



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño, fabricación y análisis dimensional de un útil de control producido mediante fabricación
aditiva

Autor: Andrés Ortiz Hernando

Director: Manuel Dominguez Somonte

Co-Director: Mariano Jiménez Díaz

Madrid

Agosto de 2020

Agradecimientos

Quiero agradecer el trabajo a todas aquellas personas que me han apoyado y motivado a lo largo de la planificación, ejecución y redacción del trabajo, incluidos familiares, compañeros y tutores.

Después de un intenso período de trabajo, escribo este apartado de agradecimientos para finalizar mi trabajo de fin de grado. Ha sido un período de aprendizaje intenso, no solo en el campo científico, también a nivel personal.

Este trabajo de fin de grado es el esfuerzo y sacrificio de muchas personas que a nivel personal y profesional se han mantenido a mi lado siempre

Mi gratitud para todas aquellas personas sin cuya ayuda, este proyecto no habría sido posible.

No es mi deseo, olvidar nombres de profesores, tutores y amigos con quienes he participado y colaborado en este proyecto.

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA.

Autor: Ortiz Hernando, Andrés.

Director: Domínguez Somonte, Manuel.

Co-director: Jiménez Díaz, Mariano.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto realiza el proceso de diseño de un útil customizado para su posterior producción mediante fabricación aditiva, utilizando la fotogrametría para la obtención de la geometría de referencia.

Palabras clave: Fabricación aditiva, FDM, fotogrametría, Ingeniería inversa.

1. Introducción

Actualmente, los procesos de manufactura tradicionales se muestran muy poco flexibles a las demandas del mercado debido a la fabricación de utillajes y moldes requeridos para la obtención de una pieza, llegando a tardar semanas en su elaboración [1].

Durante las últimas décadas, las plantas de producción están tendiendo a la implementación de la fabricación aditiva, con el principal objetivo de reducir costes y mejorar la eficiencia.

La rápida adaptación al mercado y el bajo coste requerido en la fabricación de bajos lotes, hacen de la fabricación aditiva una alternativa viable a los procesos de fabricación de utillajes [2].

Siendo muy variadas las tecnologías de fabricación aditiva disponibles, todas tienen en común la necesidad de un modelado 3D [3], ya sea a través de un diseño CAD o digitalizado mediante ingeniería inversa. Esta última es actualmente una parte esencial del desarrollo del producto [4], presentándose como solución en muchos casos en los que se han de desarrollar productos a partir de los que no se tiene la suficiente información.

2. Definición del proyecto

El objetivo de este proyecto es el diseño de un útil customizado de bajo coste aplicando la ingeniería inversa para su posterior producción mediante la fabricación aditiva.

3. Descripción del proceso.

El desarrollo del proyecto realizado cubre el proceso entero del desarrollo de un modelado CAD para la posterior fabricación del útil. Debido a la importancia de dichos útiles y su gran impacto en el sector automovilístico, se decidió el diseño de un útil relacionado con dicho sector.

La guía propuesta consiste en un útil simple utilizado para la correcta y rápida colocación del logo en la puerta del maletero de un automóvil, Ilustración 1.



Ilustración 1: Automóvil utilizado para el desarrollo del producto

Para la realización del proyecto que se presenta, no se dispone de los datos geométricos necesarios del vehículo sobre el que se trabajará, es por este motivo, que se recurre a la ingeniería inversa.

La tecnología utilizada durante el proceso, se ha determinado por los medios disponibles del autor, siendo únicamente la fotogