción, el número de máquinas CNC necesarias y las horas de trabajo. Con ello se podrá calcular el gasto en energía en el subapartado siguiente.

4.2.2.1 Elección del bruto de partida

Debido a que el diámetro principal de la pieza es de 27mm, partiremos de barra comercial de 28mm puesto que este diámetro es estándar. Las barras tendrán un largo de 5.8 metros, las cuales se irán cortando con unas creces de 2 mm para poder realizar correctamente el corte de las mismas y tener en cuenta los finales de barra. Por lo que el bruto de partida, tendrá un diámetro de 28mm y un largo de 11mm.

A continuación, se muestra una tabla con los diferentes diámetros comerciales de barra (Alsimet):

Pedro Guillermo Carbonell Núñez



ALMACENES SIDERO-METALÚRGICOS S.A.

Comercialización de metales férricos y no férricos, corte a medida y acabados

www.alsimet.es alsimet@alsimet.es

BARRA INOXIDABLE

INOXIDABLE: barras de inoxidable.

Macizo extrusionado

Redondos y hexagonales en largos de 3 a 6m.

Calidad: AISI 303-304

ACERO INOXIDABLE	
NORMA:	AISI 303
	AISI 304
	AISI 316

BARRA DE ACERO INOXIDABLE							
TABLA DE PESOS Y MEDIDAS							
Barras redondas				Barras hexagonales			
Med.	kg/ m	Med.	kg/ m	Med.	kg/ m	Med.	kg/ m
2	0,03	13	1,07	4	0,11	25	4,25
2,5	0,04	14	1,24	5	0,17	26	4,60
3	0,06	15	1,42	6	0,24	27	4,96
3,5	0,08	16	1,62	7	0,33	28	5,33
4	0,10	17	1,83	8	0,44	29	5,72
4,5	0,13	18	2,05	9	0,55	30	6,12
5	0,16	19	2,29	10	0,68	32	6,96
5,5	0,19	20	2,53	11	0,82	35	8,33
6	0,23	22	3,07	12	0,98	38	9,81
6,5	0,27	24	3,65	13	1,15	40	10,88
7	0,31	25	3,96	14	1,33		
7,5	0,36	26	4,28	15	1,53		
8	0,41	28	4,97	16	1,74		
8,5	0,46	30	5,70	17	1,97		
9	0,51	32	6,49	18	2,20		
9,5	0,57	35	7,76	19	2,45		
10	0,63	40	10,13	20	2,72		
10,5	0,70	45	12,82	21	3,00		
11	0,77	50	15,83	22	3,29		
12	0,91	55	19,16	23	3,60		
12	0,91	60	22,80	24	3,91		

Tabla 32. Diámetros de barra comercial acero inoxidable 303/304 (Fuente: Alsimet).

4.2.2.2 Tipo de material herramienta de corte

La elección del material de la herramienta de corte se realiza apoyándose en el subapartado 2.2.2.7, en el cual según la norma DIN ISO 513, para mecanizar el acero INOXIDABLE de serie 300 (en nuestro caso es un AISI 303), la herramienta de corte debe pertenecer al grupo M.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Se muestra a continuación la elección del material realizado en la calculadora Walter:



Figura 64. Material de herramienta para mecanizar casquillo INOX (Fuente: Walter).

El proceso de mecanizado del bruto para poder llegar a la geometría requerida consta de 4 etapas. En el refrentado y el cilindrado se hará uso de la misma herramienta, en cuanto al fresado y el tronzado final se usarán herramientas diferentes. Las fichas técnicas de estas herramientas vienen presentadas en el

ANEXOS de este TFG.

4.2.2.3 Procesos de mecanizado a llevar a cabo

El proceso de mecanizado del casquillo está dividido en 4 etapas, a continuación, se explicará cada una de ellas para poder llegar a la geometría final requerida.

1- Refrentado:

Para el refrentado, el valor del diámetro de torneado viene dado por el diámetro mayor de la pieza $\varnothing 28$ mm, en cuanto a la velocidad de corte V_c y el avance por vuelta f (o avance por revolución) vienen dada por la herramienta de la Figura 84. Para la longitud de corte, el valor es de 1mm y la profundidad de corte axial viene dada por el radio de la pieza (desde el punto de origen del refrentado hasta el punto final).

Para evidenciar los parámetros elegidos para cada operación, en esta primera (refrentado) operación se mostrarán los cálculos realizados al respecto:

Revoluciones por minuto:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{D_c \times \pi} [rpm] = \frac{300 \times 1000}{28 \times \pi} = 3410,46 [rpm]$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Velocidad de corte:

$$V_c = \frac{D_c \times \pi \times n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right] = \frac{28 \times \pi \times 3410}{1000} = 299,96 \left[\frac{m}{min} \right]$$

Velocidad de avance lineal:

$$V_f = n \times f \left[\frac{mm}{min} \right] = 3410,46 \times 0.06 = 204,63 \left[\frac{mm}{min} \right]$$

M Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)		Diámetro de torneado 28.00	Velocidad de corte 300	Revoluciones por minuto, RPM 3410
Profundidad de corte axial 14.00	Ángulo de entrada 90	Dc mm	vc m/min	n RPM
ap mm	k °	Avance por revolución 0.06	Velocidad de avance lineal 205	Longitud de corte 1
Ángulo de desprendimiento 0	Rendimiento 95	fn mm/rev	vf mm/min	lm mm
γ °	η %	Factor de desgaste 0	Fórmulas para el cálculo 	
			Fuerza principal de corte 2873.53 Fc N Volumen de arranque de viruta 126.00 cm ³ /min Tiempo de mecanizado 0.29 segundos Par 19.12 Mc Nm Potencia 7.18 Pmot KW	

Figura 65. Proceso de refrentado (Fuente: propia mediante la calculadora Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

← Torneado	Torneado ISO
M	Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)
Diámetro de torneado	28.00 Dc mm
Velocidad de corte	300 vc m/min
Revoluciones por minuto, RPM	3410 n RPM
Profundidad de corte axial	14.00 ap mm
Ángulo de entrada	90 k °
Avance por revolución	0.06 fn mm/rev
Velocidad de avance lineal	205 vf mm/min
Longitud de corte	1 lm mm
Ángulo de desprendimiento	0 γ °
Rendimiento	95 η %
Factor de desgaste	0 %
Fuerza principal de corte	2873.53 Fc N
Volumen de arranque de viruta	126.00 cm ³ /min
Tiempo de mecanizado	0.29 segundos
Par	19.12 Mc Nm
Potencia	7.18 Pmot kW

Tabla 33. Tabla valores refrentado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Mediante este proceso se consigue eliminar 1mm de la parte superior de la barra en bruto, de esta manera se limpian las impurezas y se calibra la parte superior de la pieza, con esto ya tendríamos el bruto preparado para empezar a mecanizar. Con esta operación, el bruto quedaría con un diámetro de 28 mm y un largo de 10 mm.

A continuación, se muestra un croquis de como quedaría el bruto. La parte roja corresponde a la zona refrentada y la flecha indica la dirección de la herramienta, en este caso es la pieza la que gira y la herramienta se desplaza longitudinalmente.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

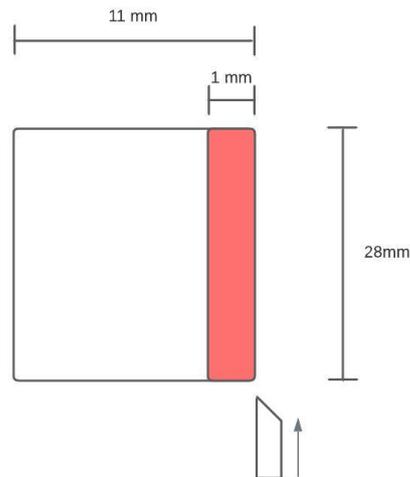


Figura 66. Croquis del bruto con la operación de refrentado (Fuente: propia).

2- Cilindrado:

La operación de cilindrado se divide en 2 etapas, en primer lugar se elimina 1 mm del diámetro mayor de la pieza (realizando 2 pasadas de 0,5mm), el bruto quedaría con un diámetro de 27 mm y un largo de 10 mm.

$$\text{Pasadas necesarias} = 1 \text{ mm} \div 0.5 \text{ mm} = 2 \text{ pasadas}$$

M	Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)		Díámetro de torneado	Velocidad de corte	Revoluciones por minuto, RPM
			27.00	300	3537
Profundidad de corte axial	Ángulo de entrada	Avance por revolución	vc m/min	n RPM	
0.50	90	0.06	212	Longitud de corte	
ap mm	k °	fn mm/rev	vf mm/min	lm mm	
Ángulo de desprendimiento	Rendimiento	Factor de desgaste	Fórmulas para el cálculo		
0	95	0	f _c		
γ °	η %	%			
			Fuerza principal de corte 102.63 Fc N		
			Volumen de arranque de viruta 8.83 cm ³ /min		
			Tiempo de mecanizado 2.83 segundos		
			Par 1.29 Mc Nm		
			Potencia 0.50 Pmot kW		

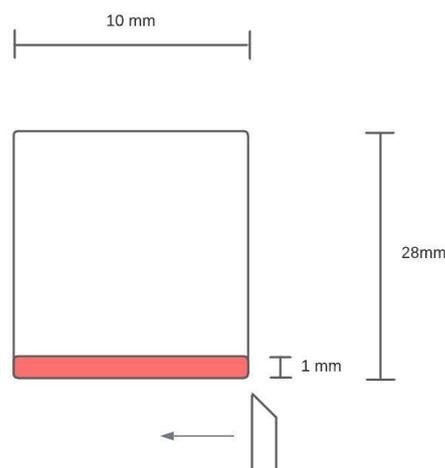
Figura 67. Proceso de cilindrado 1 (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

← Torneado	Torneado ISO
M	Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)
Diámetro de torneado	27.00 Dc mm
Velocidad de corte	300 vc m/min
Revoluciones por minuto, RPM	3537 n RPM
Profundidad de corte axial	0.50 ap mm
Ángulo de entrada	90 k °
Avance por revolución	0.06 fn mm/rev
Velocidad de avance lineal	212 vf mm/min
Longitud de corte	10 lm mm
Ángulo de desprendimiento	0 γ °
Rendimiento	95 η %
Factor de desgaste	0 %
Fuerza principal de corte	102.63 Fc N
Volumen de arranque de viruta	8.83 cm ³ /min
Tiempo de mecanizado	2.83 segundos
Par	1.29 Mc Nm
Potencia	0.50 Pmot KW

Tabla 34. Tabla valores primer cilindrado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Se muestra mediante un croquis como quedaría el bruto con la primera operación de cilindrado:



Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 68. Croquis de la primera operación de cilindrado (Fuente: propia).

A continuación, se eliminarían 4 mm de profundidad de diámetro en un largo de 7 mm. Para ello se deberán realizar 8 pasadas de 0.5 mm de profundidad por cada una de ellas.

$$\text{Pasadas necesarias} = 4 \text{ mm} \div 0.5 \text{ mm} = 8 \text{ pasadas}$$

M Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)		Díámetro de torneado	Velocidad de corte	Revoluciones por minuto, RPM
		27.00	300	3537
Profundidad de corte axial	Ángulo de entrada	Dc mm	vc m/min	n RPM
0.50	90	Avance por revolución	Velocidad de avance lineal	Longitud de corte
ap mm	k °	0.06	212	7
Ángulo de desprendimiento	Rendimiento	fn mm/rev	vf mm/min	lm mm
0	95	Factor de desgaste	Fórmulas para el cálculo	
γ °	η %	0		
		%		
		Fuerza principal de corte 102.63 Fc N Volumen de arranque de viruta 8.83 cm ³ /min Tiempo de mecanizado 1.98 segundos Par 1.29 Mc Nm Potencia 0.50 Pmot KW		

Figura 69. Proceso de cilindrado 2 (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

← Torneado	Torneado ISO
M	Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)
Diámetro de torneado	27.00 Dc mm
Velocidad de corte	300 vc m/min
Revoluciones por minuto, RPM	3537 n RPM
Profundidad de corte axial	0.50 ap mm
Ángulo de entrada	90 k °
Avance por revolución	0.06 fn mm/rev
Velocidad de avance lineal	212 vf mm/min
Longitud de corte	7 lm mm
Ángulo de desprendimiento	0 γ °
Rendimiento	95 η %
Factor de desgaste	0 %
Fuerza principal de corte	102.63 Fc N
Volumen de arranque de viruta	8.83 cm ³ /min
Tiempo de mecanizado	1.98 segundos
Par	1.29 Mc Nm
Potencia	0.50 Pmot kW

Tabla 35. Tabla valores segundo cilindrado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

El bruto quedaría con un diámetro de 27 mm en los tres primeros milímetros del largo de la parte inferior de la pieza y en los siguientes 7 mm con un diámetro de 19 mm tal y como muestra el siguiente croquis (la zona roja es la parte cilindrada). Únicamente quedaría por fresar la parte central para conseguir la geometría del coliso y realizar un tronzado para partir la pieza de la barra en bruto.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

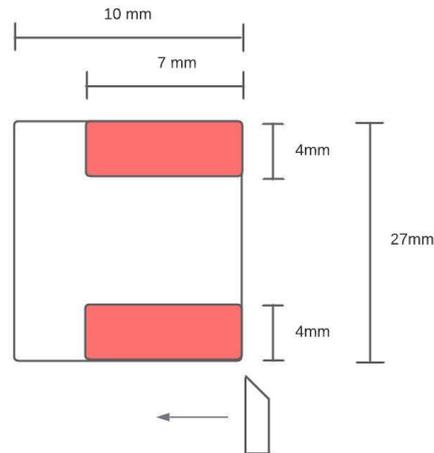


Figura 70. Croquis de la segunda operación de cilindrado (Fuente: propia).

3- Fresado de ranura con herramienta motorizada:

Para realizar el fresado del coliso central del casquillo metálico, se han de tener en cuenta el diámetro de la herramienta y los valores propios de la herramienta seleccionada. En este caso se pueden observar en la Figura 85, la velocidad de corte de la fresadora, la profundidad de corte axial, el ancho de corte (que suele estar entre un 60 y 75 % del diámetro de la herramienta, aunque en algunos casos puede llegar a ser el 100% de la misma). En esta situación, como se fresaría con el totalidad de la herramienta se considerará el diámetro de la misma y el avance por diente que viene definido en la Tabla 64. Para poder entender cada variable del proceso se ha tenido en cuenta la página web de Tecnocorte (Tecnocorte, 2021).

M Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)		Diámetro	6.00	Velocidad de corte	120	Revoluciones por minuto, RPM	6366
Número de dientes	4	Profundidad de corte axial	0.25	vc m/min		n RPM	
Z		Ancho de corte	6.00	Avance por diente	0.02	Avance por revolución	0.08
Velocidad de avance lineal	509	ae mm		fz mm		fn mm/rev	
vf mm/min		Longitud de corte	14.00	Rendimiento	95	Factor de desgaste	0
Fórmulas para el cálculo		Ángulo de desprendimiento	0	η %		%	
		γ °		Espesor medio de viruta 0.01 hm mm Volumen de arranque de viruta 0.76 cm ³ /min Tiempo de mecanizado 1.65 segundos Par 0.09 Mc Nm Potencia 0.06 Pmot KW			

Figura 71. Proceso de fresado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

← Fresado	Fresado-Ranurado	
M	Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)	
Diámetro	6.00	D _c mm
Velocidad de corte	120	v _c m/min
Revoluciones por minuto, RPM	6366	n RPM
Número de dientes	4	Z
Profundidad de corte axial	0.25	a _p mm
Ancho de corte	6.00	a _e mm
Avance por diente	0.02	f _z mm
Avance por revolución	0.08	f _n mm/rev
Velocidad de avance lineal	509	v _f mm/min
Longitud de corte	14.00	l _m mm
Ángulo de desprendimiento	0	γ °
Rendimiento	95	η %
Factor de desgaste	0	%
Espesor medio de viruta	0.01	h _m mm
Volumen de arranque de viruta	0.76	cm ³ /min
Tiempo de mecanizado	1.65 segundos	
Par	0.09	M _c Nm
Potencia	0.06	P _{mot} kW

Tabla 36. Tabla valores fresado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Para llegar hasta el final del casquillo habrá que realizar 40 pasadas más una que se hará para evitar las rebabas, es decir 41. Se calcula la altura total del casquillo y se divide entre la profundidad del corte axial (profundidad de cada pasada).

$$Pasadas\ necesarias = 10,25\ mm \div 0,25\ mm = 41\ pasadas$$

La pieza quedaría como se muestra a continuación, a falta del tronzado:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

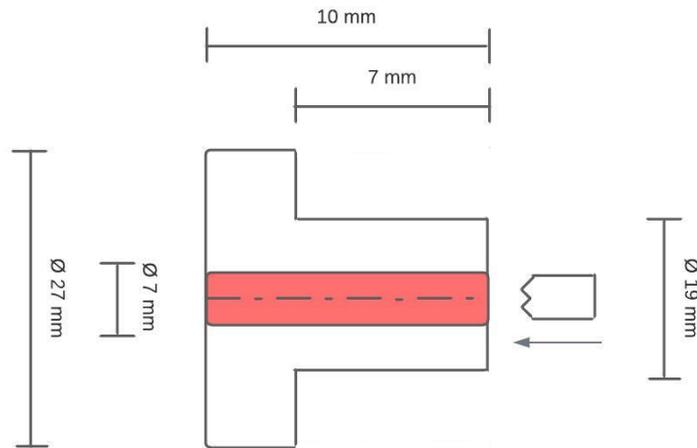


Figura 72. Croquis de la operación de fresado (Fuente: propia).

4- Tronzado:

La última etapa sería la de realizar sería el corte o separación de la pieza respecto al bruto.

M Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)		Diámetro de torneado 19.00	Velocidad de corte 180	RPM en el comienzo del corte 3016
Ancho de ranurado 1.00	Ángulo de entrada 90	Avance por revolución 0.10	vc m/min 302	n RPM 10
s mm 0	k ° 95	fn mm/rev 0	vf mm/min	lm mm
Ángulo de desprendimiento v °	Rendimiento η %	Factor de desgaste %	Fórmulas para el cálculo f_c	
			Fuerza principal de corte: 307.29 Fc N el volumen de arranque de viruta: 17.05 cm ³ /min Tiempo de mecanizado: 1.99 segundos Par: 2.63 Mc Nm Potencia: 0.87 Pmot KW	

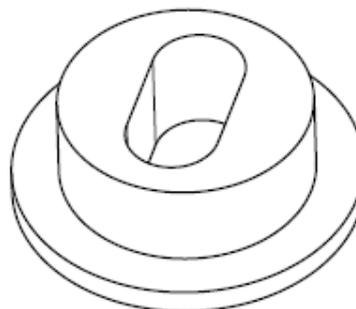
Figura 73. Proceso de tronzado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

← Torneado	Torneado-Ranurado
M	Acero inoxidable austenítico, precipitado (HB 200, Rm 675 N/mm ²)
Diámetro de torneado	19.00 Dc mm
Velocidad de corte	180 vc m/min
RPM en el comienzo del corte	3016 n RPM
Ancho de ranurado	1.00 s mm
Ángulo de entrada	90 k °
Avance por revolución	0.10 fn mm/rev
Velocidad de avance lineal	302 vf mm/min
Profundidad de ranura	10 lm mm
Ángulo de desprendimiento	0 γ °
Rendimiento	95 η %
Factor de desgaste	0 %
Fuerza principal de corte	307.29 Fc N
el volumen de arranque de viruta	17.05 cm ³ /min
Tiempo de mecanizado	1.99 segundos
Par	2.63 Mc Nm
Potencia	0.87 Pmot KW

Tabla 37. Tabla valores tronzado (Fuente: propia mediante calculadora Walter).

Una vez realizada esta última operación, donde se corta la pieza de la barra en bruto, dejando un largo de 2 mm en la base de la pieza, la geometría final sería la requerida por cliente:



Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 74. Casquillo acabado (Fuente: propia).

4.2.3 Cálculo del tiempo de fabricación

Para realizar el cálculo del tiempo total de fabricación, hay que sumar todos los tiempos de cada uno de los procesos de mecanizado expuestos anteriormente y multiplicarlo por el volumen total a producir.

En primer lugar se calcula el tiempo total para la fabricación de un casquillo [s/pieza]:

	Tiempo [s]	Tiempo total por operación [s]
Operación		
Refrentado	0,29	0,29
Cilindrado 1	2,83	5,66
Cilindrado 2	1,98	7,92
Fresado	1,65	67,65
Tronzado	1,99	1,99
TOTAL		83,51

Tabla 38. Cálculo del tiempo de fabricación de un casquillo (Fuente: propia).

Una vez se ha obtenido el tiempo total empleado en fabricar un casquillo, se debe multiplicar por el volumen total a producir:

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo total de producción} \\ & = \textit{Tiempo por pieza} \left[\frac{\textit{s}}{\textit{pieza}} \right] \times \textit{Volumen total de producción} [\textit{piezas}] \end{aligned}$$

$$\textit{Tiempo total de producción} = 83,51 \times 120.000 = 10.021.200 [\textit{s}]$$

Y se hace la conversión a horas:

$$\textit{Tiempo total de producción} = 10.021.200 [\textit{s}] \div 3.600 \left[\frac{\textit{s}}{\textit{h}} \right] = 2.783,67 [\textit{horas}]$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

En el cálculo realizado, se tiene en cuenta que la eficiencia del torno sea del 100%, no obstante en la práctica se debe multiplicarse por el índice OEE (Overall Equipment Effectiveness) que define la productividad y eficiencia de la maquinaria y de los procesos. Esto depende de tres variables principales como son la disponibilidad del equipo (mantenimiento o tiempos muertos de la máquina), el rendimiento (problemas de calidad y tiempos de ajuste excesivos) y la pérdida de calidad (rechazos, piezas que no cumplen con las dimensiones, tolerancias o requisitos de calidad de plano) pero, en este caso para la estimación se tendrá en cuenta que la eficiencia de la máquina es del 100% (Tecnología para la industria, 2023).

Según indeed, el ABC y MIT Technology Review las jornadas laborales en CHINA seguían un dicho llamado el horario 996, el cual establece que los empleados trabajaban de 9 de la mañana hasta las 9 de la noche, seis días a la semana (Meng, 2021). Teniendo en cuenta que se debe respetar un horario laboral adecuado a las personas, en este TFG, la jornada laboral constará de 8 horas diarias durante 5 días a la semana, es decir, 40 horas semanales de trabajo (GAMARRA, 2023).

Teniendo esto en cuenta el artículo publicado por El Economista, en China un trabajador con una antigüedad entre 1 y 10 años tiene derecho a 5 días laborales de vacaciones pagadas y 11 días de festivos nacionales (Millán, 2021). En el caso de este TFG, se tendrá en cuenta que el trabajador dispondrá de 7 días de vacaciones pagadas anuales más el número de días festivos propios de China por lo que se considerarán 249 días laborales a lo que habrá que restarle los 7 días extra que concede la empresa, por lo que quedarán 242 días laborales anuales.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

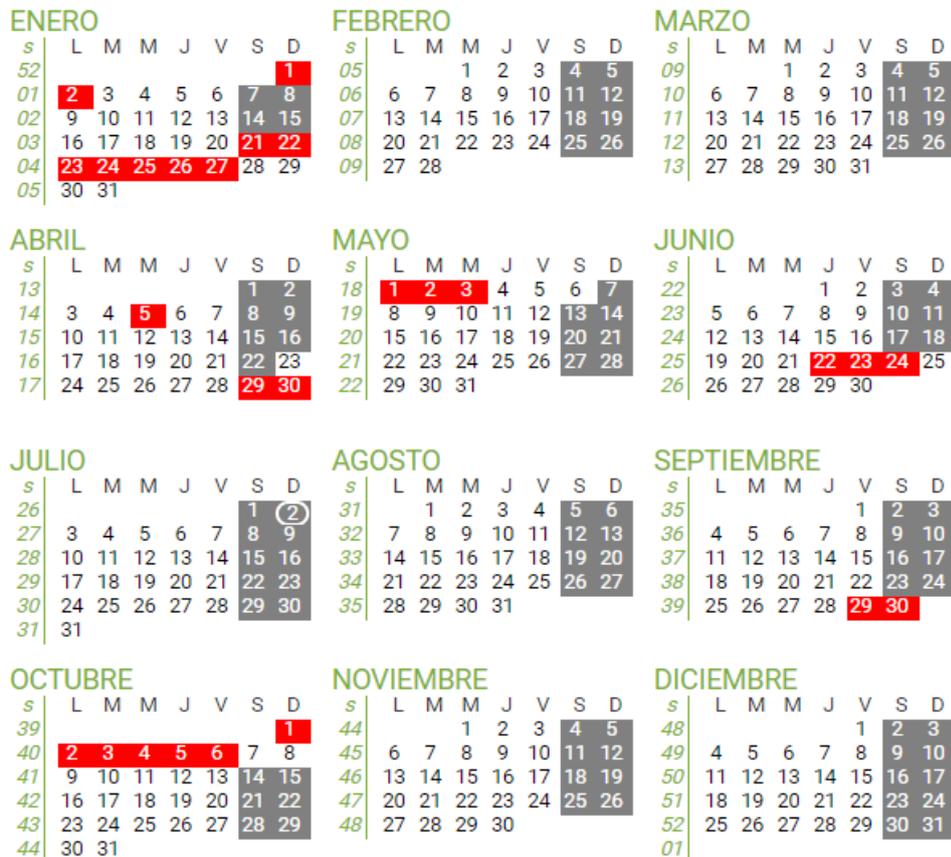


Figura 75. Calendario laboral en China con festivos marcados en rojo (Fuente: <https://china.workingdays.org/ES/>).

Calculadora | **Calendario** | Conversor de fecha | ..en China | configuración

Calcula el número de días laborables y festivos

entre el y el

semana 52 | semana 52

De domingo, 1 enero, 2023 a domingo, 31 diciembre, 2023 incluido, hay:

- ▼ Días - 365 +
- ▼ Días laborables - 249 +
- ▼ Fin de semana - 90 +
- ▼ Días feriados - 26 +
- ▼ Horas de trabajo - 1992h +
- Personalizadas - 0

Días feriados | Calendario | Excel

enero 2023

26	27	28	29	30	31	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	1	2	3	4	5

Mostrar numeración: días días laborables días feriados

FORMACIÓN ONLINE

OPOSICIONES ONLINE

Matricúlate en una academia de oposiciones.

BUSCAOPOSICIONES.com

¿Necesita un archivo de Excel personalizado?

¿Necesita un calendario imprimible?

API | Días laborables en año: 2022 | 2023 | 2024 | ..otro año | Excel | Contacto

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Figura 76. Cálculo del número de días laborables y festivos en un año en China (Fuente: <https://china.workingdays.org/ES/>).

Por otro lado, se calculará a continuación el total de días que harán falta para llevar a cabo la producción, se dividirá por los días laborales y de esta manera se tendrá una visión de la cantidad de empleados, maquinas CNC y turnos necesarios para llevar a cabo la producción y el envío de las piezas a tiempo para cumplir con los plazos de entrega demandados por el cliente. Destacar que en un primer momento se tendrá en cuenta una única maquina CNC con un empleado a su cargo.

$$\begin{aligned} & \text{Días necesarios para llevar a cabo la producción} \\ & = \text{tiempo total de producción [horas]} \div \text{horas laborales por día} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Días necesarios para llevar a cabo la producción} & = 2.783,67 \div 8 \\ & = 347,96 \text{ [días laborables teniendo en cuenta 1 maquina y 1 turno]} \\ & = 348 \text{ [días laborables teniendo en cuenta 1 maquina y 1 turno]} \end{aligned}$$

Debido a que con esta estimación, no se podría llegar a entregar a cliente según su necesidad, se tendrá en cuenta dos máquinas CNC y un turno de trabajo de 8 horas por cada una de ellas:

$$\begin{aligned} \text{Días necesarios para llevar a cabo la producción} & = 2.783,67 \div 8 \div 2 \\ & = 173,98 \text{ [días laborables teniendo en cuenta 2 maquinas y 1 turno por máquina]} \\ & = 174 \text{ [días laborables teniendo en cuenta 2 maquinas y 1 turno por máquina]} \end{aligned}$$

Se deberá calcular a continuación el número de meses que se tarda en sacar adelante la producción, para ello se tiene en cuenta que de los 174 días naturales que se tarda en llevar a cabo la producción se debe dividir entre los días laborables al mes. Hay que tener en cuenta que esto es una estimación, y se está intentando ser lo más predictivos y reales posibles:

$$\begin{aligned} \text{Estimación de días trabajados al mes} & = 242 \div 12 = 20,16 \text{ [días/mes]} \\ & = 20 \text{ [días/mes]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Meses necesarios para llevar a cabo la producción} \\ & = 174 \text{ [días laborables teniendo en cuenta 2 maquinas y 1 turno]} \\ & \div 20 \text{ [días trabajados al mes]} = 8,7 \text{ [meses]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Días extra necesarios para llevar a cabo la producción} \\ & = 0,7 \text{ [meses]} \times 20 \text{ [días trabajados al mes]} = 14 \text{ [días extra]} \end{aligned}$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Es decir, se necesitarían alrededor de 8 meses y 14 días para llevar a cabo la producción teniendo en cuenta que se está haciendo uso de dos máquinas CNC y de 1 empleado por cada máquina. El tiempo de producción para 60.000 piezas, es decir, de la mitad de la producción total, debería de rondar entre dos a 4 meses para que contando con el envío marítimo de las piezas, se pudiese entregar a tiempo al cliente. Teniendo en cuenta esto, se calcula a continuación el tiempo para llevar a cabo la mitad de la producción:

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo de producción para 60.000 unidades} \\ & = 8,7[\textit{meses para el total de la producción}] \div 2 = 4,35[\textit{meses}] \end{aligned}$$

Es decir, se tardaría 4 meses y 7 días en llevar a cabo la mitad de la producción por lo que para asegurar la entrega a cliente, habría que emplear una máquina CNC más de trabajo. De esta manera el tiempo de producción total sería el siguiente.

$$\begin{aligned} \textit{Días necesarios para llevar a cabo la producción} & = 2.783,67 \div 8 \div 3 \\ & = 115,99 [\textit{días laborables con 3 máquinas}] \\ & = 116 [\textit{días laborables con 3 máquinas}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textit{Meses necesarios para llevar a cabo la producción} \\ & = 116[\textit{días laborables teniendo en cuenta 3 maquinas}] \\ & \div 20[\textit{días trabajados al mes}] = 5,8 [\textit{meses}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textit{Días extra necesarios para llevar a cabo la producción} \\ & = 0,8[\textit{meses}] \times 20[\textit{días trabajados al mes}] = 16 [\textit{días extra}] \end{aligned}$$

Por lo tanto, teniendo en cuenta 3 máquinas CNC y 2 empleados (se turnarían para ir controlando el tercer torno CNC), se tardaría en llevar a cabo la producción total, 5 meses y 16 días, por lo que la mitad de la producción podría estar terminada en 3 meses y 3 días. Con esto se aseguraría la entrega a cliente.

Ahora que se tiene el número de máquinas y la cantidad de empleados implicados en la producción, se puede calcular el gasto en energía.

4.2.4 Cálculo del gasto en energía

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

El cálculo del gasto en energía viene dado por las máquinas que se vayan a tener en cuenta para llevar a cabo la producción y para el embalaje de las piezas. Es necesario disponer de la ficha técnica de las máquinas para poder saber el consumo eléctrico de cada una de ellas, multiplicarlo por las horas de uso y hacer la suma total.

Torno CNC con herramienta motorizada:

Los datos técnicos del torno son los que siguen:

- ✓ Diámetro máximo de torneado: 190 mm
- ✓ Longitud máxima de torneado: 503 mm
- ✓ Distancia entre husillos: Máx. 735mm / Min. 210mm
- ✓ Capacidad de barra: 42 mm
- ✓ Tamaño del mandril: 6''
- ✓ Velocidad del cabezal L/R: 6.000 min^{-1}
- ✓ Potencia motor de accionamiento del husillo: Entre 7,5 y 11 kW

Tanto estos datos como las imágenes del torno CNC están recogidos en la Figura 87 y la Tabla 65.

Ahora que tenemos la potencia del torno CNC, calculemos el gasto energético de la producción:

$$\text{Consumo energético de 1 torno CNC} = 11 \text{ [kW]}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético de 1 torno CNC para llevar a cabo la producción} \\ &= 11 \text{ [kW]} \times 2783,67 \text{ [horas de trabajo totales]} \\ &= 30.620,37 \text{ [kW totales]} \end{aligned}$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Esto quiere decir que para llevar a cabo la producción total, se necesitarán 30620,37 kW, únicamente teniendo en cuenta el gasto de un torno CNC (sin tener en cuenta otras variables de consumo de una fábrica). Para saber el gasto por torno, tendremos que dividir este total entre los tornos que vayamos a usar:

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético por torno implicado en la producción} \\ = 30.620,37 [kW] \div 3 [\text{tornos}] = 10.206,79 [kW/\text{torno}] \end{aligned}$$

Por lo que cada torno consumirá un total de 10.206,79 [Kw].

A continuación, se calculará el gasto energético al día:

$$\text{Consumo energético por día} = 11[kW] \times 8[\text{horas}] \times 3[\text{tornos CNC}] = 264 [kW/\text{día}]$$

Teniendo en cuenta que el precio del kW/h en China en diciembre de 2022 era de 0,088 USD/kWh (GlobalPetrolPrices, 2022) y en España de 0,214 USD/kWh, una hora de producción supondría un precio de:

$$\begin{aligned} \text{Coste consumo energético por hora de la CNC en China} \\ = 11[kW] \times 0,088[USD/kWh] = 0,968 [USD/h] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste consumo energético por hora de la CNC en España} \\ = 11[kW] \times 0,214[USD/kWh] = 2,354 [kW/\text{día}] \end{aligned}$$

Por lo que el precio del consumo energético anual sería de:

$$\begin{aligned} \text{Coste consumo energético anual de la CNC en China} \\ = 0,968 [USD/h] \times 8[h/\text{día}] \times 242[\text{días laborales}] \\ = 1.874,048[USD/año] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste consumo energético anual de la CNC en España} \\ = 2,354 [USD/h] \times 8[h/\text{día}] \times 242[\text{días laborales}] \\ = 34.557,344[USD/año] \end{aligned}$$

En conclusión, el coste energético asociado a la producción sería el siguiente:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\begin{aligned} & \text{Coste consumo energético de la producción total en China} \\ & = 0,968 \text{ [USD/h]} \times 2.783,67 \text{ [horas de trabajo totales]} \\ & = 2.694,59 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

Podemos entonces estimar que el coste energético asociado a la producción en el precio pieza sería de:

$$\text{Coste energético por pieza} = 2.694,59 \text{ [USD]} \div 120.000 \text{ [piezas]} = 0,022 \text{ [USD/pc]}$$

4.2.5 Cálculo del gasto en materia prima

En primer lugar, para poder calcular el gasto en materia prima, se deberá conocer el bruto de partida de cada pieza, para ello habrá que definir el volumen de la pieza y multiplicarlo por la densidad del material. La densidad del AISI 303 es igual a $8,03 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$ (CHILEXPO):

- Volumen del bruto de partida:

$$V = \pi \times r \text{ [mm]}^2 \times h \text{ [mm]} = \pi \times \left(\frac{28}{2} \right)^2 \times 11 = 6.773,273 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$\begin{aligned} V & = 6.773,273 \text{ [mm}^3\text{]} \times 10^{-9} = 0,000006773273 \text{ [m}^3\text{]} \\ & = 6,773273 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

- Peso del bruto:

$$\rho_{\text{AISI 303}} = 8,03 \left[\frac{g}{cm^3} \right] \times 1.000 = 8.030 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\text{Peso bruto} = \rho \times V = 8.030 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times (6,773273 \times 10^{-6}) \text{ [m}^3\text{]} = 0,0543 \text{ [kg]}$$

En cuanto al peso neto de la pieza, aparece en el propio plano:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\text{Peso neto pieza} = 0,0180 \text{ [kg]}$$

Ahora se debe calcular el peso total de la materia prima que se va a utilizar para poder llevar a cabo la producción total, para ello se realizará el cálculo multiplicando el peso del bruto por el volumen total de la producción:

- Peso bruto total de la materia prima para la producción:

Peso bruto total del material para la producción

$$\begin{aligned} &= \text{Peso bruto de la pieza} \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times \text{volumen total [pcs]} \\ &= 0,0543 \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times 120.000 \text{ [pcs]} = 6.516 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

- Peso neto total una vez mecanizada la pieza:

Peso neto total del material para la producción

$$\begin{aligned} &= \text{Peso neto de la pieza} \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times \text{volumen total [pcs]} \\ &= 0,0180 \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times 120.000 \text{ [pcs]} = 2.160 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

- Cantidad de materia prima para chatarra:

$$\text{Chatarra} = 6.516 \text{ [kg]} - 2.160 \text{ [kg]} = 4.356 \text{ [kg]}$$

Esto quiere decir que del total de la materia prima usada, 4.356 kilogramos corresponden a viruta para chatarra (se reutilizará, pero se pierde una cantidad razonable de materia prima). Este es uno de los principales factores para estudiar un cambio en el proceso de fabricación de esta pieza y de esta manera reducir el impacto ambiental de la producción.

- Coste estimado en materia prima:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Coste total materia prima

$$\begin{aligned} &= \text{Peso bruto total de la producción [kg]} \\ &\times \text{precio materia prima [USD/kg]} \\ &= 6.516 \text{ [kg]} \times 4,89 \text{ [USD/kg]} = 31.863,24 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

El precio de la materia prima viene dado por el acerista. En cuanto a la chatarra y la aleación, existen índices públicos los que permiten actualizar el coste del mismo por meses, trimestres, semestres o por años. En automoción, debido a los volúmenes altos de producción, suele demandarse la actualización de precios de piezas cada mes. En este TFG el coste de la materia prima está estimado según:

$$\text{Coste total materia prima} = \text{Precio base [USD/kg]} + \text{Aleación [USD/kg]}$$

Teniendo en cuenta el precio del transporte desde el acerista al fabricante y el impuesto chino de importaciones internas, sube el precio del base un 35%:

$$\begin{aligned} \text{Coste total materia prima} &= 2,59 \times 1,35 \text{ [USD/kg]} + 1,8 \text{ [USD/kg]} \\ &= 5,29 \text{ [USD/kg]} \end{aligned}$$

El precio de la chatarra se estima que es de un 10% del coste del base más la aleación, por tanto sería de 0,529 [USD/kg]

4.2.6 Cálculo del coste total estimado

Para poder obtener el coste total por pieza de la producción, se debe desglosar cada una de las variables que afectan al precio. A continuación, se expone el desglose de costes estudiados (es una estimación ya que no se va a llevar a cabo la producción, es decir, que es un precio teórico) asociados a la producción de este casquillo de acero inoxidable:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	120.000
Machine type	TORNO + FRESA
Material	AISI303
Material Price (USD/Kg)	5,29
Scrap price (USD/Kg)	0,53
Gross weight (kg)	0,0543
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,27
Torneado (USD/pc)	0,027
Fresado (USD/pc)	0,117
Transport (FOB) (USD/pc)	0,005
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,023
Herramientas (USD/pc)	0,036
SUBTOTAL	0,491
OH + Rechazos (5%)	0,025
Profit (10%)	0,049
Tooling cost - if applicable	0
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,565

Tabla 39. Desglose de costes por pieza teniendo en cuenta proceso de fabricación por mecanizado (Fuente: propia).

El coste del proceso de mecanizado (torneado + fresado) se obtiene multiplicando el tiempo total del uso de la máquina por la tasa horaria del equipo (esto viene dado por el proveedor y en este TFG se estima de acuerdo a la media en China para un proceso de mecanizado CNC). Estos costes están estimados según la Tabla 66 y Figura 89. Para el cambio de Yuan renmimbi Chino a Dólares, usamos el índice (Xe Converter, s.f.), en este caso hemos tomado como coste estimado de proceso de mecanizado 45 [€/h]:

$$\begin{aligned}
 & \text{Coste del proceso de mecanizado, } C_p \\
 & = \text{Tiempo total de uso de la máquina [horas]} \\
 & \times \text{tasa horaria de la máq [USD/h]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Coste del proceso de mecanizado, } C_p & = 2.783,67 \text{ [horas]} \times 6,22 \text{ [USD/horas]} \\
 & = 17.314,4274 \text{ [USD]}
 \end{aligned}$$

Para poder tener el coste de mecanizado por pieza, se realiza el siguiente cálculo:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\begin{aligned} \text{Coste del proceso de mecanizado por pieza} \\ &= C_p [\text{USD}] \div \text{total de piezas a fabricar [piezas]} \\ &= 17.314,4274 \div 120.000 = 0,1443 [\text{USD/pc}] \end{aligned}$$

Una vez se tiene el precio total por pieza, se debe de calcular el coste por proceso, es decir, el coste en el proceso de torneado (refrentado, cilindrado y tronzado) y el coste en el proceso de fresado, para ello del tiempo total de producción, hacemos la diferencia entre el tiempo de torneado y de fresado:

$$\begin{aligned} \text{Coste del proceso de torneado total} &= \frac{C_p [\text{USD}] \times \text{tiempo de torneado [s]}}{\text{tiempo total de mecanizado [s]}} \\ &= \frac{17.314,4274 \times 15,86}{83,51} = 3.288,31 [\text{USD}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste del proceso de torneado por pieza} \\ &= \text{Coste del proceso de torneado total [USD]} \\ &\div \text{Total de piezas [piezas]} = 3.288,31 \div 120.000 = 0,0274 [\text{USD/pc}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste del proceso de fresado por pieza} \\ &= \text{Coste del proceso de mecanizado por pieza} \\ &- \text{Coste del proceso de torneado por pieza} = 0,1169 [\text{USD/pc}] \end{aligned}$$

Con respecto al precio de transporte, se tendrá en cuenta un precio de 0 [USD/kg], este viene dado por las empresas transportistas como DHL, DSV, Shencker etc. Para el cálculo del mismo debemos conocer el puerto de origen, en este caso es el puerto de Shanghái en China y el puerto de destino, que será el puerto de Barcelona, el peso de la mercancía y el volumen de la misma. Una vez se conozca, se calculará el coste del envío terrestre hasta Bilbao donde se entregará al cliente. La suma de estos dos precios dará el coste en [USD/kg] del transporte. Como se va a entregar el pedido en dos envíos de 60.000 piezas (1.080 kg), se tendrá entonces que calcular el precio del transporte teniendo en cuenta el peso respecto a 60.000 piezas:

$$\text{Coste transporte} = \text{Coste transporte marítimo} + \text{Coste transporte terrestre}$$

El coste del transporte marítimo se calculó mediante los precios ofrecidos por la empresa C.H. Robinson:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

	2	
LCL	1080	
CUBICAJE	0,151	
VALOR MERCANCIA		25
ORIGEN	SHANGHAI // VALENCIA - BARCELONA	CH ROBINSON
FLETE		50
GASTOS ENS		0
ORIGEN QUEBRANTO BANCARIO: 1%		0,5
		46,28545477
	1,0910555	
THC		36
ECS//entreguese adicional		0
T-3 MERCANCIA		7,92
DOCS		28
FORFAIT		0
MOV.CONT		18
GASTOS A LA LLEGADA DUA (DESPACHO DE ADUANAS)		75
ISPS		0
INBALANCE SURCHARGE/BL		0
FITO		0
CAUCION		0
T-1		0
TOTAL		164,92
transporte entrega		0
HASTA DESTINO FINAL		211,2054548
EUR/KG		0,195560606

Figura 77. Desglose costes transporte marítimo (Fuente: calculo propio con tarifas de C.H. Robinson).

Para entender de donde sacamos la información para poder estimar el coste del transporte marítimo, a continuación se pone un ejemplo de cada uno de los costes para un transporte de 3.000 kilogramos y 3 CBM:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

To		Origin		Destination		
		CNNGB Ningbo, Zhejiang		ESBCN Barcelona		
Load		Options				
Weight	3.000 kg	Customs brokerage	Yes			
Volume	3 cbm	Insurance	No			
Modes <input checked="" type="checkbox"/> LCL <input checked="" type="checkbox"/> LTL		Incoterm	FOB			
Service level		Commodity description		Chargeable volumes		
Port to port transit time 32 days		CARGA GENERAL		Shipping factor 1.000 cm³/kg		
				Value 3 cbm		
Fee code	Fee name	Comment	Units	Unit price	Amount	Final amount
From CNNGB Ningbo, Zhejiang			To ESBCN Barcelona			
Ocean Freight	Flete marítimo Ningbo	Por Ton/cbm	3	USD 25,00	USD 75,00	EUR 68,45
Ocean Freight	Flete marítimo shanghai	Por Ton/cbm	3	USD 25,00	USD 75,00	EUR 68,45
Ocean Freight	Flete marítimo qingdao	Por Ton/cbm	3	USD 25,00	USD 75,00	EUR 68,45
Ocean Freight	Flete marítimo nahva sheva	Por Ton/cbm	3	USD 47,00	USD 141,00	EUR 128,68
Subtotal						EUR 334,03
Destination charges		ESBCN Barcelona				
THC	THC	Por cbm	3	EUR 20,00	EUR 60,00	EUR 60,00
T3	Tasa Portuaria T3	Por Ton	3	EUR 3,96	EUR 11,88	EUR 11,88
DOCS	Documentación	Por BL	1	EUR 28,00	EUR 28,00	EUR 28,00
CUSTOM	Despacho importación	Por despacho	1	EUR 75,00	EUR 75,00	EUR 75,00
MOV	Movimiento contenedor	Por Ton/mcb	3	EUR 5,00	EUR 15,00	EUR 15,00
CSC	Carga sobre camión	Por Ton	3	EUR 10,00	EUR 30,00	EUR 30,00
WAH	Entrega almacén	Por cbm	3	EUR 4,00	EUR 12,00	EUR 12,00
Subtotal						EUR 231,88
Total Price						EUR 565,91

Figura 78. Desglose costes transporte marítimo (Fuente: <https://www.chrobinson.com/es-es/>).

El coste del transporte terrestre desde el puerto de Barcelona a Bilbao, se ha estimado según precios obtenidos por la empresa logística DSV:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

País de Origen	España	
Grupo de códigos postales	8	
Códigos postales en origen	080	
País de Destino	España	
Zona en destino	1	
Códigos postales en destino	010-019, 200-209, 480-489	
Condiciones:	DAP - Delivered at Place	
Precio en KG per Shipment	EUR	
1	25	11,09
26	50	14,31
51	75	18,71
76	100	21,71
101	150	23,29
151	200	27,46
201	250	33,58
251	300	37,71
301	350	42,08
351	400	45,87
401	450	49,95
451	500	53,55
501	600	61,41
601	700	68,98
701	800	78,22
801	900	87,08
901	1000	95,61
1001	1250	107,94
1251	1500	124,55
1501	1750	149,45
1751	2000	166,06
----	----	----

Tabla 40. Costes transporte terrestre Nacional (Fuente: propia).

El cambio de euros a dólares se hace mediante el conversor ifcmarkets (IFC markets, s.f.):

$$\text{Cambio Euros a Dólares} = 0,1956 \text{ [EUR]} = 0,2123 \text{ [USD]}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste transporte marítimo por entrega [60.000 piezas]} \\ = 0,2123 \text{ [USD/kg]} \times 1.080 \text{ [kg]} = 229,284 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\text{Cambio Euros a Dólares} = 107,94[\text{EUR}] = 117,53 [\text{USD}]$$

$$\text{Coste transporte terrestre por entrega [60.000 piezas]} = 117,53 [\text{USD/kg}]$$

$$\begin{aligned}\text{Coste total transporte por entrega} &= 229,284 [\text{USD}] + 117,53 [\text{USD}] \\ &= 346,814 [\text{USD/entrega}]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Coste transporte por pieza} &= 346,814 [\text{USD/entrega}] \div 60.000[\text{piezas}] \\ &= 0,0057 [\text{USD/pc}]\end{aligned}$$

Se estimará un coste de 0,005 [USD/pc] para el transporte en lotes de 60.000 piezas.

Es importante dividir el coste del transporte en dos entregas ya que las tarifas cambian según el peso y el CBM del lote a transportar.

Los costes del embalaje, inspecciones y mantenimiento de herramientas vienen dados por el proveedor (fabricante). Cabe destacar que el coste de mantenimiento de herramienta puede parecer elevado, pero se tiene que tener en cuenta que el mecanizado del acero inoxidable provoca que las herramientas pierdan sus propiedades antes de tiempo.

Se tiene en cuenta que la fábrica tiene un gasto general (“OH=overhead”) y unos rechazos del 5% respecto al subtotal del precio por pieza, por otro lado, se respetará que el fabricante tenga un beneficio del 10% del coste de la pieza.

En el porcentaje de los gastos generales, está incluido el gasto en personal implicado, la amortización de la fábrica, es decir, coste de la nave industrial construida por el fabricante y la compra de maquinaria.

4.3 ESTUDIO TÉCNICO DE LA PIEZA

La decisión de que proceso de fabricación adoptar para llevar a cabo la producción de este casquillo expuesto anteriormente, depende del estudio técnico que se hará de los diferentes procesos de fabricación que se van a exponer a continuación.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Para poder tener una visión general de diferentes procesos, se tendrán en cuenta 7 procesos de fabricación diferentes y el que resulte más óptimo será el que se tomará para llevar a cabo la producción.

Con el fin de comparar los 7 procesos de fabricación, se analizarán uno a uno siguiendo el procedimiento metodológico creado en el subapartado 3.2 y se irán evaluando y clasificando del más óptimo al menos óptimo.

4.3.1 Estudio de los posibles procesos de fabricación

El estudio de las diferentes tecnologías de fabricación posibles para llevar a cabo la producción de este casquillo referencia 27X9.SS.BUSHING, se efectuará siguiendo el procedimiento metodológico creado en el subapartado 3.2 y clasificando cada una de ellas en la Tabla 28 expuesta en el subapartado 3.2.2 en la que mediante el sistema de puntos creado, se podrá evidenciar la tecnología de fabricación más óptima:

Tecnologías de fabricación	Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Mecanizado								
Forja en frío								
Forja en caliente								
Fundición a la cera perdida								
Impresión 3D								
Sinterizado								
Estampación								

4.3.1.1 Mecanizado

Las tolerancias dimensionales de la pieza son perfectamente alcanzables mediante el proceso de mecanizado, al igual que las tolerancias geométricas y la rugosidad Ra demandada.

En cuanto a si el mecanizado es un proceso de fabricación rentable para llevar a cabo la producción requerida, destacar que como se ha expuesto en los subapartados 4.2.3 y 4.2.5, se puede deducir que para volúmenes pequeños o series cortas de 5.000 unidades podría ser óptimo, pero para un volumen como el demandado de 120.000 unidades, la rentabilidad baja exponencialmente.

El impacto ambiental es enorme debido a la cantidad de materia prima desperdiciada, sin embargo, el gasto energético es el habitual en las fábricas de mecanizado.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Tecnologías de fabricación Mecanizado	2	2	2	1	0	1	8

Tabla 41. Clasificación del proceso de mecanizado (Fuente: propia).

4.3.1.2 Forja en frío

La forja en frío es un proceso de fabricación que implica deformar el metal a temperatura ambiente mediante la aplicación de fuerza mecánica. Se utiliza maquinaria especializada, como prensas hidráulicas, para dar forma al metal sin calentarlo previamente. Esto permite obtener piezas con mayor precisión dimensional y propiedades mecánicas mejoradas (BYORAU U.S.A. , s.f.).

Es uno de los procesos más comunes para volúmenes de fabricación importantes, y suele ser muy utilizado en la automoción, la industria aeroespacial, la construcción, la fabricación de maquinaria y herramientas. Combinándolo con el mecanizado, se vuelve un proceso muy competitivo cuando los volúmenes son altos, se requiere un nivel de precisión alto y se necesita reducir el gasto de materia prima. Las tolerancias dimensionales alcanzables con la forja en frío varían según el tipo de material, el diseño de la pieza y las capacidades de la maquinaria utilizada. Sin embargo, en general, se pueden lograr tolerancias de $\pm 0,1$ mm a $\pm 0,5$ mm en dimensiones lineales. Para características más críticas, como agujeros o superficies de contacto, las tolerancias pueden ser aún más ajustadas, generalmente en el rango de $\pm 0,05$ mm a $\pm 0,2$ mm (THE FEDERAL GROUP USA, 2017).

En este caso, es junto con el sinterizado, la tecnología que más se adapta al proyecto requerido ya que podría cumplir con las tolerancias dimensionales (aunque habría que asegurarse de ciertas zonas de la pieza para no tener que mecanizar), las tolerancias geométricas y la rugosidad demandada, por tanto sería una tecnología rentable para los volúmenes requeridos y el impacto ambiental sería óptimo (se ahorra materia prima y no se hace uso de ningún proceso de calentamiento de material ya que el proceso se hace a temperatura ambiente). Por último destacar, que como se ha expuesto anteriormente, para los volúmenes demandados el tiempo de producción sería rentable.

Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Tecnologías de fabricación Forja en frío	1	2	2	2	2	2	11

Tabla 42. Clasificación del proceso de forja en frío (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

4.3.1.3 Forja en caliente

La fabricación mediante forja en caliente es óptima cuando se requiere la conformación de piezas metálicas con alta resistencia mecánica y durabilidad. Este proceso es especialmente adecuado para materiales que presentan alta temperatura de fusión y baja plasticidad a temperatura ambiente, permitiendo la formación de productos con propiedades mecánicas superiores. Es por ello, que este tipo de tecnología de fabricación es muy utilizado en el sector automotriz y aeroespacial (árboles de levas, ejes, cigüeñales, pistones...)(XINLONG MACHINERY & EQUIPMENT CO.,LTD, 2021).

Teniendo en cuenta el casquillo a fabricar, la forja en caliente sería un proceso que no se tendría en cuenta desde el primer momento, esto es debido a que no cumpliría con las tolerancias dimensionales ni geométricas (la norma DIN EN 10243-1 establece los valores admisibles de dichas tolerancias para piezas de forja), la rugosidad demandada no se cumpliría y en cuanto a la rentabilidad del proceso, teniendo en cuenta el impacto ambiental que conllevan los hornos propios de la forja en caliente y el gasto de energía que conlleva, podríamos decir que la viabilidad sería nula.

Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Tecnologías de fabricación							
Forja en caliente	0	0	0	1	0	1	2

Tabla 43. Clasificación del proceso de forja en caliente (Fuente: propia).

4.3.1.4 Fundición a la cera perdida (microfusión)

La fabricación por microfusión o fundición a la cera perdida es un proceso de producción utilizado para crear piezas complejas y de alta precisión mediante la fundición de metales en moldes cerámicos. Los pasos clave incluyen el diseño del modelo en CAD, la creación de moldes de cera, la fusión de metales, el vaciado en los moldes, la eliminación de la cerámica y el acabado final de las piezas (BIRTLH, s.f.) (Radver, s.f.).

Mediante la tecnología de fundición a la cera perdida, existen algunas tolerancias de plano las cuales habría que mecanizar. Para ello, hay que apoyarse en la tabla siguiente, la cual indica las tolerancias alcanzables según las dimensiones estudiadas:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Raw casting basic dimension mm		Total casting tolerance ¹⁾ mm															
		Casting tolerance grade CT ^{2) 3)}															
over	up to and including	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 ⁴⁾	14 ⁴⁾	15 ⁴⁾	16 ⁴⁾⁵⁾
—	10	0,09	0,13	0,18	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8	4,2	—	—	—	—
10	16	0,1	0,14	0,2	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3	4,4	—	—	—	—
16	25	0,11	0,15	0,22	0,3	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2	4,6	6	8	10	12
25	40	0,12	0,17	0,24	0,32	0,46	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6	3,6	5	7	9	11	14
40	63	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	10	12	16
63	100	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6	9	11	14	18
100	160	0,15	0,22	0,3	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	12	16	20
160	250	—	0,24	0,34	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	14	18	22
250	400	—	—	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12	16	20	25
400	630	—	—	—	0,64	0,9	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14	18	22	28
630	1 000	—	—	—	—	1	1,4	2	2,8	4	6	8	11	16	20	25	32
1 000	1 600	—	—	—	—	—	1,6	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18	23	29	37
1 600	2 500	—	—	—	—	—	—	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21	26	33	42
2 500	4 000	—	—	—	—	—	—	—	4,4	6,2	9	12	17	24	30	38	49
4 000	6 300	—	—	—	—	—	—	—	—	7	10	14	20	28	35	44	56
6 300	10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	16	23	32	40	50	64

1) See clause 9.
2) For wall thicknesses in grades CT1 to CT15, one grade coarser applies (see clause 7).
3) See clause 5.
4) For sizes up to 16 mm, general tolerances from CT13 to CT16 are not available. For these sizes individual tolerances shall be indicated.
5) Grade 16 exists only for wall thicknesses of castings generally specified to CT15.

Tabla 44. Tolerancias de fundición según ISO8062 (Fuente: <https://www.steel-foundry.com/blog/casting-tolerances-by-different-casting-processes/>).

Para la geometría del casquillo estudiado, las dimensiones 1 a 5 deberían llevar un mecanizado posterior a la fundición para poder cumplir con sus tolerancias, respecto a las tolerancias geométricas las cumpliría ya que no existe ninguna exigencia en el plano, la rugosidad no se conseguiría sin mecanizar la superficie y en cuanto al volumen, decir que sería una producción rentable teniendo en cuenta el volumen a producir. El impacto ambiental dependería directamente de la cantidad de cera vaciada y de su reutilización, en el caso de no ser reciclada correctamente, podría provocar lixiviados los cuales afectarían negativamente al medio ambiente. Por último, el volumen de producción podría ser viable pero no se trataría de la tecnología de fabricación más óptima para llevar a cabo la producción.

Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Tecnologías de fabricación							
Fundición a la cera perdida	1	2	1	2	1	1	8

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Tabla 45. Clasificación del proceso de microfusión (Fuente: propia).

4.3.1.5 Impresión 3D

La impresión 3D forma parte de los procesos de fabricación más novedosos en la industria de la fabricación, mediante la adición de capas sucesivas de material, ha revolucionado los métodos de fabricación. Permite la producción rápida de prototipos, personalización a gran escala y fabricación descentralizada. Además, ha impulsado la innovación, reducido los costos y mejorado la eficiencia en diversos sectores industriales (3DEXPERIENCE Make, s.f.) (Adeva, 2023).

Para el proyecto en cuestión estudiado en este TFG, la tecnología de fabricación mediante impresión 3D no es una tecnología óptima debido a que, aunque las tolerancias dimensionales sean alcanzables al igual que las geométricas, el impacto medioambiental sea mínimo (únicamente habría que estudiar el gasto energético ya que no habría desperdicio de materia prima o este sería mínimo), el volumen a producir no sería rentable y el tiempo de producción sería muy alto.

Tecnologías de fabricación	Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Impresión 3D		2	2	1	0	2	0	7

Tabla 46. Clasificación del proceso de impresión 3D (Fuente: propia).

4.3.1.6 Estampación

La estampación es un proceso de fabricación que utiliza fuerza mecánica para dar forma a materiales metálicos mediante la aplicación de presión a través de troqueles. Permite la producción en masa de piezas con alta precisión, eficiencia y consistencia, utilizada en diversas industrias como automotriz, electrónica y construcción (Universidad Politécnica de Zacatecas, 2018).

El principal problema de esta tecnología para llevar a cabo el proceso de fabricación de este casquillo metálico, se debe a la diferencia de espesores entre el diámetro inferior (\varnothing 27mm) el cual es de 2mm y el diámetro del cuerpo del casquillo (\varnothing 19mm) que es de 7 mm. Debido a esta diferencia la tecnología de fabricación mediante estampación no es válida para esta geometría.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

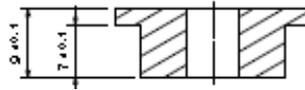


Figura 79. Espesores del casquillo (Fuente: propia).

En cuanto a las variables del volumen a producir, el impacto ambiental y el tiempo de producción, se podría decir que en el caso de que la geometría fuese viable, cumpliría con los requisitos para ser una tecnología a tener en cuenta.

Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Tecnologías de fabricación							
Estampación	0	0	0	2	2	2	6

Tabla 47. Clasificación del proceso de estampación (Fuente: propia).

4.3.1.7 Sinterizado

Tal y como se ha expuesto en los subapartados 2.2.3 y 2.2.4, el proceso de fabricación pulvimetalúrgico mediante sinterizado, consiste en la compactación de polvos metálicos mediante aplicación de presión en un molde. Una vez compactados los polvos, pasan por el horno de sinterización para fundir parcialmente las partículas de polvo metálico. Una vez terminado este proceso, dependiendo de los requerimientos dimensionales y geométricos, se pueden realizar subprocesos tales como el pulido o el mecanizado.

Teniendo en cuenta que esta tecnología de fabricación permite obtener piezas con geometrías complejas alcanzando las tolerancias definidas en la Tabla 14 y Tabla 15, se puede confirmar que se alcanzarían las tolerancias dimensionales, geométricas y la rugosidad demandada sin la necesidad de realizar un pulido o mecanizado posterior. Por otro lado, se debe tener en cuenta que el proceso de sinterizado es rentable cuando se fabrican volúmenes altos, en este caso al tener que producir 120000 unidades anuales, se podría confirmar que no es que sea rentable si no que es el más óptimo junto con la forja en frío, de todas las tecnologías estudiadas anteriormente. El tiempo de producción una vez se tienen los moldes y los polvos preparados, es mínimo, por lo que, si la fábrica con la que se trabaja posee la materia prima, el tiempo de producción será bajo comparado con las demás tecnologías.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

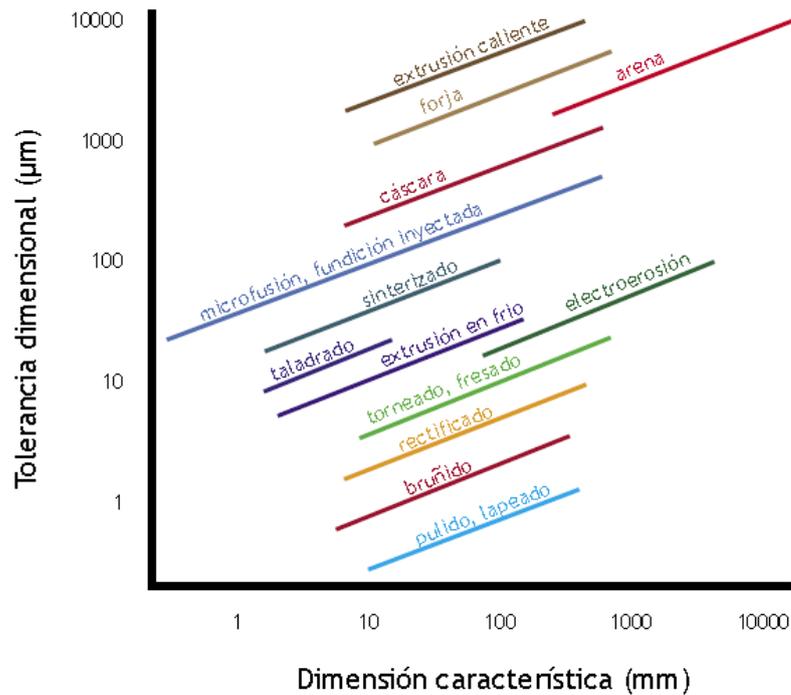


Figura 80. Tolerancias dimensionales según tecnología de fabricación (Fuente: google).

Por último, el impacto ambiental del sinterizado para un volumen de 120.000 unidades es considerablemente bueno. Esto es debido a que el desperdicio de materia prima no supera el 5% respecto al neto de la pieza, por lo que la pérdida de materia prima es casi despreciable. En cuanto al consumo energético, se deberá hacer un cálculo del impacto que esto conlleva, pero teniendo en cuenta que esto se puede paliar con la implantación de paneles solares, podríamos concluir que el impacto ambiental de la producción por sinterizado es bueno.

Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Tecnologías de fabricación							
Sinterizado	2	2	2	2	2	2	12

Tabla 48. Clasificación del proceso de sinterizado (Fuente: propia).

4.3.2 Decisión del proceso de fabricación óptimo

La decisión final respecto a la tecnología de fabricación más óptima para llevar a cabo la producción de este casquillo es la fabricación pulvimetalúrgica mediante sinterizado.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

De esta manera quedaría la tabla clasificatoria de los diferentes procesos estudiados aplicando el procedimiento metodológico creado en el subapartado 3.2.2:

Variables a tener en cuenta	Cumple con las tolerancias dimensionales	Cumple con las tolerancias geométricas	Cumple con la rugosidad Ra demandada	El volumen de la producción es rentable teniendo en cuenta la tecnología de fabricación	El impacto ambiental es considerable	Tiempo de producción	Total de puntos
Mecanizado	2	2	2	1	0	1	8
Forja en frío	1	2	2	2	2	2	11
Forja en caliente	0	0	0	1	0	1	2
Fundición a la cera perdida	1	2	1	2	1	1	8
Impresión 3D	2	2	1	0	2	0	7
Sinterizado	2	2	2	2	2	2	12
Estampación	0	0	0	2	2	2	6

4.4 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA PIEZA

En este apartado, se hará el cálculo del coste total del proceso de sinterizado.

El estudio económico del proceso de fabricación por sinterizado de este casquillo se realizará siguiendo el procedimiento metodológico creado en el subapartado 3.3.

Para ello en primer lugar, se realizará un estudio de mercado para poder posicionarse frente a la competencia, a continuación se estudiará el coste de la materia prima teniendo en cuenta el peso bruto necesario para llevar a cabo la producción de un casquillo y se multiplicará por el volumen anual total. En tercer lugar, se calcularán los costes asociados al proceso de fabricación y por último, se calcularán los costes asociados al transporte hasta las instalaciones del cliente. Una vez se tengan todos los costes asociados a la producción que se tiene que llevar a cabo, se hará la suma total.

4.4.1 Estudio de mercado

En este subapartado, el estudio de mercado se centrará en realizar un análisis DAFO para este proyecto ya que los subapartados 3.3.1.1 y 3.3.1.2 ya se estudiaron en el apartado 4.2.

A continuación, se presenta el análisis DAFO:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez



Figura 81. Análisis DAFO (Fuente: propia).

4.4.2 Coste materia prima

En primer lugar, para poder obtener el gasto en materia prima, se deberá calcular el peso del bruto de partida de cada pieza para ello, se estimará que el bruto de la pieza para llevar a cabo el proceso por sinterizado es un 5% superior al peso neto. Se estimará la situación más crítica ya que como se ha explicado anteriormente en los subapartados 2.2.3 y 2.2.4, el gasto en materia prima (haciendo la diferencia de peso bruto vs peso neto) mediante un proceso de sinterizado es de un 3% a un 5% como máximo, es decir, el desperdicio en materia prima es mínimo:

El peso neto de la pieza, aparece en el propio plano:

$$\text{Peso neto pieza} = 0,0180 \text{ [kg]}$$

- Peso bruto pieza:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\begin{aligned} & \text{Peso bruto de la pieza para sinterizado} \\ & = \text{Peso neto de la pieza [kg]} \\ & \times \text{desperdicio de materia prima[\%]} = 0,018[\text{kg}] \times 1,05 \\ & = 0,0189 [\text{kg}] \end{aligned}$$

Ahora se debe calcular el peso total de la materia prima que se va a hacer uso para poder llevar a cabo la producción total para ello, se realizará el cálculo multiplicando el peso del bruto por el volumen total de la producción:

- Peso bruto total de la materia prima para la producción:

$$\begin{aligned} & \text{Peso bruto total del material para la producción} \\ & = \text{Peso bruto de la pieza} \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times \text{volumen total [pcs]} \\ & = 0,0189 \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times 120.000 [\text{pcs}] = 2.268[\text{kg}] \end{aligned}$$

- Peso neto total una vez mecanizada la pieza:

$$\begin{aligned} & \text{Peso neto total del material para la producción} \\ & = \text{Peso neto de la pieza} \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times \text{volumen total [pcs]} \\ & = 0,0180 \left[\frac{\text{kg}}{\text{pc}} \right] \times 120.000 [\text{pcs}] = 2.160 [\text{kg}] \end{aligned}$$

- Cantidad de materia prima para chatarra:

$$\text{Chatarra} = 2.268 [\text{kg}] - 2.160 [\text{kg}] = 108 [\text{kg}]$$

Esto supone que, del total de la materia prima usada, 108 kilogramos equivaldrá a polvo metálico desperdiciado.

- Coste estimado en materia prima:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Coste total materia prima

$$\begin{aligned} &= \text{Peso bruto total de la producción [kg]} \\ &\times \text{precio materia prima [USD/kg]} = 2.268 \text{ [kg]} \times 9 \text{ [USD/kg]} \\ &= 20.412 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

El precio de la materia prima (polvos metálicos) viene dado por el acerista. En este caso no son aleaciones sino polvos aleantes y la chatarra suele ser más cara debido a que el precio de la materia prima también lo es. En este TFG el coste de la materia prima está estimado según el coste de la Figura 90.

El coste de la chatarra se estima que es de un 20% del coste del base más el polvo aleante, en este caso el coste de la chatarra sería de 1,64 [USD/kg]

4.4.3 Costes asociados al proceso de fabricación

Para calcular el coste de fabricación por sinterizado, hay que dividir la producción por etapas y calcular el coste correspondiente a cada una de ellas. El diagrama de flujo del proceso en el que se evidencian las diferentes fases del proceso pulvimetalúrgico mediante sinterizado se muestran en la Figura 26. Destacar que el conocimiento del coste de la mayoría de los procesos se debe a la experiencia del último año laboral en JG AUTOMOTIVE desempeñando el puesto de Engineer Sales Manager:

- 1- Polvos y mezcla: Ya se calculó en el subapartado anterior, por lo que se podría decir que esta etapa del proceso es subcontratada al acerista. De todas maneras, en la metalurgia de polvos, siempre existe un paso previo de mezclado y granulado de los polvos metálicos. En este caso se estima un precio de 0,03 [USD/pc].
- 2- Utillajes: Se desglosa en el coste de la materia prima utilizada para fabricar el molde, el mecanizado del mismo, los componentes de montaje, el tratamiento térmico utilizado y el recubrimiento superficial.
- 3- Compactación: Se tiene en cuenta el tiempo total del uso de la máquina por la tasa horaria del equipo.

Tiempo total de uso de la máquina en segundos

$$\begin{aligned} &= \text{Tiempo del proceso [s/pieza]} \times \text{Volumen a compactar [piezas]} \\ &= 7,3 \times 120.000 = 876.000 \text{ [s]} \end{aligned}$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\text{Tiempo total de uso de la máquina en horas} = 876.000 \div 3.600 = 243,3 \text{ [horas]}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste total proceso de compactación} \\ &= \text{Tiempo total de uso de la máquina [horas]} \\ &\times \text{tasa horaria de la máq [USD/h]} = 243,3 \times 12 = 2.920 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste proceso de compactación por pieza} \\ &= \text{Coste total proceso de compactación [USD]} \\ &\div \text{total de la producción [piezas]} = 2.920 \div 120.000 \\ &= 0,0243 \text{ [USD/pc]} \end{aligned}$$

- 4- Sinterización: Se tiene en cuenta el tiempo total del uso de la máquina por la tasa horaria del equipo, resaltando el coste de la energía consumida

$$\begin{aligned} \text{Tiempo total de uso de la máquina en segundos} \\ &= \text{Tiempo del proceso [s/pieza]} \times \text{Volumen a compactar [piezas]} \\ &= 28 \times 120.000 = 3.360.000 \text{ [s]} \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo total de uso de la máquina en horas} = 3.360.000 \div 3.600 = 933,3 \text{ [horas]}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste total proceso de sinterización} \\ &= \text{Tiempo total de uso de la máquina [horas]} \\ &\times \text{tasa horaria de la máq [USD/h]} = 933,3 \times 13 = 12.132,9 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coste proceso de sinterización por pieza} \\ &= \text{Coste total proceso de sinterización [USD]} \\ &\div \text{total de la producción [piezas]} = 12.132,9 \div 120.000 \\ &= 0,101 \text{ [USD/pc]} \end{aligned}$$

En este caso, no es necesario realizar un calibrado ni aplicar ningún post proceso de mecanizado ya que la geometría requerida se consigue directamente con el proceso de fabricación que se ha tenido en cuenta, por lo que el tiempo necesario para llevar a cabo la producción total del casquillo mediante sinterizado es de:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo total de producción en segundos} \\ & = \textit{Tiempo del proceso de compactación [s]} \\ & + \textit{Tiempo total sinterización [s]} = 876.000 + 3.360.000 \\ & = 4.236.000 \text{ [segundos]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo total de producción en horas} \\ & = \textit{Tiempo total de producción [segundos]} \div 3.600 \\ & = 4.236.000 \div 3.600 = 1176,7 \text{ [horas]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo total de la producción en días} \\ & = \textit{Tiempo total de la producción [horas]} \\ & \div \textit{horas laborables por día [horas/día]} = 1.176,7 \div 8 \\ & = 147 \text{ [días laborables]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Tiempo total de la producción en meses} \\ & = \textit{Tiempo total de la producción en días [días lab.]} \\ & \div \textit{días laborables al mes [días lab./mes]} = 147 \div 20 = 7,36 \text{ [meses]} \end{aligned}$$

La producción total podría realizarse con una única prensa y un único horno de sinterización. Se podrían producir 60.000 unidades en 3 meses y 14 días.

4.4.4 Cálculo del gasto en energía

Estudiando el artículo de la revista PM review, se hará a continuación una estimación del gasto total en energía bajo el proceso de sinterización:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

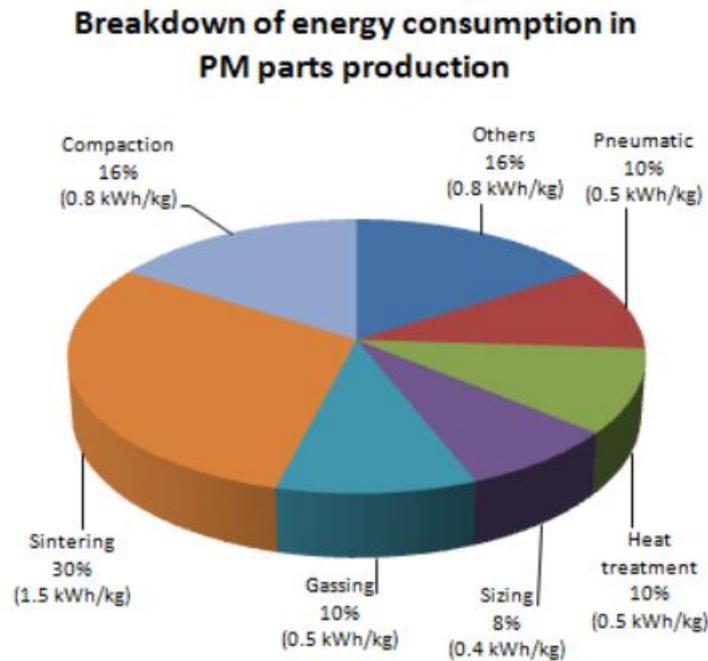


Figura 82. Diagrama desglose del consumo de energía en la producción de piezas sinterizado
(Fuente: <https://www.pm-review.com/articles/pm-11-conference-report-energy-consumption-in-powder-metallurgy-production/>).

El consumo de energía en diferentes procesos de fabricación varía según el tipo de material y la técnica utilizada. En el caso de la fundición a presión de materiales a base de hierro, el consumo promedio es de aproximadamente 6 [kWh/kg]. Por otro lado, el proceso de forja consume alrededor de 2,5 [kWh/kg], mientras que el mecanizado requiere alrededor de 10 [kWh/kg]. Es importante destacar que el mecanizado consume aproximadamente el doble de energía en comparación con el proceso de Metalurgia de Polvos (PM). Se estima que el consumo medio de energía para la compactación utilizando prensas mecánicas, hidráulicas e híbridas es de alrededor de 0,8 [kWh/kg]. (PM REVIEW, 2011).

$$\text{Consumo energético de 1 prensa} = 8 \text{ [kW]}$$

$$\text{Consumo energético de 1 horno de sinterización} = 15 \text{ [kW]}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo energético total de 1 prensa para llevar a cabo la producción en kW} \\ &= \text{Consumo energético de 1 prensa [kW]} \\ &\times \text{tiempo total compactación [horas]} = 8[\text{kW}] \times 243,3 \text{ [horas]} \\ &= 1.946,4[\text{kW totales}] \end{aligned}$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\begin{aligned} & \text{Consumo energético total de 1 horno para llevar a cabo la producción en kW} \\ & = \text{Consumo energético de 1 horno [kW]} \\ & \times \text{tiempo total sinterización [horas]} = 15[\text{kW}] \times 933,3 [\text{horas}] \\ & = 13.999,5[\text{kW totales}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Consumo energético total de la producción por sinterizado} \\ & = \text{Consumo energético total de 1 prensa para llevar a cabo la producción [kW]} \\ & + \text{Consumo energético total de 1 horno para llevar a cabo la producción [kW]} \\ & = 1946,4[\text{kW}] \times 13999,5 [\text{kW}] = 15.945,9[\text{kW totales}] \end{aligned}$$

4.4.5 Costes asociados al transporte

Debido a que el peso neto y el volumen total de la carga a transportar es la misma en ambos procesos (piezas mecanizadas y sinterizadas), se mantendrá el coste calculado para el proceso de mecanizado.

Es decir:

$$\text{Cambio Euros a Dólares} = 0,1956 [\text{EUR}] = 0,2123 [\text{USD}]$$

$$\begin{aligned} & \text{Coste transporte marítimo por entrega [60.000 piezas]} \\ & = 0,2123 [\text{USD/kg}] \times 1080 [\text{kg}] = 229,284 [\text{USD}] \end{aligned}$$

$$\text{Cambio Euros a Dólares} = 107,94[\text{EUR}] = 117,53 [\text{USD}]$$

$$\text{Coste transporte terrestre por entrega [60.000 piezas]} = 117,53 [\text{USD/kg}]$$

$$\begin{aligned} & \text{Coste total transporte por entrega} = 229,284 [\text{USD}] + 117,53 [\text{USD}] \\ & = 346,814 [\text{USD/entrega}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Coste transporte por pieza} = 346,814 [\text{USD/entrega}] \div 60.000[\text{piezas}] \\ & = 0,0057 [\text{USD/pc}] \end{aligned}$$

Se estimará un coste de 0,005 [USD/pc] para el transporte en lotes de 60.000 piezas.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

4.4.6 Costes totales

A continuación, se expone el desglose de costes recopilando todos los cálculos de materia prima, costes asociados al proceso de fabricación, transportes, embalado de las piezas e inspección, sumado al overhead, a la tasa de rechazos y al beneficio del fabricante:

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	120.000
Machine type	PRENSA SINTERIZADO
Material	303LSC
Material Price (USD/Kg)	9
Scrap price (USD/Kg)	1,64
Gross weight (kg)	0,0189
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,17
Mezclado + Granulado (USD/pc)	0,03
Inyección (compactación) (USD/pc)	0,0243
Sinterizado (USD/pc) - if applicable	0,101
Transport (FOB) (USD/pc)	0,005
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,015
SUBTOTAL	0,359
OH + Rechazos (5%)	0,018
Profit (10%)	0,036
Tooling (if applicable)	5.500,000
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,413

Tabla 49. Desglose de costes sinterizado (Fuente: propia).

Capítulo 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 RESULTADOS

Para poder analizar correctamente los resultados obtenidos, se recopilarán todos los cálculos realizados dividiéndolos por proceso de fabricación. Posteriormente, los enfrentaremos con el objetivo de resaltar el ahorro en materia prima, tiempo de producción y energía logrado mediante la aplicación de los dos procesos metodológicos creados en el apartado Capítulo 3.

Para reflejar el ahorro en costes, se calculará el coste total de la producción para ambos procesos de fabricación.

Proceso de fabricación mediante mecanizado:

Los datos recopilados a continuación hacen referencia al proceso de fabricación actual del casquillo estudiado. Como se puede observar, el gasto en materia prima es muy alto, esto es debido al bruto de partida.

El mecanizado es un proceso de fabricación sustractivo, al contrario que el proceso pulvimetalúrgico mediante sinterizado, el cual se podría denominar como fabricación aditiva.

Materia prima

	Peso pieza [kg]	Peso total [kg]
Bruto	0,0543	6516
Neto	0,018	2160
Chatarra	0,0363	4356

Tabla 50. Estudio sobre el gasto y desperdicio en materia prima (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

TIEMPOS DE PRODUCCIÓN				
	Segundos	Horas	Días laborables	Meses hábiles
Tiempo total de producción	10021200	2783,67	348	17,4

Tabla 51. Cálculo de los tiempos de producción (Fuente: propia).

Gasto energético	
	Potencia consumida [kW]
Torno	306620,37

Tabla 52. Tabla sobre el gasto energético mediante mecanizado (Fuente: propia).

Proceso de fabricación mediante sinterizado:

Para poder discutir en el apartado 5.2 los resultados obtenidos del estudio técnico económico de cada uno de los procesos de fabricación, a continuación, se recopilan todos los cálculos realizados para la producción mediante el proceso de fabricación por sinterizado.

Al contrario que en el mecanizado, en este, existe una pérdida mínima de materia prima, casi despreciable.

Materia prima

	Peso pieza [kg]	Peso total [kg]
Bruto	0,0189	2268
Neto	0,018	2160
Materia prima perdida	0,0009	108

Tabla 53. Estudio sobre el gasto y desperdicio en materia prima en el sinterizado (Fuente: propia).

TIEMPOS DE PRODUCCIÓN				
	Segundos	Horas	Días laborables	Meses hábiles
Tiempo total de producción	4236000	1176	147	7,36

Tabla 54. Cálculo de los tiempos de producción en el sinterizado (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Gasto energético

	Potencia consumida [kW]
Prensa	1946,4
Horno	13999,5
Total	15945,9

Tabla 55. Tabla sobre el gasto energético mediante sinterizado (Fuente: propia).

5.2 DISCUSIÓN

Una vez se tienen todos los datos recopilados, se compararán los resultados y se discutirán las mejoras obtenidas respecto al cambio en el proceso de fabricación.

Respecto al gasto en materia prima, se puede evidenciar la reducción de chatarra/materia prima desperdiciada pasando de un proceso de fabricación por sustracción a un proceso de fabricación por adición. Es importante resaltar el ahorro de 4.248 [kg] de materia prima desperdiciada.

Comparativa de la diferencia en materia prima desperdiciada

	Mecanizado	Sinterizado
Chatarra/Materia prima desperdiciada en [kg]	4356	108

Diferencia	4248
------------	------

Por otro lado, debido a que en el proceso de fabricación pulvimetalúrgico por sinterizado, una vez se tienen las matrices/moldes creados, el tiempo de producción es menor que en un proceso mediante mecanizado, se ha podido demostrar que con el cambio de proceso, se consigue reducir el tiempo de producción a más de la mitad, exactamente, 1.607,67 [horas] menos, lo que conlleva un ahorro en el gasto energético del proyecto y un impacto positivo en el medio ambiente.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Reducción en el tiempo de producción

	Mecanizado	Sinterizado
Tiempo de producción [horas]	2783,67	1176
Tiempo de producción [días laborables]	348	147

Diferencia en horas	1607,67
Diferencia en días	201

Para poder apaliar la diferencia en el tiempo de producción, el fabricante se ve obligado a duplicar los turnos de trabajo en el torno o implicar un nuevo torno. Lo que se suele hacer es que se duplique o triplique los turnos en el torno, así se evita tener que poner a punto uno nuevo.

Debido a la reducción del tiempo de fabricación, se consigue reducir el gasto energético de la producción:

Diferencia en el gasto energético

	Mecanizado	Sinterizado
Potencia consumida [kW]	306620,37	159450,9

Diferencia en horas	147169,47
---------------------	-----------

Por último, para resaltar uno de los objetivos más importantes de este TFG, se calculará a continuación el coste total de la producción por mecanizado y por sinterizado. De esta manera, se llegará a la conclusión de la oportunidad que le hemos dado al cliente:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

COST BREAKDOWN		COST BREAKDOWN	
	1		1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING	REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	120.000	Volume	120.000
Machine type	TORNO + FRESA	Machine type	PRENSA SINTERIZADO
Material	AISI303	Material	303LSC
Material Price (USD/Kg)	5,29	Material Price (USD/Kg)	9
Scrap price (USD/Kg)	0,53	Scrap price (USD/Kg)	1,64
Gross weight (kg)	0,0543	Gross weight (kg)	0,0189
Net weight (kg)	0,0180	Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,27	Material Total : USD/Kg	0,17
Torneado (USD/pc)	0,027	Mezclado + Granulado (USD/pc)	0,03
Fresado (USD/pc)	0,117	Inyección (compactación) (USD/pc)	0,0243
Transport (FOB) (USD/pc)	0,005	Sinterizado (USD/pc) - if applicable	0,101
Packaging cost (USD/pc)	0,015	Transport (FOB) (USD/pc)	0,005
Inspection cost (USD/pc)	0,023	Packaging cost (USD/pc)	0,015
Herramientas (USD/pc)	0,036	Inspection cost (USD/pc)	0,015
SUBTOTAL	0,491	SUBTOTAL	0,359
OH + Rechazos (5%)	0,025	OH + Rechazos (5%)	0,018
Profit (10%)	0,049	Profit (10%)	0,036
Tooling cost - if applicable	0	Tooling (if applicable)	5.500,000
PART FINAL PRICE USD/pc DDP	0,565	PART FINAL PRICE USD/pc DDP	0,413

Coste total producción mediante mecanizado

$$\begin{aligned}
 &= \text{Coste final de la pieza [USD/pc]} \\
 &\times \text{Volumen total a producir [piezas]} = 0,565 \times 120.000 \\
 &= 67.800 \text{ [USD producción]}
 \end{aligned}$$

Coste total producción mediante sinterizado

$$\begin{aligned}
 &= (\text{Coste final de la pieza [USD/pc]} \\
 &\times \text{Volumen total a producir [piezas]}) + \text{Utillaje [USD]} \\
 &= (0,413 \times 120.000) + 5.500 = 55.060 \text{ [USD producción]}
 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta el primer año de producción, el cliente consigue amortizar el utillaje y ahorrarse 12.740 [USD] de la producción. Si contamos que al año siguiente, ya no tendría que pagar ningún utillaje, el ahorro sería de 18.240 [USD]. En el total del proyecto, conseguiría ahorrar:

Ahorro en el proyecto por cambio de proceso de fabricación

$$\begin{aligned}
 &= \text{Ahorro año 1 [USD]} + \text{Ahorro año 2} + \text{Ahorro año 3 [USD]} \\
 &+ \text{Ahorro año 4 [USD]} = 12.740 + (17.240 \times 3) \text{ [USD]} \\
 &= 64.460 \text{ [USD ahorrados]}
 \end{aligned}$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Por último, para entender la decisión de cliente de por qué empezó a desarrollar este proyecto mediante un proceso de mecanizado viene explicada en la siguiente gráfica, donde se muestra que para volúmenes pequeños la fabricación de esta pieza mediante sinterizado no es viable, debido a que adquirir polvos metálicos sin cumplir con el MOQ ("Minimum Order Quantity") y preparar la máquina para un volumen pequeño aumenta considerablemente el coste de la producción, además del coste de utillaje que se debe amortizar.

Para un volumen de 5.000 unidades el coste por pieza mediante sinterizado es el siguiente:

Compactación: Se tiene en cuenta el tiempo total del uso de la máquina por la tasa horaria del equipo, considerando el tiempo de calibrado y set-up de la máquina:

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo total de uso de la máquina en segundos} \\ &= \textit{Tiempo del proceso [s/pieza]} \times \textit{Volumen a compactar [piezas]} \\ &= 10 \times 5.000 = 50.000 \text{ [s]} \end{aligned}$$

$$\textit{Tiempo total de uso de la máquina en horas} = 50.000 \div 3600 = 13,89 \text{ [horas]}$$

$$\begin{aligned} \textit{Coste total proceso de compactación} \\ &= \textit{Tiempo total de uso de la máquina [horas]} \\ &\times \textit{tasa horaria de la máq [USD/h]} = 13,8 \times 14 = 194,4 \text{ [USD]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textit{Coste proceso de compactación por pieza} \\ &= \textit{Coste total proceso de compactación [USD]} \\ &\div \textit{total de la producción [piezas]} = 194,4 \div 5.000 = 0,039 \text{ [USD/pc]} \end{aligned}$$

Sinterización: Se tiene en cuenta el tiempo total del uso de la máquina por la tasa horaria del equipo, considerando el tiempo de set-up de la máquina:

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo total de uso de la máquina en segundos} \\ &= \textit{Tiempo del proceso [s/pieza]} \times \textit{Volumen a compactar [piezas]} \\ &= 35 \times 5.000 = 175.000 \text{ [s]} \end{aligned}$$

$$\textit{Tiempo total de uso de la máquina en horas} = 175.000 \div 3.600 = 48,61 \text{ [horas]}$$

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Coste total proceso de sinterización

= Tiempo total de uso de la máquina [horas]

× tasa horaria de la máq [USD/h] = 48,61 × 17 = 826,37 [USD]

Coste proceso de sinterización por pieza

= Coste total proceso de sinterización [USD]

÷ total de la producción [piezas] = 826,37 ÷ 5.000 = 0,165 [USD/pc]

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	5.000
Machine type	PRENSA SINTERIZADO
Material	303LSC
Material Price (USD/Kg)	12
Scrap price (USD/Kg)	1,64
Gross weight (kg)	0,0189
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,23
Mezclado + Granulado (USD/pc)	0,03
Inyección (compactación) (USD/pc)	0,039
Sinterizado (USD/pc) - if applicable	0,165
Transport (FOB) (USD/pc)	0,072
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,015
SUBTOTAL	0,561
OH + Rechazos (10%)	0,056
Profit (10%)	0,056
Tooling (if applicable)	5.500,000
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,674

Tabla 56. Desglose de costes para 5.000 unidades por sinterizado (Fuente: propia).

El precio de la materia prima se incrementa por no cumplir el MOQ de acerista, la tasa horaria de la prensa y horno sube debido a la no amortización del uso de la misma, al igual que el tiempo del proceso debido a la puesta a punto de la prensa y del horno. Por último, el coste del transporte y los gastos generales también aumentan.

El coste total para 5.000 unidades sería el siguiente:

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

$$\begin{aligned} \text{Coste total proceso de sinterizado para 5.000 unidades} \\ = 0,674 \text{ [USD/pc]} \times 5.000 \text{ [piezas]} = 3.370 \text{ [USD/pc]} \end{aligned}$$

A este coste total habría que sumarle el utillaje, por lo que el coste total sería de 8.870 [USD/pc].

A continuación, mediante el software de cálculo Excel, haremos un cálculo del precio por pieza para 5.000 pcs, 20.000 pcs, 40.000 pcs, 80.000 pcs y 120.000 pcs. De esta manera, comparando con el precio de mecanizado para los mismos volúmenes, se podrá estudiar cuando empieza a ser beneficioso el cambio en el proceso de fabricación (hablando únicamente de costes):

Cantidad	Tiempo total [horas]	Coste proceso compactación [USD/pc]	Tiempo total [horas]	Coste proceso sinterización [USD/pc]
5000	13,889	0,039	48,61	0,165
20000	46,67	0,030	172,22	0,129
40000	85,56	0,028	344,44	0,121
80000	162,22	0,024	622,22	0,101
120000	243,33	0,024	933,33	0,101

Tabla 57. Costes de proceso de compactación y sinterización para diferentes volúmenes (Fuente: propia).

COST BREAKDOWN	
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	20.000
Machine type	PRENSA SINTERIZADO
Material	303LSC
Material Price (USD/Kg)	11
Scrap price (USD/Kg)	1,64
Gross weight (kg)	0,0189
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,21
Mezclado + Granulado (USD/pc)	0,03
Inyección (compactación) (USD/pc)	0,03
Sinterizado (USD/pc) - if applicable	0,129
Transport (FOB) (USD/pc)	0,036
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,015
SUBTOTAL	0,461
OH + Rechazos (10%)	0,046
Profit (10%)	0,046
Tooling (if applicable)	5.500,000
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,554

COST BREAKDOWN	
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	40.000
Machine type	PRENSA SINTERIZADO
Material	303LSC
Material Price (USD/Kg)	10
Scrap price (USD/Kg)	1,64
Gross weight (kg)	0,0189
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,19
Mezclado + Granulado (USD/pc)	0,03
Inyección (compactación) (USD/pc)	0,028
Sinterizado (USD/pc) - if applicable	0,121
Transport (FOB) (USD/pc)	0,021
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,015
SUBTOTAL	0,418
OH + Rechazos (10%)	0,042
Profit (10%)	0,042
Tooling (if applicable)	5.500,000
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,501

Tabla 58. Desglose de costes para 20.000 y 40.000 unidades por sinterizado (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

El precio para 80.000 unidades y 120.000 unidades es el mismo, ya que una vez superadas las 60.000 unidades el coste en materia prima, la tasa horaria de máquina, el transporte y los gastos generales se optimizan.

Por otro lado, se calculará a continuación el coste por mecanizado para 5.000 pcs, 20.000 pcs, 40.000 pcs, 80.000 pcs y 120.000 pcs:

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	5.000
Machine type	TORNO + FRESA
Material	AISI303
Material Price (USD/Kg)	8,00
Scrap price (USD/Kg)	0,53
Gross weight (kg)	0,0543
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,42
Torneado (USD/pc)	0,031
Fresado (USD/pc)	0,135
Transport (FOB) (USD/pc)	0,072
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,023
Heramientas (USD/pc)	0,036
SUBTOTAL	0,727
OH + Rechazos (10%)	0,073
Profit (10%)	0,073
Tooling cost - if applicable	0
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,872

Tabla 59. Desglose de costes para 5.000 unidades por mecanizado (Fuente: propia).

En cuanto al mecanizado, dependiendo del volumen de producción, los costes de materia prima, el proceso de mecanizado (torneado + fresado), los costes de transporte y los gastos generales del proyecto varían. El precio de la materia prima depende del pedido mínimo que obligue al acerista a comprar, siempre va a conllevar un extracoste por pedir una cantidad menor de material. El proceso de mecanizado aumenta debido a la puesta a punto de la máquina, la amortización que se haga de ella y los empleados que estén implicados en la producción. A continuación, se muestra el aumento del coste de fabricación dependiendo del volumen a producir.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Cantidad	Coste proceso torneado[USD/pc]	Coste proceso fresado[USD/pc]
5000	0,031	0,135
20000	0,030	0,149
40000	0,029	0,126
80000	0,028	0,123
120000	0,027	0,117

Tabla 60. Costes de proceso de torneado y fresado para diferentes volúmenes (Fuente. propia).

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	20.000
Machine type	TORNO + FRESA
Material	AISI303
Material Price (USD/Kg)	7,00
Scrap price (USD/Kg)	0,53
Gross weight (kg)	0,0543
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,36
Torneado (USD/pc)	0,030
Fresado (USD/pc)	0,149
Transport (FOB) (USD/pc)	0,036
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,023
Heramientas (USD/pc)	0,036
SUBTOTAL	0,649
OH + Rechazos (10%)	0,065
Profit (10%)	0,065
Tooling cost - if applicable	0
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,779

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	40.000
Machine type	TORNO + FRESA
Material	AISI303
Material Price (USD/Kg)	6,50
Scrap price (USD/Kg)	0,53
Gross weight (kg)	0,0543
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,33
Torneado (USD/pc)	0,029
Fresado (USD/pc)	0,126
Transport (FOB) (USD/pc)	0,021
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,023
Heramientas (USD/pc)	0,036
SUBTOTAL	0,584
OH + Rechazos (10%)	0,058
Profit (10%)	0,058
Tooling cost - if applicable	0
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,701

Tabla 61. Desglose de costes para 20.000 y 40.000 unidades por mecanizado (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	80.000
Machine type	TORNO + FRESA
Material	AISI303
Material Price (USD/Kg)	5,60
Scrap price (USD/Kg)	0,53
Gross weight (kg)	0,0543
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,28
Torneado (USD/pc)	0,028
Fresado (USD/pc)	0,123
Transport (FOB) (USD/pc)	0,005
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,023
Herramientas (USD/pc)	0,036
SUBTOTAL	0,515
OH + Rechazos (5%)	0,026
Profit (10%)	0,051
Tooling cost - if applicable	0
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,592

COST BREAKDOWN	
	1
REFERENCE	27X9.SS.BUSHING
Volume	120.000
Machine type	TORNO + FRESA
Material	AISI303
Material Price (USD/Kg)	5,29
Scrap price (USD/Kg)	0,53
Gross weight (kg)	0,0543
Net weight (kg)	0,0180
Material Total : USD/Kg	0,27
Torneado (USD/pc)	0,027
Fresado (USD/pc)	0,117
Transport (FOB) (USD/pc)	0,005
Packaging cost (USD/pc)	0,015
Inspection cost (USD/pc)	0,023
Herramientas (USD/pc)	0,036
SUBTOTAL	0,491
OH + Rechazos (5%)	0,025
Profit (10%)	0,049
Tooling cost - if applicable	0
PART FINAL PRICE USD/pc FOB	0,565

Tabla 62. Desglose de costes para 80.000 y 120.000 unidades por mecanizado (Fuente: propia).

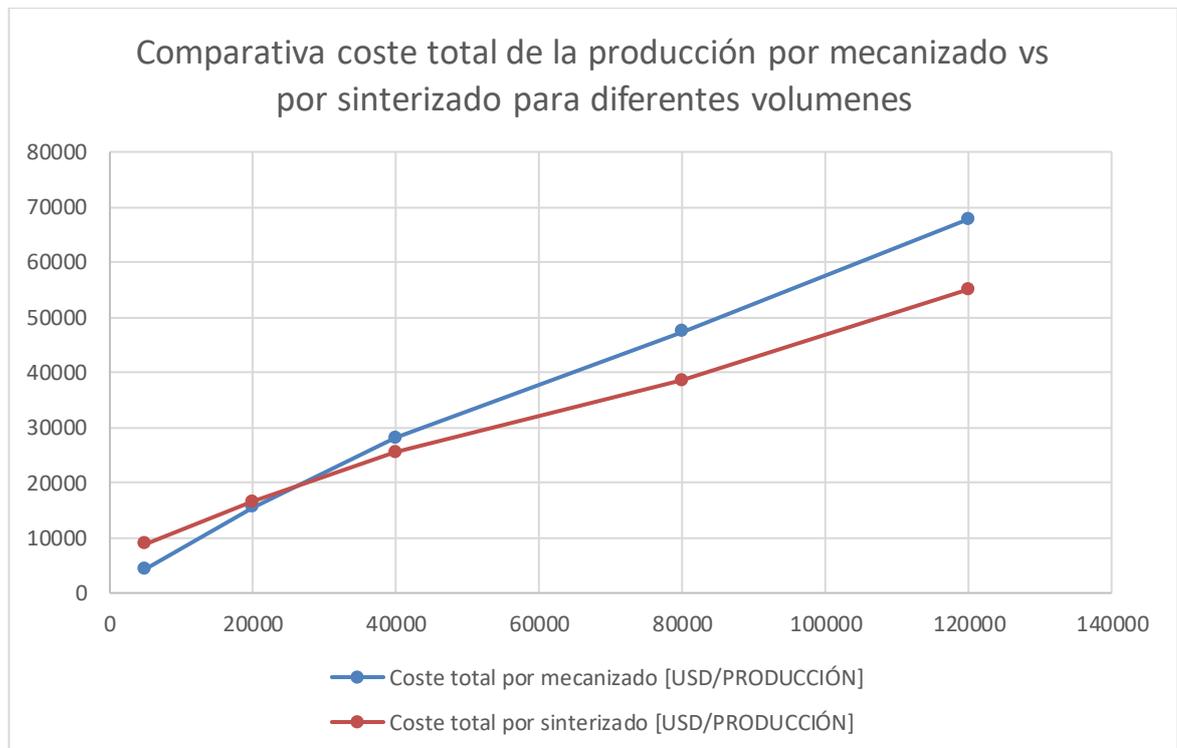


Figura 83. Gráfica comparativa del coste total de la producción por mecanizado vs por sinterizado para diferentes volúmenes (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Como se puede observar en la gráfica, conforme el volumen aumenta el coste por sinterizado se vuelve más competitivo. Esto se debe a que el proceso de fabricación mediante sinterizado es más competitivo cuanto mayor es el volumen a producir, debido a una optimización de las máquinas, una cadena de producción semiautomática (únicamente es necesario un empleado para empaquetar las piezas) y una disminución del tiempo de producción (hay menos paradas respecto a mantenimiento y puesta a punto de la misma).

Por último, se puede deducir que el enfoque de cliente es totalmente correcto, ya que en los dos primeros años en los que los volúmenes fueron de 5.000 unidades y 40.000 unidades, prefiere desarrollar la producción mediante mecanizado, una vez el volumen pasó de 30.000 unidades, la producción por mecanizado empezó a no ser óptima y por eso nos hizo llegar una RFQ. Buscaba un nuevo proceso de fabricación para conseguir una reducción de costes ya que el volumen de producción estaba aumentando considerablemente, pasando de 40.000 unidades/anuales, a 120.000 unidades/anuales.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

Basándose en los distintos objetivos propuestos al comienzo de este Trabajo de Fin de Grado, se procede a continuación a resaltar las principales conclusiones obtenidas al respecto.

El estudio técnico económico y la aplicación del mismo mediante la creación de un procedimiento metodológico basado en el marco teórico de los dos procesos de fabricación estudiados, ha permitido la optimización de la producción de una pieza metálica fundamentada por el cambio en el proceso de fabricación actual de la pieza. Esta optimización se apoya en la reducción del gasto en materia prima, la disminución del tiempo de producción y su consecuente gasto energético, y el ahorro respecto al coste total final del casquillo metálico.

Por otro lado, la creación de un procedimiento metodológico dirigido tanto al estudio técnico de una pieza como al análisis económico de la producción, permite su adaptación a cualquier otro tipo de pieza y de proyecto.

El análisis comparativo respecto al examen técnico de la pieza y al desglose de costes estudiado, ha permitido evidenciar la mejora económica de la producción. Esto conlleva una reducción de 64.460 dólares en el proyecto al cliente final de la pieza.

Además, la disminución del impacto ambiental permite alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible fijados al principio del proyecto. Gracias al cambio en el proceso de fabricación de la pieza y la innovación del mismo, se ha podido cumplir con el objetivo número 9, el cual demanda la investigación de avances tecnológicos que permitan la reducción en el impacto económico y ambiental. Por otro lado, la descentralización de la producción permite la reducción de barrios marginales en el conjunto del país, así como la de asentamientos provisionales insalubres; con esto se estaría cumpliendo el ODS número 11. Por último, el ODS más importante en este TFG, es el número 12, en el que se pretende cambiar el modelo actual de producción consiguiendo una gestión eficiente de los recursos naturales. Reduciendo el gasto en materia prima en 4.248 [kg] y reduciendo el gasto energético gracias a la disminución del tiempo de fabricación, se consigue cumplir plenamente con este objetivo de desarrollo sostenible marcado por la Asamblea General de las Naciones Unidas.

Finalmente se han evidenciado, mediante diferentes tablas comparativas, las mejoras en el coste del nuevo proceso de fabricación. Además de evidenciar que a partir de la

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

producción de un lote de alrededor de 30.000 unidades, la fabricación de la pieza mediante sinterizado se vuelve más competitiva que por mecanizado.

Por otra parte, personalmente, este TFG ha permitido desarrollar ampliamente los conocimientos en los procesos de fabricación por mecanizado y por sinterizado, lo cual es de gran valor de cara a un futuro profesional. También, se ha podido desarrollar un procedimiento metodológico del cual se pueden extraer beneficios en el día a día laboral, con el fin de proponer a los clientes procesos de fabricación óptimos a la geometría y requerimientos demandados. En definitiva, se han podido aplicar todos los conocimientos adquiridos durante el grado cursado de ingeniería.

Capítulo 7. LINEAS FUTURAS

El presente Trabajo Fin de Grado comprende un área de conocimiento cambiante, con un rápido avance y en constante estudio. Es necesario para ello, adaptar y desarrollar nuevos procedimientos metodológicos para el cambio en el proceso de fabricación de una pieza metálica. De esta manera, se podrá reducir el impacto ambiental en las producciones industriales en el sector de la metalurgia. A continuación, se expondrán ciertas líneas de actuación para posibles desarrollos futuros:

- Estudio y comparativa del proceso de fabricación combinado de forja en frío y mecanizado para el casquillo metálico estudiado.
- Llevar a cabo la producción e investigación de los datos experimentales vs datos teóricos.
- Estudio detallado de las propiedades mecánicas de la pieza fabricada por mecanizado y fabricada mediante sinterizado, y comparativa entre ambas.
- Aplicación del procedimiento metodológico a otra pieza metálica en producción con un proceso de fabricación sustractivo.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

ANEXOS

TABLAS DIN ISO 2768-1:1989 (Aparecen en el apartado 3.2.1.1).

Tabla 3. Tolerancias para dimensiones lineales, excepto aristas matadas (Fuente: ISO 2768).

Clase de Tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal d (en mm.)							
	Descripción	0,5 < d ≤ 3	3 < d ≤ 6	6 < d ≤ 30	30 < d ≤ 120	120 < d ≤ 400	400 < d ≤ 1000	1000 < d ≤ 2000	2000 < d ≤ 4000
f	fina	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	media	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	grosera	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	muy grosera	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

Tabla 4. Tolerancias para dimensiones lineales de aristas matadas, radios exteriores y alturas de chaflán (Fuente: ISO 2768).

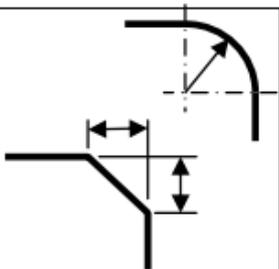
Clase de Tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al valor nominal d (en mm.)			
	Descripción	3< d ≤6	6< d ≤30	30< d ≤120	
f	fina	±0,2	±0,5	±1	
m	media				
c	grosera	±0,4	±1	±2	
v	muy grosera				

Tabla 5. Tolerancias para dimensiones angulares (Fuente: ISO 2768).

Clase de Tolerancia		Desviaciones admisibles en función de la longitud del lado menor del ángulo considerado d (en mm.)				
	Descripción	d ≤10	10< d ≤50	50< d ≤120	120< d ≤400	400< d
f	fina	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	media					
c	grosera	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
v	muy grosera	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Tabla 6. Valores numéricos de amplitudes de zonas de tolerancia según el diámetro y el grado de calidad (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Grado Tolerancia Diámetro (mm.)	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
$d \leq 3$	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
$3 < d \leq 6$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
$6 < d \leq 10$	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
$10 < d \leq 18$	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
$18 < d \leq 30$	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
$30 < d \leq 50$	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
$50 < d \leq 80$	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
$80 < d \leq 120$	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
$120 < d \leq 180$	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
$180 < d \leq 250$	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
$250 < d \leq 315$	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
$500 < d \leq 630$	Muy alta precisión		9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
$630 < d \leq 800$			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
$800 < d \leq 1000$			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3300	5600	9000	14000
$1000 < d \leq 1250$			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
$1250 < d \leq 1600$			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
$1600 < d \leq 2000$			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
$2000 < d \leq 2500$			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
$2500 < d \leq 3150$			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000
					Equipos metrología y piezas de gran precisión				Piezas o elementos que han de ajustar						Superficies libres					

Tabla 7. Diferencias fundamentales para ejes de la A a la JS (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación superior es											
	Posición	a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h
Calidad	Todas las calidades											
d ≤ 3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0	Para la posición js, $d_i = -IT/2$ y $d_s = IT/2$
3 < d ≤ 6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0	
6 < d ≤ 10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0	
10 < d ≤ 14	-290	-150	-95		-50	-32		-16		-6	0	
14 < d ≤ 18												
18 < d ≤ 24	-300	-160	-110		-65	-40		-20		-7	0	
24 < d ≤ 30												
30 < d ≤ 40	-310	-170	-120		-80	-50		-25		-9	0	
40 < d ≤ 50	-320	-180	-130		-100	-60		-30		-10	0	
50 < d ≤ 65	-340	-190	-140		-120	-72		-36		-12	0	
65 < d ≤ 80	-360	-200	-150		-145	-85		-43		-14	0	
80 < d ≤ 100	-380	-220	-170		-170	-100		-50		-15	0	
100 < d ≤ 120	-410	-240	-180		-190	-110		-56		-17	0	
120 < d ≤ 140	-460	-260	-200		-210	-125		-62		-18	0	
140 < d ≤ 160	-520	-280	-210		-230	-135		-68		-20	0	
160 < d ≤ 180	-580	-310	-230		-230	-135		-68		-20	0	
180 < d ≤ 200	-660	-340	-240		-230	-135		-68		-20	0	
200 < d ≤ 225	-740	-380	-260		-230	-135		-68		-20	0	
225 < d ≤ 250	-820	-420	-280		-230	-135		-68		-20	0	
250 < d ≤ 280	-920	-460	-300		-230	-135		-68		-20	0	
280 < d ≤ 315	-1050	-540	-330		-230	-135		-68		-20	0	
315 < d ≤ 355	-1200	-600	-360		-230	-135		-68		-20	0	
355 < d ≤ 400	-1350	-680	-400		-230	-135		-68		-20	0	
400 < d ≤ 450	1500	-760	-440		-230	-135		-68		-20	0	
450 < d ≤ 500	1650	-840	-480		-230	-135		-68		-20	0	

Tabla 8. Diferencias fundamentales para ejes de la J a la ZC (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación inferior ei																			
	j			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
Calidad	IT5 IT6	IT7	IT8	4≤IT≤7	IT<4 IT>7	Todas las calidades														
d ≤ 3	-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60	
3 < d ≤ 6	-2	-4		+1	0	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80	
6 < d ≤ 10	-2	-5		+1	0	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97	
10 < d ≤ 14	-3	-6		+1	0	+7	+12	+18	+23	+28		+33		+40		+50	+64	+90	+130	
14 < d ≤ 18														+39						+45
18 < d ≤ 24	-4	-8		+2	0	+8	+15	+22	+28	+35		+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
24 < d ≤ 30																				+41
30 < d ≤ 40	-5	-10		+2	0	+9	+17	+26	+34	+43		+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40 < d ≤ 50																				
50 < d ≤ 65	-7	-12		+2	0	+11	+20	+32		+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65 < d ≤ 80																				
80 < d ≤ 100	-9	-15		+3	0	+13	+23	+37		+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100 < d ≤ 120																				
120 < d ≤ 140	-11	-18		+3	0	+15	+27	+43		+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140 < d ≤ 160										+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160 < d ≤ 180										+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180 < d ≤ 200	-13	-21		+4	0	+17	+31	+50		+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200 < d ≤ 225										+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225 < d ≤ 250										+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250 < d ≤ 280	-16	-26		+4	0	+20	+34	+56		+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280 < d ≤ 315										+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315 < d ≤ 355	-18	-28		+4	0	+21	+37	+62		+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355 < d ≤ 400										+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400 < d ≤ 450	-20	-32		+5	0	+23	+40	+68		+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450 < d ≤ 500										+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600

Tabla 9. Diferencias fundamentales para Agujeros de la A a la JS (en micras) (Fuente: ISO 2768).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación inferior Ei												
	Posición	A	B	C	CD	D	E	EF	F	FG	G	H	JS
Calidad	Todas las calidades												
d ≤ 3	270	140	60	34	20	14	10	6	4	2	0	DESVIACIÓN= ±(ITn)/2, donde n es el valor de IT	
3 < d ≤ 6	270	140	70	46	30	20	14	10	6	4	0		
6 < d ≤ 10	280	150	80	56	40	25	18	13	8	5	0		
10 < d ≤ 14	290	150	95		50	32		16		6	0		
14 < d ≤ 18													
18 < d ≤ 24	300	160	110		65	40		20		7	0		
24 < d ≤ 30													
30 < d ≤ 40	310	170	120		80	50		25		9	0		
40 < d ≤ 50	320	180	130										
50 < d ≤ 65	340	190	140		100	60		30		10	0		
65 < d ≤ 80	360	200	150										
80 < d ≤ 100	380	220	170		120	72		36		12	0		
100 < d ≤ 120	410	240	180										
120 < d ≤ 140	460	260	200		145	85		43		14	0		
140 < d ≤ 160	520	280	210										
160 < d ≤ 180	580	310	230		170	100		50		15	0		
180 < d ≤ 200	660	340	240										
200 < d ≤ 225	740	380	260		190	110		56		17	0		
225 < d ≤ 250	820	420	280										
250 < d ≤ 280	920	480	300		210	125		62		18	0		
280 < d ≤ 315	1050	540	330										
315 < d ≤ 355	1200	600	360		230	135		68		20	0		
355 < d ≤ 400	1350	680	400										
400 < d ≤ 450	1500	760	440		230	135		68		20	0		
450 < d ≤ 500	1650	840	480										

**Tabla 10. Diferencias fundamentales para Agujeros de la J a la ZC (en micras)
(Fuente: ISO 2768).**

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Diferencia fundamental	Desviación superior Es																			VALORES DE Δ								
	Posición								Pa ZC	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	Grados de tolerancia						
	J	K	M	N	IT \leq 8	IT $>$ 8	IT \leq 8	IT $>$ 8														IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	
Calidad	IT6	IT7	IT8	IT \leq 8	IT $>$ 8	IT \leq 8	IT $>$ 8	IT \leq 8	IT $>$ 8	GRADOS DE TOLERANCIA SUPERIORES A IT7											IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8		
$d \leq 3$	2	4	6	0	0	-2	-2	-4+ Δ	-4	Valores como en los grados de tolerancia superiores a IT7 incrementados en Δ	-6	-10	-14		-18		-20		-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0
$3 < d \leq 6$	5	6	10	-1+ Δ		-4+ Δ	-4	-8+ Δ	0		-12	-15	-19		-23		-28		-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6
$6 < d \leq 10$	5	8	12	-1+ Δ		-6+ Δ	-6	-10+ Δ	0		-15	-19	-23		-28		-34		-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7
$10 < d \leq 14$											-18	-23	-28		-33		-40		-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
$14 < d \leq 18$	6	10	15	-1+ Δ		-7+ Δ	-7	-12+ Δ	0		-18	-23	-28		-33		-39	-45	-60	-77	-108	-150	1	2	3	3	7	9
$18 < d \leq 24$											-22	-28	-35		-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12
$24 < d \leq 30$											-26	-34	-43		-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	1,5	3	4	5	9	14
$30 < d \leq 40$	10	14	24	-2+ Δ		-9+ Δ	-9	-17+ Δ	0		-26	-34	-43		-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	1,5	3	4	5	9	14
$40 < d \leq 50$											-32	-41	-53		-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	2	3	5	6	11	16
$50 < d \leq 65$											-32	-43	-59		-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	2	3	5	6	11	16
$65 < d \leq 80$											-37	-51	-71		-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	2	4	5	7	13	19
$80 < d \leq 100$	16	22	34	-3+ Δ		-13+ Δ	-13	-23+ Δ	0		-37	-54	-79		-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	2	4	5	7	13	19
$100 < d \leq 120$											-43	-63	-92		-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	3	4	6	7	15	23
$120 < d \leq 140$											-43	-65	-100		-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	3	4	6	7	15	23
$140 < d \leq 160$	18	26	41	-3+ Δ		-15+ Δ	-15	-27+ Δ	0		-43	-65	-100		-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	3	4	6	7	15	23
$160 < d \leq 180$											-43	-68	-108		-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	3	4	6	7	15	23
$180 < d \leq 200$											-43	-77	-122		-166	-236	-284	-340	-425	-520	-670	-880	3	4	6	9	17	26
$200 < d \leq 225$	22	30	47	-4+ Δ		-17+ Δ	-17	-31+ Δ	0		-50	-80	-130		-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	3	4	6	9	17	26
$225 < d \leq 250$											-50	-84	-140		-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	3	4	6	9	17	26
$250 < d \leq 280$											-56	-94	-158		-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	4	4	7	9	20	29
$280 < d \leq 315$	25	36	55	-4+ Δ		-20+ Δ	-20	-34+ Δ	0	-56	-98	-170		-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	4	4	7	9	20	29	
$315 < d \leq 355$										-62	-108	-190		-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	4	5	7	11	21	32	
$355 < d \leq 400$	29	39	60	-4+ Δ		-21+ Δ	-21	-37+ Δ	0	-62	-114	-208		-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	4	5	7	11	21	32	
$400 < d \leq 450$										-68	-126	-232		-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	5	5	7	13	23	34	
$450 < d \leq 500$	33	43	66	-5+ Δ		-23+ Δ	-23	-40+ Δ	0	-68	-132	-252		-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	5	5	7	13	23	34	

TABLAS DIN ISO 2768-2:1991-04 (Aparecen en el apartado 3.2.1.1).

Tabla 20. Tolerancias generales de rectitud y planitud (Fuente: AENOR).

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE RECTITUD Y PLANITUD					
	Se toma la longitud más significativa (más larga o \emptyset) (mm)					
	$L \leq 10$	$10 > L \leq 30$	$30 > L \leq 100$	$100 > L \leq 300$	$300 > L \leq 1000$	$1000 > L \leq 3000$
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

Tabla 21. Tolerancias generales de rectitud y planitud (Fuente: AENOR).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE PERPENDICULARIDAD El lado más corto (mm)			
	$L \leq 100$	$100 > L \leq 300$	$300 > L \leq 1000$	$1000 > L \leq 3000$
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0

Tabla 22. Tolerancias generales de rectitud y planitud (Fuente: AENOR).

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE SIMETRÍA El lado más largo (mm)			
	$L \leq 100$	$100 > L \leq 300$	$300 > L \leq 1000$	$1000 > L \leq 3000$
H	0,5			
K	0,6		0,8	1,0
L	0,6	1,0	1,5	2,0

Tabla 23. Tolerancias generales de oscilaciones DIN ISO 2768-2:1991-04 (Fuente: AENOR).

Clase de tolerancia	TOLERANCIAS DE OSCILACIÓN CIRCULAR (mm).
H	0,1
K	0,2
L	0,5

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

DOCUMENTOS DE APOYO PARA SUBAPARTADO 4.2.2

Herramienta para refrentar el bruto y cilindrar el cuerpo del casquillo:

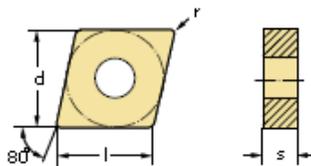
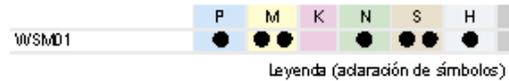


CNGG120401-MS3 WSM01

CNGG Romboidales negativos 80°



Artículo no. 7021455
Denominación (ISO) CNGG120401-MS3 WSM01
Denominación (ANSI) CNGG4(3)0.2-M S3 WSM01
Código GTIN / Código de barras 0836005948



Detalles del producto

Descripción	Símbolo	Valor
Diámetro de la circunferencia inscrita	d	12,7 mm
Radio de esquina	r	0,1 mm
Avance por vuelta	f	0,02–0,06 mm
Profundidad de corte	a _p	0,2–2,5 mm
Cutting Speed	v _c P	120–170 m/min
	v _c M	220–300 m/min
	v _c N	870–1190 m/min
	v _c S	60–80 m/min

Figura 84. Ficha técnica herramienta para refrentar pieza (Fuente: Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Herramienta para fresar el coliso central con herramienta motorizada:

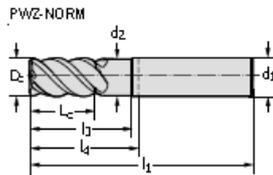
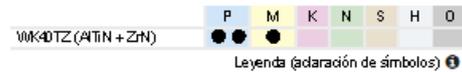
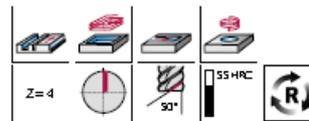


MC341-06.0A4P-WK40TZ

MC341 Fresas de escuadrar/franurar MDI

Supreme

Artículo no. 6911707
Denominación (ISO) M C341-06.0A4P-WK40TZ
Código GTIN/ Código de barras 4042446267414



Detalles del producto

Descripción	Símbolo	Valor
Diámetro de corte (h9)	D_c	6 mm
Longitud del filo de corte	L_c	10 mm
Longitud utilizable	l_b	16 mm
Diámetro del cuello	d_2	5,5 mm
Longitud general	l_1	57 mm
Longitud funcional	l_f	21 mm
Diámetro del mango (h8)	d_1	6 mm
Número de dientes	Z	4

Figura 85. Ficha técnica herramienta de fresado (Fuente: Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Velocidad de corte de la herramienta para fresar elegida:

Cutting Speed for: EC-H4M 06-12W06CF-E57 IC900 - 5667908

ISO	Material	Material Designation	Material Condition	Hardness	Cutting Speed Recommendations (Vc)
P	1	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25%C.	Annealed	125 HB	250-270 m/min
P	2	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25%C.	Annealed	190 HB	200-230 m/min
P	3	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.55% C	Quenched and tempered	250 HB	160-220 m/min
P	4	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55% C	Annealed	220 HB	160-220 m/min
P	5	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55% C	Quenched and tempered.	300 HB	140-180 m/min
P	6	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Annealed	200 HB	160-220 m/min
P	7	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Quenched and tempered	275 HB	120-180 m/min
P	8	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Quenched and tempered	300 HB	130-180 m/min
P	9	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Quenched and tempered	350 HB	140-180 m/min
P	10	High alloyed steel, cast steel and tool steel	Annealed	200 HB	130-180 m/min
P	11	High alloyed steel, cast steel and tool steel	Quenched and tempered	325 HB	70-120 m/min
P	12	Stainless steel and cast steel	Ferritic/martensitic	200 HB	80-160 m/min
P	13	Stainless steel and cast steel	Martensitic	240 HB	60-150 m/min
M	14	Stainless steel and cast steel	Austenitic, duplex	180 HB	60-120 m/min
K	15	Grey cast iron (GG)	Pearlitic/ferritic	180 HB	80-250 m/min
K	16	Grey cast iron (GG)	Pearlitic/martensitic	260 HB	130-240 m/min
K	17	Nodular cast iron (GGG)	Ferritic	160 HB	150-270 m/min
K	18	Nodular cast iron (GGG)	Pearlitic	250 HB	150-270 m/min
K	19	Malleable cast iron	Ferritic	130 HB	150-270 m/min
K	20	Malleable cast iron	Pearlitic	230 HB	140-240 m/min
S	31	High temp. alloys Fe based	Annealed	200 HB	20-40 m/min
S	32	High temp. alloys Fe based	Hardened	280 HB	20-30 m/min
S	33	High temp. alloys Ni or Co based	Annealed	250 HB	20-30 m/min
S	34	High temp. alloys Ni or Co based	Hardened	350 HB	20-30 m/min
S	35	High temp. alloys Ni or Co based	Cast	320 HB	20-30 m/min
S	36	Titanium (pure)	Pure	190 HB	30-80 m/min
S	37	Titanium alloys	Alpha+beta alloys, hardened	310 HB	30-80 m/min

Tabla 63. Velocidad de corte para la herramienta elegida para fresar (Fuente: <https://www.iscar.com/eCatalog/Grade.aspx?grade=IC900&item=5667908&inum=3736&mapp=ML&app=0>).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Herramienta para el tronzado:



DX18-1E100N01-CF5 WSM33S

DX Ranurado y tronzado - Plaquetas de corte

Tigertec® Silver



Artículo no. 8035914
Denominación (ISO) DX18-1E100N01-CF5 WSM33S
Código GTIN / Código de barras 0658865939



La imagen muestra un producto similar

WSM33S

P	M	K	N	S	H
●	●	●	●	●	●

Legenda (aclaración de símbolos)



Detalles del producto

Descripción	Símbolo	Valor
mano	mano	Neutra
Ancho de tronzado	s	1 mm
Radio de esquina	r	0,1 mm
Longitud del filo de corte	l	18 mm
Avance por vuelta	f	0,03–0,1 mm
Tolerancia de ancho de tronzado	s _{Tol}	±0.05 mm
Tolerancia de longitud	l _{Tol}	±0.15 mm
Cutting Speed	√6 P	130–230 m/min
	√6 M	120–180 m/min
	√6 K	150–250 m/min

Figura 86. Ficha técnica herramienta de ranurado de barra (Fuente. Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Determinación del avance según propiedades de la herramienta en el fresado

Determinación del avance (continuación)

Los valores de avance indicados son valores de referencia medios.
Se recomienda realizar una adaptación en los casos de aplicación especiales.

a_e [mm]*	Avance por diente f_z [mm]									
	∅ 0,3 mm	∅ 0,5 mm	∅ 1 mm	∅ 2 mm	∅ 3 mm	∅ 4 mm	∅ 6 mm	∅ 8 mm	∅ 10 mm	∅ 12 mm
0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,12	0,16	
0,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	
0,1	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,12	0,16	0,16
0,2	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,12	0,14	0,16
0,5		0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,06	0,10	0,12	0,12
1			0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,10
2				0,02	0,02	0,02	0,04	0,06	0,09	0,10
3					0,02	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
5						0,02	0,03	0,06	0,08	0,10
6							0,02	0,05	0,06	0,08
8								0,04	0,06	0,07
10									0,05	0,06
12										0,06
14										
16										
18										
20										
25										
32										
40										
50										
63										
80										
100										
160										
200										

Tabla 64. Tabla para la determinación del avance en el fresado según herramienta ISO M (Fuente: Walter).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

INFORMACIÓN TORNO MOTORIZADO CNC BIGLIA B545M



Figura 87. Torno WT-100 Nakamura-Tome (Fuente: <https://www.nakamura-tome.com/products/wt-100/>).

	ϕ 42mm
Max. Turning Diameter	190mm
Max. Turning Length	503mm
Distance Between Spindles	max.735mm/min.210mm
Bar Capacity	42mm
Chuck Size	6"
L/R Spindle Speed	6,000min ⁻¹
L Spindle Drive Motor	11/7.5kW
R Spindle Drive Motor	11/7.5kW

Tabla 65. Datos técnicos Torno WT-100 (Fuente: <https://www.nakamura-tome.com/products/wt-100/>).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

COSTE MATERIA PRIMA, BARRA EN BRUTO AISI 303 PARA MECANIZAR

Superficie derecha 30mm 36mm 40mm 45mm 50mm AISI 303 303F SS bar

1 - 24 Toneladas	25 - 49 Toneladas	>= 50 Toneladas
2.590,00 US\$	2.520,00 US\$	2.500,00 US\$

Beneficios: Regalo de cupón de 3 días: hasta US \$80 de descuento [Reclamar ahora >](#)

Diámetro	10mm	2590.00 US\$	-	0	+
	20mm	2590.00 US\$	-	0	+
	30mm	2590.00 US\$	-	0	+

[View all 10 options >](#)

Muestras: 1-500mm

2.000,00 US\$/Tonelada Pedido mínimo : 1 Tonelada [Comprar muestras](#)

Plazo de entrega:	Quantity (Toneladas)	1 - 10	11 - 50	51 - 100	> 100
<i>i</i>	Hora del Est.(días)	5	15	25	Para negociar

Personalizacion: Logotipo personalizado (Pedido mínimo 5 Toneladas)
Embalaje personalizado (Pedido mínimo 5 Toneladas)
More >

La cantidad mínima de pedido es 1

Tonelada
0/1 Tonelada desde **2590.00 US\$**
Tiempo de procesamiento 5 días *i*

Envío Para negociar

[Contactar Proveedor](#)

Verified supplier

Shandong Jiashou Steel Co., Ltd.

Proveedor de marca propia

CN 5 YRS

1 marcas propias

Puntuación de la ti... Tasa de entregas a...
5.0/5 **100.0%**

Tiempo de respuesta Ingresos de export...
≤2h **\$340,000+ USD...**

Mercados principales Clientes atendidos
Mid East,Africa... 1

Servicios

Figura 88. Coste barra en bruto AISI 303 (Fuente: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Bright-1600873995397.html?spm=a2700.7735675.0.0.33c6e02Ue02UCw&s=p>).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

COSTE PRECIOS DE MECANIZADO (ESTIMADOS)

No.	Nombre del dispositivo	Número de modelo	Rango de procesamiento	Costos de procesamiento (€/h)
1	torno	C616	Φ320×750~1000	11
2	torno	C6140	Φ400×1000~2000	13
3	torno	J1-MAZAK	Φ460×1000~2000	15
4	torno	C6150	Φ460×1000~2000	15
5	torno	C630	Φ630×1000~2000	21
6	torno	C650	Φ800×1500~5000	30
7	Torno vertical	C5116A	Φ1600	28
8	Perforadora radial	Z3050	Φ50~Φ63	16
9	Perforadora radial	Z3080	Φ80	20
10	Perforadora vertical	Z5140A	Φ32~Φ40	12
11	Máquina perforadora horizontal	T68	1000×1000	26
12	Máquina perforadora horizontal	T611	1000×1000	30
13	Máquina de perforación vertical	T4163	630×1100	56
14	Máquina perforadora horizontal	T6111A	1200×1200	36
15	máquina circular universal	M1420	Φ125~220×350~1000	15
16	máquina circular universal	M1432A	M9025×500~1000	19
17	máquina circular universal	M1432B	Φ315~320×1500~3000	26
18	máquina circular universal	M1331A	Φ315~320×1500~3000	26

*Tabla 66. Tabla costes estimados mecanizados (Fuente:
<https://metpartss.com/C.mo.calcular.el.cost.de.piezas.de.mecanizado/>).*

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

1. Precio básico de torneado: ¥ 20-40

Específico según la situación real, como piezas pequeñas, procesamiento muy simple, horas de trabajo es menos de ¥ 20;

A veces, incluso solo ¥ 10, como algunas poleas grandes, la asignación de procesamiento es grande, el jefe solo gana el dinero de polvo de hierro fundido es suficiente;

A veces, si la pieza de trabajo es grande, nadie en el mercado generalmente puede procesarla, y puede aumentar el precio dos o tres veces. No hay forma de que otros

2. El precio básico de la molienda: ¥ 25-45

3. Precio básico de fresado: ¥ 25-45

4 precio básico de perforación: ¥ 15-35

5. Precio de PlanerBasic: ¥ 15-35

6. Precio básico de corte de alambre: ¥ 30-40 / m2

7. Precio básico de la chispa eléctrica: ¥ 10-40, una sola pieza generalmente presiona 50 / pieza (menos de 1 hora)

Precio básico 8.NC: 2-4 veces más caro que lo normal

9. Grabado: generalmente una sola pieza. ¥ 50-500 / pieza,

Figura 89. Costes estimados procesos de mecanizado en China (Fuente: https://metalfpartss.com/C_mo_calcular_el_costo_de_piezas_de_mecanizado_/).

COSTE MATERIA PRIMA, POLVOS METÁLICOS 303LSC PARA PULVIMETALURGIA



Best-Selling High-Quality Stainless Steel 304 Powder

Reference FOB Price / Purchase Qty. ⓘ

US \$11.00

1-49 kg

US \$10.00

50-99 kg

US \$9.00

100+ kg

Type:	Stainless Steel Powder
Standard:	ASTM, GB
Certification:	ISO, ASTM, GB
Shape:	Spherical Powder
Technique:	Plasma Rotating Electrode Atomizing Process
Surface Treatment:	Bright

Samples: **US\$ 5/kg** 1 kg(Min.Order) | [Request Sample](#)
Silver and grey



Figura 90. Coste materia prima PM 304 (Fuente: <https://gzslam.en.made-in-china.com/product/FZBEpvouEQWi/China-Best-Selling-High-Quality-Stainless-Steel-304-Powder.html>).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

2. Product parameters

Spherical Stainless steel 304 powder							
Tested	Chemical composition (wt.%)						
	C	Si	Mn	Ni	Cr	O	P
	≤0.15	≤0.08	≤0.2	9.0-10.0	17.5-18.5	≤0.15	0.035
Particle size distribution	15-45,µm45-105, µm45-150µm						
Apparent density	3.7/cm ³						
Particle size	100mesh,200mesh,300mesh,15-53um,70nm						
loose density	7.93g/cm ³						
Flowability(a)	≤35s						
Tap Density	5.4g/cm ³						
application	1.Laser Forming Repair 2.Spraying Thermal 3.Hot Isostatic 4.3D Printing 5.Powder Welding						
Other things	We also produce W,Ti,Ni,Co,Nb and refractory alloys. We can be customized according to your requirements.						

Tabla 67. Parametros del material polvo metálico 304 (Fuente: <https://gzslam.en.made-in-china.com/product/FZBEpvouEQWi/China-Best-Selling-High-Quality-Stainless-Steel-304-Powder.html>).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

TABLAS DE METALES SINTERIZADOS (DIN 30910-4:2004-05; JIS Z 2550:2000; MPIF Standard 35)

Estándar Alemán DIN 30910-4:2004-11:

Werkstoff	Kurzzeichen	Zulässige Bereiche										Informative Beispiele															
		Dichte	Chemische Zusammensetzung (Massenanteile)									Härte	Dichte	Chemische Zusammensetzung (Massenanteile)									Zugfestigkeit	Streckgrenze	Bruchdehnung	Härte	E-Modul
			ρ	C	Cu	Ni	Mo	Sn	P	Fe	sonstige			HB	ρ	C	Cu	Ni	Mo	Sn	P	Fe					
Sint.	g/cm ³	%	%	%	%	%	%	%	%	%	g/cm ³	%	%	%	%	%	%	%	%	N/mm ²	N/mm ²	%		N/mm ²			
Sinterisen	C 00	6,4 bis 6,8	<0,3	< 1						Rest	< 2	> 35	6,6							Rest	< 0,5	120	60	3	40	100	
	D 00	6,8 bis 7,2										> 45	6,9									170	90	8	50	130	
	E 00	> 7,2										> 60	7,3									240	120	14	60	160	
Sinterstahl	C-haltig	C 01	6,4 bis 6,8	0,3 bis 0,9	< 1							> 70	6,6							Rest	< 0,5	240	170	2	75	100	
		D 01	6,8 bis 7,2									> 90	6,9	0,5								300	200	2	90	130	
	Cu-haltig	C 10	6,4 bis 6,8	1 bis 5	<0,3							> 40	6,6		1,5					Rest	< 0,5	200	140	2	55	100	
		D 10	6,8 bis 7,2									> 50	6,9									250	190	3	80	130	
	Cu- und C-haltig	C 11	6,4 bis 6,8	0,4 bis 5	<0,3							> 80	6,6	0,6	1,5					Rest	< 0,5	390	290	1	115	100	
		D 11	6,8 bis 7,2									> 95	6,9									460	370	2	130	130	
	Cu- und Ni- und Mo-haltig	C 21	6,4 bis 6,8	1,5	5 bis 10							> 105	6,6	0,8	6,0					Rest	< 0,5	470	360	< 1	140	100	
		D 21	6,8 bis 7,2										6,6														
	Cu-, Ni- und Mo-haltig	C 30	6,4 bis 6,8	1 bis 5	<0,3	1 bis 5	<0,6					> 55	6,6		0,3	1,5	4,0	0,5		Rest	< 0,5	360	290	2	100	100	
		D 30	6,8 bis 7,2									> 60	6,9										330	330	2	125	130
	Mo-haltig	C 31	6,4 bis 6,8	0,6 bis 2	<0,3	<3,0	<5,0					> 50	6,6		0,2	2,0	1,5			Rest	< 0,5	320	220	1	100	100	
		D 31	6,8 bis 7,2									> 60	6,9										380	260	2	120	130
Mo- und C-haltig	C 32	6,4 bis 6,8	0,6 bis 2	<0,3	<3,0	<5,0					> 55	6,6							Rest	< 0,5	400	370	< 1	140	100		
	D 32	6,8 bis 7,2									> 60	6,9	0,6	2,0	1,5							520	480	1	180	130	
P-haltig	C 35	6,4 bis 6,8	0,3 bis 0,6	<0,3	< 1					0,3 bis 0,6	> 80	6,6					0,45		Rest	< 0,5	290	180	9	80	100		
	D 35	6,8 bis 7,2									> 80	6,9										310	210	10	85	100	
Cu- und P-haltig	C 36	6,4 bis 6,8	0,3 bis 0,6	<0,3	1 bis 5					0,3 bis 0,6	> 90	6,6		2,0			0,45		Rest	< 0,5	330	270	4	90	100		
	D 36	6,8 bis 7,2									> 90	6,9										350	300	5	95	130	
Cu-, Ni-, Mo- und C-haltig	C 39	6,4 bis 6,8	0,3 bis 0,9	1 bis 3	1 bis 5	<0,6					> 90	6,6	0,5	1,5	4,0	0,5			Rest	< 0,5	480	350	1	140	100		
	D 39	6,8 bis 7,2									> 120	6,9										560	380	2	160	130	
Rostfreier Sinterstahl ^a	AISI 316	C 40	6,4 bis 6,8	< 0,08	10 bis 14	2 bis 4			Cr	16 bis 19	> 95	6,6	0,06		13	2,5		Cr	18	< 0,5	330	250	1	110	100		
		D 40	6,8 bis 7,2								> 125	6,9										400	320	2	135	130	
	AISI 430	C 42	6,4 bis 6,8	< 0,08					Cr	16 bis 19	> 140	6,6	0,06					Cr	18	< 0,5	420	330	1	170	100		
AISI 410	C 43	6,4 bis 6,8	<0,3					Cr	11 bis 13	> 165	6,6	0,2					Cr	13	< 0,5	510	370	1	180	100			
Sinterbronze	C 50	7,2 bis 7,7	Rest				9 bis 11				> 35	7,4							Rest	< 0,5	150	90	4	40	50		
	D 50	7,7 bis 8,1									> 45	7,9			10							220	120	6	55	70	

^a Werte gelten für Sinterung in stickstoffhaltiger Atmosphäre

Tabla 68. Metales sinterizados según DIN 30910-4:2004-11 (Fuente: <https://www.ginoolivaressrl.com/files/DIN30910-4.pdf>)

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Estándar Japonés JIS Z 2550:2000:

Standard	Code	Density (g/cm ³)	Hardness	Mechanical Properties		1 N/mm ² = 1MPa	Chemical Composition (%)										
				Tensile Strength (N/mm ²)	Yield Strength (N/mm ²)	Charpy Impact Value (J/cm ²)	(Fe)	(Cu)	(C)	(Ni)	(Mo)	(Mn)	(Cr)	(Sn)			
JIS Z 2550 : 2000 (Japanese Standard)	SMF 1015	6.8	HRF 60	150		10	Bal.										
	SMF 1020	7.0	HRF 60	200		15	Bal.										
	SMF 3030	6.6	HRB 30	300		5	Bal.			0.4-0.8							
	SMF 3035	6.8	HRB 40	350		5	Bal.			0.4-0.8							
	SMF 4040	6.6	HRB 30	400		5	Bal.	1-5		0.2-1.0							
	SMF 4050	6.8	HRB 84	500		5	Bal.	1-5		0.2-1.0							
	SMF 5030	6.6	HRB 83	300		10	Bal.	0.5-3.0		0.8 max	1-5						
	SMF 5040	6.8	HRB 85	400		10	Bal.	0.5-3.0		0.8 max	2-8						
	SMF 6040	7.2	HRB 50	400		10	Bal.	15-25		0.3 max							
	SMF 6055	7.2	HRB 80	550		5	Bal.	15-25		0.3-0.7							
	SMF 6065	7.4	HRB 90	650		10	Bal.	15-25		0.3-0.7							
	SMF 8040	6.8	HRB 80	400		15	Bal.			0.4-0.8	1-5						
	SMS 1025	6.4	HRB 50	250		-	Bal.			0.08 max	8-14		2-3		16-20		
	SMS 1035	6.8	HRB 50	350		-	Bal.			0.08 max	8-14		2-3		16-20		
	SMS 2025	6.4	HRB 60	250		-	Bal.			0.2 max					12-14		
	SMS 2035	6.8	HRB 60	350		-	Bal.			0.2 max					12-14		
	SMK 1010	6.8	HRH 70	100		5			Bal.	1.5 max							9-11
	SMK 1015	7.2	HRH 80	150		10			Bal.	1.5 max							9-11

Tabla 69. Metales sinterizados JIS Z 2550:2000 (Fuente https://en.acepowdermetal.com/paper/other_page.php?id=3171).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

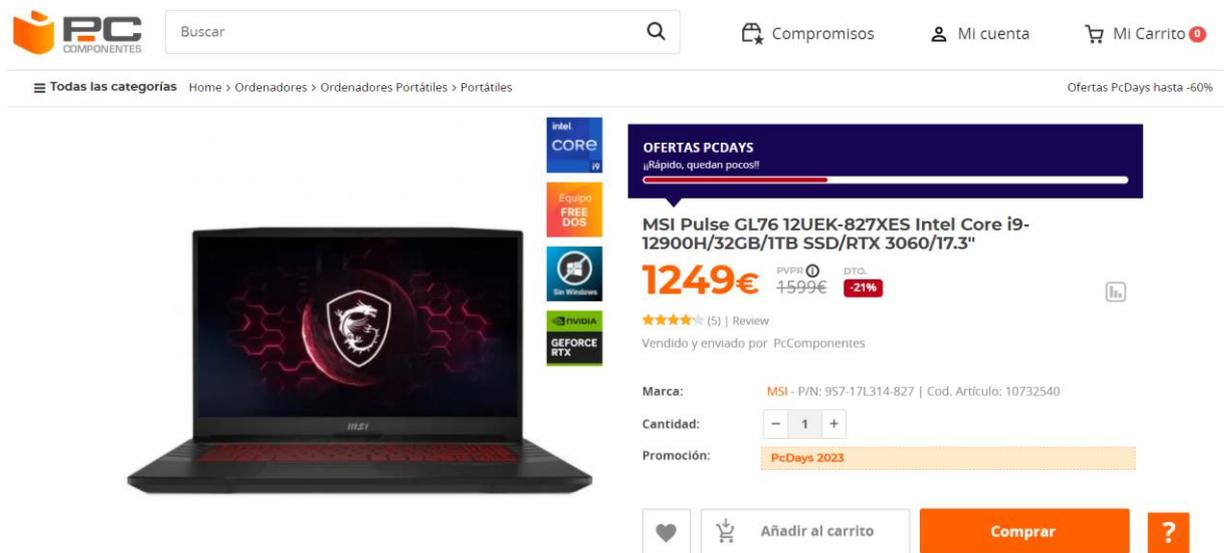
Estándar Americano MPIF Standard 35:

Standard	Code	Density (g/cm ³)	Hardness	Tensile Properties		Unnotched Charpy Impact Energy (ft-lbf)	Transverse Rupture Strength (10 ³ psi)	Chemical Composition (%)									
				Ultimate Strength (10 ³ psi)	Yield Strength 0.2% (10 ³ psi)			Fe	Cu	C	Ni	Mo	Mn	Cr	Sn		
MPIF Standard 35 (U.S. Standard)	F-0000	6.1 - 6.7	HRF 40-60	18-25	13-18	3-6	36-50	Bal.		0-0.3							
	F-0005	6.1 - 6.9	HRB 25-55	24-38	18-28	3-5	48-76	Bal.		0.3-0.6							
	F-0008	5.8 - 7.0	HRB 35-70	29-57	25-40	2.5-5	51-100	Bal.		0.6-0.9							
	FC-0205	6.0 - 7.1	HRB 37-72	35-60	35-50	2-8	60-115	Bal.	1.5-3.9	0.3-0.6							
	FC-0205HT	6.2 - 7.0	HRC 10-36	70-100	70-100	2.5-5.5	95-135	Bal.	1.5-3.9	0.3-0.6							
	FC-0208	5.8 - 7.2	HRB 50-84	35-75	35-65	2-7	60-155	Bal.	1.5-3.9	0.6-0.9							
	FC-0208HT	6.1 - 7.1	HRC 20-43	65-105	65-105	2.5-5.5	95-150	Bal.	1.5-3.9	0.6-0.9							
	FN-0205	6.6 - 7.4	HRB 44-78	40-70	25-40	6-34	65-150	Bal.	0-2.5	0.3-0.6	1-3						
	FN-0205HT	6.6 - 7.4	HRC 23-40	90-185	90-185	3.5-9.5	120-250	Bal.	0-2.5	0.3-0.6	1-3						
	FN-0208	6.7 - 7.4	HRB 63-88	45-90	35-55	5.5-21	85-170	Bal.	0-2.5	0.6-0.9	1-3						
	FN-0208HT	6.7 - 7.4	HRC 26-42	90-195	90-195	4-8	120-250	Bal.	0-2.5	0.6-0.9	1-3						
	FLN2C-4005	6.7 - 7.4	HRB 81-93	70-130	65-82	7-29	145-240	Bal.	1.3-1.7	0.4-0.7	1.5-2	0.4-0.6	0.05-0.3				
	FLN2C-4005HT	6.7 - 7.4	HRC 25-40	115-240	115-180	5-19	185-370	Bal.	1.3-1.7	0.4-0.7	1.5-2	0.4-0.6	0.05-0.3				
	FLNC-4408HT	6.8 - 7.2	HRC 21-30	95-140	95-140	7-16	190-250	Bal.	1-3	0.6-0.9	1-3	0.65-0.95	0.05-0.3				
	FD-0205	6.75 - 7.4	HRB 72-86	68-100	52-67	8-28	130-210	Bal.	1.3-1.7	0.3-0.6	1.55-1.95	0.4-0.6	0.05-0.3				
	FD-0205HT	6.75 - 7.4	HRC 28-45	105-170	105-170	5-11	160-240	Bal.	1.3-1.7	0.3-0.6	1.55-1.95	0.4-0.6	0.05-0.3				
	FD-0208	6.75 - 7.25	HRB 80-90	69-103	58-73	7-17	135-195	Bal.	1.3-1.7	0.6-0.9	1.55-1.95	0.4-0.6	0.05-0.3				
	FX-1008	7.3	HRB 89	87	60	10	166	Bal.	8-14.9	0.6-0.9							
	FX-1008HT	7.3	HRC 43	120	120	6.5	189	Bal.	8-14.9	0.6-0.9							
	FX-2008	7.3	HRB 90	80	70	7	156	Bal.	15-25	0.6-0.9							
	FX-2008HT	7.3	HRC 36	100	100	5	159	Bal.	15-25	0.6-0.9							
	SS-303L	6.6 - 6.9	HRB 21-35	39-48	17-24	40-55	82	Bal.		0-0.03	8-13		0-2	17-19			
	SS-304L	6.6 - 6.9	HRB 30-45	43-57	18-26	45-80	-	Bal.		0-0.03	8-12		0-2	18-20			
	SS-316L	6.6 - 6.9	HRB 20-45	41-57	20-30	35-65	80	Bal.		0-0.03	10-14	2-3	0-2	16-18			
	SS-410L	6.9	HRB 45	48	26	50	-	Bal.		0-0.03			0-1	11.5-13.5			
	CT-1000	7.2	HRH 82	22	16	4	45		87.5-90.5								9.5-10.5

Tabla 70. Metales sinterizados MPIF Standard 35 (Fuente https://en.acepowdermetal.com/paper/other_page.php?id=3171).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

DOCUMENTOS PARA CALCULAR EL PRESUPUESTO



The screenshot shows the PC Components website interface. At the top, there is a search bar with the text "Buscar" and a magnifying glass icon. To the right are links for "Compromisos", "Mi cuenta", and "Mi Carrito". Below the navigation bar, there is a breadcrumb trail: "Todas las categorías Home > Ordenadores > Ordenadores Portátiles > Portátiles". On the right side, there is a promotional banner for "OFERTAS PC DAYS" with the text "¡Rápido, quedan pocos!". The main product is an MSI Pulse GL76 12UEK-827XES laptop, featuring an Intel Core i9-12900H processor, 32GB RAM, 1TB SSD, and RTX 3060 graphics. The price is listed as 1249€ (reduced from 1599€), with a -21% discount. The product has a 5-star rating and is sold by PCComponents. The page includes a "Comprar" button and an "Añadir al carrito" button.

Figura 91. Coste ordenador usado para llevar el TFG acabo (Fuente: PC components).

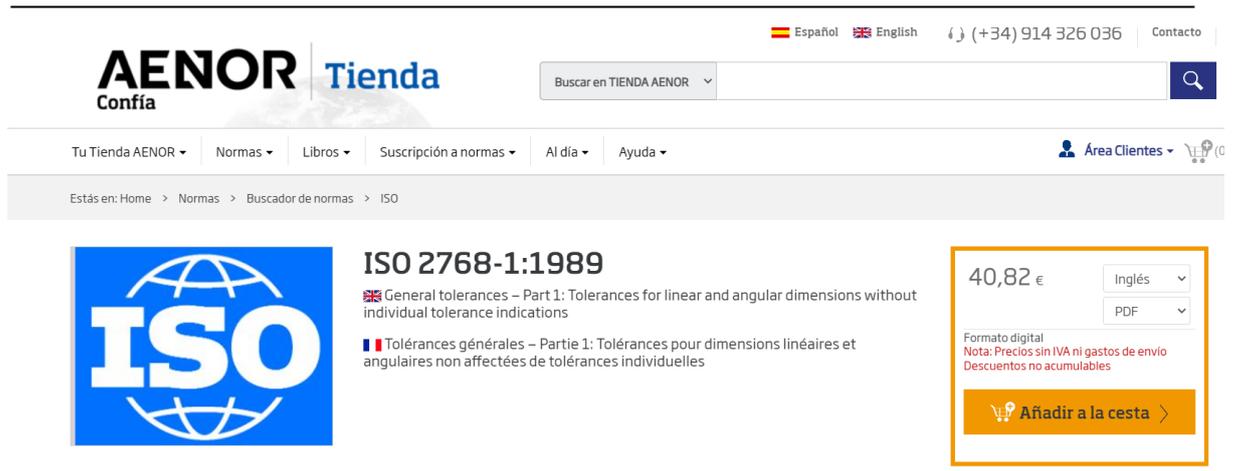


The screenshot shows the HP website interface for an HP M24fwa monitor. On the left, there is a product image of the monitor with a "Producto Rebajado" badge. The product name is "Monitor con altavoces HP M24fwa". The price is 149,00€ (reduced from 170€), with a 12% discount. The product has a 4.5-star rating and is sold by Klarna. The page includes a "Añadir al carrito" button and a "Hacer una pregunta" link. The product specifications are listed below the price:

- 60,45 cm (23,8")
- FHD (1920 x 1080)
- Controles en pantalla; AMD FreeSync™; Modo low blue light; Altavoces duales (2 W por canal); Antirreflejante
- Tiempo de respuesta: GTG de 5 ms (con Overdrive)
- HDMI; VGA; Audio Ver todas las características

Figura 92. Coste monitor HP usado en el TFG (Fuente: Hp).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez



AENOR | Tienda
Confía

Buscar en TIENDA AENOR

Tu Tienda AENOR | Normas | Libros | Suscripción a normas | Al día | Ayuda

Estás en: Home > Normas > Buscador de normas > ISO

ISO 2768-1:1989

General tolerances – Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications

Tolérances générales – Partie 1: Tolérances pour dimensions linéaires et angulaires non affectées de tolérances individuelles

40,82 €

Inglés

PDF

Formato digital
Nota: Precios sin IVA ni gastos de envío
Descuentos no acumulables

Añadir a la cesta

Figura 93. Norma ISO 2768-1 (Fuente: ISO).



SOLIDBI
hacia la innovación

Consigue tu **Bono Digital**, hasta 12.000 € para digitalizar tu empresa.
¡Solicítalo aquí!

DISEÑO MECÁNICO CAD

SOLIDWORKS Premium Trimestral	SOLIDWORKS Premium Anual	SOLIDWORKS Premium Compra
€ 1.650	€ 5.496	€ 10.950
• Licencia trimestral	• Licencia anual	• Licencia Perpetua, + 2.574€ mantenimiento anual

Figura 94. Coste licencia Solid (Fuente: Solidworks).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

Planes y Factur... > **Cambiar plan de Lucidchart**

Lo mejor para los negocios		
Individual A partir de 8,00 € /mes Sin IVA Productos incluidos: 	Equipo A partir de 9,00 € / usuario Sin IVA Productos incluidos: 	Corporativo A partir de 17,83 € / usuario Sin IVA Productos incluidos:
Reactivar	Subir la categoría del plan	Subir la categoría del plan
Ver detalles del plan		Comunícate con Ventas
Todo lo del plan Gratuito, más: <ul style="list-style-type: none">✓ Documentos editables ilimitados✓ Objetos ilimitados por documento✓ <u>Actividades visuales premium</u> NUEVO	Todo lo del plan Individual, más: <ul style="list-style-type: none">✓ <u>Controles avanzados de actividades visuales</u> NUEVO✓ Comentarios✓ Historial de revisiones con control de versiones	Todo lo del plan Equipo, más: <ul style="list-style-type: none">✓ <u>Espacios para Equipos</u> NUEVO✓ <u>Lienzo universal</u> NUEVO✓ Acceso a Lucidspark para colaborar en una pizarra virtual

Figura 95. Coste licencia Lucid (Fuente: Lucidchart).

Haz un pago anual de Microsoft 365 y ahorra 17%

Pago anual Pago mensual

Recomendado para 2-6 personas Microsoft 365 Familia 99,00 €/año <ul style="list-style-type: none">• Para compartir entre un máximo de seis personas.• Cada persona puede usarla hasta en cinco dispositivos a la vez.• Funciona en PC, Mac, iPhone, iPad y teléfonos y tabletas Android.• Hasta 6 TB de almacenamiento en la nube (1 TB por persona).• Funciones adicionales en la aplicación móvil Family Safety. Comprar ahora	Microsoft 365 Personal 69,00 €/año <ul style="list-style-type: none">• Para una persona.• Puede utilizarse hasta en cinco dispositivos a la vez.• Funciona en PC, Mac, iPhone, iPad y teléfonos y tabletas Android.• 1 TB de almacenamiento en la nube. Comprar ahora
---	---

Figura 96. Coste paquete office (Fuente: Microsoft).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

PRESUPUESTO

En el presupuesto del proyecto, se va a hacer un estudio del coste total que ha conllevado el realizar este TFG:

Se va a tener en cuenta la página glassdoor (Glassdoor, 2023) y el diario de navarra la cual compara diferentes ofertas respecto al mismo puesto para estudiar una media del sueldo anual referente al puesto estudiado y el diario de navarra que publica un artículo respecto a los puestos mejor pagados en España de los sectores IT & TELCO e Industria (Diario de Navarra, 2021). Se estima que un director de proyectos cobra entre 50.000 [Eur. brutos/anales] y 80.000 [Eur. brutos/anales]. Se tomará el sueldo de 50.000 [Eur. brutos/anales] al ser un project manager junior.

$$\begin{aligned} \text{Costes mano de obra} &= 50.000 \text{ [Eur brutos/anales]} \div 12 \text{ [meses]} \\ &= 4.166,6 \text{ [Eur /mes]} \end{aligned}$$

$$\text{Costes mano de obra} = 4.166,6 \text{ [Eur /mes]} \times 5 \text{ [meses]} = 20.833,3 \text{ [Eur /TFG]}$$

CONCEPTO	IMPORTE [EUR]	OBSERVACIONES
COSTES DIRECTOS		
Mano de obra	20833,3	40h/semanales en 5 meses de duración de TFG
Portátil Msi + Pantalla	1309	Costes justificados en ANEXO TFG
Programas pagados	1727	Solidworks, Lucidchart, Paquete Office
Documentacion técnica	224	2 normas ISO Y 2 normas AENOR Compradas
TOTAL COSTES DIRECTOS	24093,3	
COSTES INDIRECTOS		
Gastos generales	1050	Energía , dietas (150 euros mensuales) ...
TOTAL COSTES INDIRECTOS	1050	
TOTAL PBL	25143,3	

Tabla 71. Desglose presupuesto TFG (Fuente: propia).

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

BIBLIOGRAFÍA

- BYORAU U.S.A. . (s.f.). *Conformado en frío*. Obtenido de <https://www.byora.com/es/cold-forming/index.html>
- 3DEXPERIENCE Make. (s.f.). *Impresión 3D*. Obtenido de <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>
- Adeva, R. (09 de Marzo de 2023). *Todo lo que debes saber sobre la impresión 3D y sus utilidades*. Obtenido de <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>
- AENOR. (2006). *UNE-EN 10204:2006 / Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección*. Obtenido de <https://tienda.aenor.com/norma-une-en-10204-2006-n0036595>
- AENOR. (Marzo de 2010). *DIN 30910-4:2010-03*. Obtenido de <https://tienda.aenor.com/norma-din-30910-4-2010-03-123641738>
- Agencia Federal de Pequeños Negocios de Estados Unidos. (26 de Mayo de 2023). *Market research and competitive analysis*. Obtenido de <https://www.sba.gov/business-guide/plan-your-business/market-research-competitive-analysis#:~:text=Market%20research%20blends%20consumer%20behavior,a%20gleam%20in%20your%20eye>.
- All about sintering. (2022). *All about sintering*. Obtenido de <https://allaboutsintering.com/>
- Alsimet. (s.f.). *ALSIMET. ALMACENES SIDERO-METALÚRGICOS S.A*. Obtenido de <http://www.alsimet.es/>
- AMES. (2018). *FORMAS RECOMENDADAS SINTERIZADO*. Obtenido de AMES Sintered Metallic Components: <https://ames-sintering.com/es/formas-recomendadas/>
- AMES SINTERING. (2020). *PRECISIÓN DIMENSIONAL*. Obtenido de <https://ames-sintering.com/es/precision-dimENSIONAL/>
- Amestoy, M. E. (2007). *Principios de Mecanizado y Planificación de Procesos*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Asociación Española de empresas de consultoría. (Diciembre de 2018). *LA RELACIÓN CALIDAD-PRECIO EN EL SECTOR TI Y CONSULTORÍA, AL AMPARO DE LO ESTABLECIDO EN LA LEY 9/2017 DE CONTRATOS DEL SECTOR PÚBLICO*. Obtenido de AEC: <https://aeconsultoras.com/wp-content/uploads/2019/01/la-relacion-calidad-precio-en-el-sector-ti-y-consultoria.pdf>
- Bavaresco, G. (2013). *GABP ingeniería*. Obtenido de MECANIZADO: <https://gabpingeneria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/mecanizado.pdf>
- Beşteşek, E. (26 de Octubre de 2020). *POWDER METALLURGY*. Obtenido de Research Gate : https://www.researchgate.net/publication/344884511_Powder_Metallurgy_Processes_and_Making_Metal_Powder

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- BIRTLH. (s.f.). *Moldeo a la cera perdida*. Obtenido de https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DMMF/DMMF01/es_DFM_DMMF01_Contenidos/website_1331_moldeo_a_la_cera_perdida.html
- BOE . (9 de Noviembre de 2017). *Ley 9/2017, Contratos del Sector Público*. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2017/11/09/pdfs/BOE-A-2017-12902.pdf>
- Burdon, R. S. (1949). *Surface Tension and the Spreading of Liquids*. Cambridge University Press.
- C. Baudin, J. S. (1983). SINTERIZACION EN ESTADO SOLIDO. *Instituto de Cerámica y Vidrio C.S.LC*, 133-142.
- CHILEXPO. (s.f.). *AIISI 303*. Obtenido de <https://www.chilexpo.com/calidad/303-2/>
- China Savy. (s.f.). *Materials used in Metal Sintering*. Obtenido de <https://www.chinasavy.com/materials-used-in-metal-sintering>
- Classic Filters. (11 de Abril de 2014). *3.1 Certificado de materiales*. Obtenido de <https://www.classicfilters.com/es/sin-categorizar/3-1-certificado-de-materiales/?cn-reloaded=1>
- Crisanto, D. (2022). *PROCESOS DE FABRICACIÓN AJUSTES Y TOLERANCIAS*. Obtenido de GTM - Academia edu: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/16.pdf>
- DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2006). *PROCESO DE APROBACIÓN DE PARTES PARA PRODUCCIÓN (PPAP) / CUARTA EDICIÓN*. USA: AIAG / AdareCarwin.
- Derlet, P. M. (2017). Sintering theory. *Paul Scherrer Institut*, 6-12.
- Dermot Brabazon, M. O. (2019). Improving the Surface Finish and other Properties of Engineering Metal Parts. *Key Engineering Materials* .
- Diario de Navarra. (23 de Septiembre de 2021). *¿Cuáles son los perfiles mejor pagados en España de los sectores IT & TELCO e Industria?* Obtenido de <https://www.diariodenavarra.es/noticias/negocios/dn-management/formacion/2021/09/23/son-perfiles-mejor-pagados-espana-sectores-it-telco-e-industria-501685-3081.html>
- Dr. M.A. Sáenz-Nuño, D. A. (2011). Antiguas normas UNE bajo la nueva filosofía GPS: normas EN ISO 286-1/2:2010. *Interempresas METALMECÁNICA*.
- Eglin, B. S. (2003). PULVIMETALURGIA. En B. S. Eglin, *INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA* (págs. 277-288). Santiago de Chile: Industrial Quick Search.
- El-Hofy, H. A.-G. (2005). *Advanced Machining Processes*. New York: McGraw-Hill.
- Eliseo Gómez-Senent Martínez, M. Á. (2003). *Cuadernos de Ingeniería de Proyectos II del diseño de detalle a la realización*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia .
- Española, N. (30 de Septiembre de 2000). *UNE*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0023473>
- Española, N. (29 de Julio de 2002). *UNE*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0027405>
- Española, N. (24 de Junio de 2015). *UNE*. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055172>
- Española, N. (21 de Noviembre de 2018). *UNE* . Obtenido de Normalización Española: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-iso-16090-1-2018-n0060937>
- Galbarro, H. R. (2022). *Fundamentos de los Procesos de Mecanizado* . Obtenido de Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- GAMARRA, L. (20 de Marzo de 2023). *ABC*. Obtenido de Jornadas de 72 horas en China, muertes por exceso de trabajo en Japón... los países que más horas echan: <https://www.abc.es/economia/jornadas-horas-china-muertes-exceso-trabajo-japon-20230318142953-nt.html>
- Gamez, M. J. (2022). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- García, L. S. (2020). *Procesos de fabricación mecánica*. Valencia : Universitat Politècnica de València.
- German, R. M. (1985). *Liquid Phase Sintering*. Troy, USA: Springer.
- Glassdoor. (03 de Julio de 2023). *Sueldos director de proyecto sueldo*. Obtenido de https://www.glassdoor.es/Sueldos/director-de-proyecto-sueldo-SRCH_KO0,20.htm
- GlobalPetrolPrices. (Diciembre de 2022). *China precios de la electricidad*. Obtenido de https://es.globalpetrolprices.com/China/electricity_prices/
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Modern Manufacturing* . United States of America : John Wiley & Sons, INC.
- GTM GRUPO TECNOLOGÍA MECÁNICA. (2014). *Rugosidad Superficial*. Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/10.pdf>
- Gutiérrez, J. M. (2019). *Universidad de la Laguna*. Obtenido de Acabados superficiales: <https://campusvirtual.ull.es/ocw/mod/resource/view.php?id=9473>
- Heinz Tschätsch, A. R. (2009). *Applied Machining Technology*. Springer Berlin, Heidelberg.
- Hillerns, R. H. (Mayo de 2007). *Universidad de Chile*. Obtenido de Pulvimetalurgia: <https://www.cec.uchile.cl/~rhpalma/pulvimetalurgia/index.html>
- Höganäs. (2013). *Production of Sintered Components*. Höganäs AB.
- Höganäs. (2015). Design and Mechanical Properties - Supplementary Operations. En Höganäs, *Höganäs Handbook for Sintered Components* (págs. 92-125). Sweden: Höganäs AB.
- Höganäs. (2015). Dimensional Accuracy. En *Design and Mechanical Properties* (págs. 9-10). Sweden : Höganäs AB.
- Höganäs. (2015). *Höganäs Handbook for Sintered Components*. Höganäs AB.
- IFC markets. (s.f.). *Convertir Euros a Dólares*. Obtenido de <https://www.ifcmarkets.com/es/currency-converter/eur-usd>
- Ikaskuntza Birtual eta Digitalizatuem LHII. (2020). *Metrología dimensional, superficial y geométrica*. Obtenido de IKASTAROAK BIRT: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/TFM/TFM02/es_DFM_TFM02_Contentidos/website_112_tolerancias_generales.html
- IQS Directory. (2022). *Powder Metallurgy*. Obtenido de Industrial Quick Search: <https://www.iqsdirectory.com/articles/powder-metal-parts/powder-metallurgy.html#:~:text=The%20four%20basic%20steps%20to,produce%20a%20variety%20of%20products.>
- ISO. (Septiembre de 1985). *ISO 2632-1:1985*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/7619.html>
- ISO. (20 de Diciembre de 2021). *AENOR*. Obtenido de ISO 21920-3:2021: <https://tienda.aenor.com/norma-iso-21920-3-2021-072228>
- IT Digital Media Group. (1 de Julio de 2021). *La fabricación aditiva puede acelerar la digitalización en la industria manufacturera*. Obtenido de

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- <https://www.itrends.es/transformacion-digital/2021/07/la-fabricacion-aditiva-puede-acelerar-la-digitalizacion-en-la-industria-manufacturera>
- Izquierdo, C. F. (2018). Plan de Control de Proceso. *Wordpress*.
- John E. Blendell, W. R. (2021). Solid-State Sintering. *Elsevier*.
- José S. Moya, C. B. (2003). *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. Elsevier Science Ltd.
- Lauri, K. H. (31 de Enero de 2023). *Tipos de procesos de fabricación – Guía completa*. Obtenido de https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/es/tipos-de-procesos-de-fabricacion/#%C2%BFQue_es_un_proceso_de_fabricacion
- London Metal Exchange . (30 de Junio de 2023). *LME Steel HRC FOB China (Argus)*. Obtenido de <https://www.lme.com/en/Metals/Ferrous/LME-Steel-HRC-FOB-China-Argus#Trading+day+summary>
- Luke, M. (13 de Agosto de 2021). *Inspectionxpert*. Obtenido de How to Create a PPAP Dimensional Results Report: <https://www.inspectionxpert.com/blog/how-to-create-a-ppap-dimensional-report>
- María Dolores Salvador Moya, M. A. (2018). *Materiales cerámicos avanzados: procesado y aplicaciones*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València.
- MECÁNICA, U. d. (2020). *MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA*. Obtenido de Herramientas de corte: https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/727_ca.pdf
- Menad, N. (2013). *Sintering and Consolidation of Ceramics*. Obtenido de Luleå University of Technology: https://www.ltu.se/cms_fs/1.5838!/fafc1546.pdf
- Meng, S. (18 de Noviembre de 2021). *¿Trabajar 12 horas durante seis días? China lucha contra el horario 996*. Obtenido de <https://www.technologyreview.es/s/13826/trabajar-12-horas-durante-seis-dias-china-lucha-contra-el-horario-996>
- Metal supermarkets. (Marzo de 2023). *Different Types of Metal Finishing: Processes & Techniques*. Obtenido de <https://www.metalsupermarkets.com/different-types-metal-finishing/>
- MFS SINTERING. (s.f.). *PIEZAS SINTERIZADAS GUÍA TÉCNICA*. Obtenido de https://www.mfs-sintering.com/.cm4all/uproc.php/0/Docs/GUIA%20TECNICA%20SINTERIZADO%20MFS.pdf?cdp=a&_id=146a9a39ad0
- Millán, V. (31 de Mayo de 2021). *El Economista*. Obtenido de ¿Qué países tienen más y menos días de vacaciones?: El mito (o no) del agosto español: <https://www.eleconomista.es/economia/noticias/11245581/05/21/Que-paises-tienen-mas-y-menos-dias-de-vacaciones-El-mito-o-no-del-agosto-espanol.html>
- Morales, M. Á. (2020). Manufactura aditiva . *Universidad Politécnica de Querétaro*, 1-9.
- Mustafa, D. H. (2021). *Sintering Processes*. Obtenido de The University of Lahore: https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2019_10_20!05_08_56_PM.pdf
- NACIONES UNIDAS. (2016). La extracción mundial de materiales se triplicó en cuatro décadas y agudiza el cambio climático y la contaminación atmosférica. *NACIONES UNIDAS*, <https://www.cepal.org/es/comunicados/la-extraccion-mundial-materiales-se-triplico-cuatro-decadas-agudiza-cambio-climatico->

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- SPC GROUP. (2013). *PLAN DE CONTROL*. Obtenido de <https://spcgroup.com.mx/plan-de-control/>
- Tahar Laoui, J.-P. K. (2002). Direct Selective Laser Sintering of Hard Metal Powders: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 351-353.
- Tecnocorte. (12 de Abril de 2021). *Velocidad de corte y de avance en fresadora CNC*. Obtenido de <https://tecnocorte.com/blog/fresadora-cnc-calcular-velocidad-de-corte-y-de-avance/#:~:text=Lo%20habitual%20en%20m%C3%A1quinas%20CNC,entre%206.000%20y%2024.000%20RPM.>
- Tecnología para la industria. (14 de Junio de 2023). *Ejemplo de cálculo y aplicación de la OEE en el sector industrial*. Obtenido de <https://tecnologiaparalaindustria.com/ejemplo-de-calculo-y-aplicacion-de-la-oe-en-el-sector-industrial/>
- Tecnun. (2019). *SINTERIZADO*. Obtenido de PDF slide: <https://pdfslide.tips/documents/tema-7-sinterizado-home-tecnun-universidad-de-efecto-frenkel-26-sinterizacion.html?page=1>
- THE FEDERAL GROUP USA. (21 de Junio de 2017). *Cold forging overview and reference guide*. Obtenido de <https://www.tfgusa.com/cold-forming-overview-reference-guide/>
- Thomas Child, K. M. (2000). *Metal Machining, Theory and Applications*. Londres: Arnold.
- Tovar, E. (16 de Marzo de 2023). Qué es y para qué sirve el rectificado. *Modern Machine Shop México*.
- TWI. (2022). *WHAT IS SINTERING? (A DEFINITIVE GUIDE)*. Obtenido de <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-sintering#:~:text=Sintering%20occurs%20naturally%20in%20mineral,such%20as%20molybdenum%20and%20tungsten.>
- Ugur M. Dilberoglu, B. G. (2017). The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. *ELSEVIER*, 1-10.
- Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. (2016). *Introducción al sistema ISO GPS. Tolerancias dimensionales*. Obtenido de file:///C:/Users/usuario/Desktop/TFG/TEORIA/MD_GPS_IMG_PRO.pdf
- Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea. (2018). *Metrología del acabado superficial*. Obtenido de https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/745_ca.pdf
- Universidad del País Vasco. (2021). *FUNDICIÓN y SINTERIZADO*. Obtenido de – Euskal Herriko Unibertsitatea: https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/993_ca.pdf
- Universidad Malacitana. (2020/2021). *PROCESOS INDUSTRIALES - PULVIMETALURGIA*. Obtenido de Studocu: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-de-malaga/ingenieria-de-fabricacion/tema-07-pi-pulvimetalurgia/9833734>
- Universidad Politécnica de Cartagena. (2013). *PLANOS*. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/11572/mod_resource/content/1/Tema%2010.%20Planos.pdf
- Universidad Politécnica de Cataluña. (2012). *Estudio de la rugosidad superficial mediante fresado*. Obtenido de

Pedro Guillermo Carbonell Núñez

- <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/18775/anexos.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Universidad Politécnica de Zacatecas. (4 de Junio de 2018). *PROCESO DE ESTAMPADO*. Obtenido de <https://estampado394457290.wordpress.com/#:~:text=El%20estampado%20o%20estampaci%C3%B3n%20es,se%20utilizan%20prensas%20y%20martinetes>.
- Victor. (25 de Noviembre de 2021). *MECANIZADO CNC. EXPLICACIÓN DEL TÉRMINO Y SUS FASES*. Obtenido de Programacion CNC: https://www.programacioncnc.es/mecanizado-cnc/#El_proceso_de_un_mecanizado_CNC
- Villar, C. M. (2013). Pulvimetalurgia. En Busca de Nuevos Materiales. *Metal Actual*, 4-5.
- Walter. (s.f.). *Calculadora Walter*. Obtenido de <https://www.walter-tools.com/es-es/Xe-Converter>. (s.f.). Obtenido de <https://www.xe.com/es/currencyconverter/convert/?Amount=35&From=CN¥&To=USD>
- XINLONG MACHINERY & EQUIPMENT CO.,LTD. (28 de Enero de 2021). *Proceso de forja en caliente y sus aplicaciones*. Obtenido de <https://www.chinacastingforging.com/info/hot-forging-process-and-its-applications-54278374.html#:~:text=La%20forja%20en%20caliente%20es,nuevos%20granos%20en%20el%20metal>.
- Z. A. MUNIR, U. A.-T. (2006). The effect of electric field and pressure on the synthesis and consolidation of materials: A review of the spark plasma sintering method. *Journal of Materials Science*, 763-767.
- Zavadiuk S., L. P. (2020). Optimization of the Sintering Parameters for Materials Manufactured by Powder Injection Molding. *Springer*, 22–28.

Pedro Guillermo Carbonell Núñez
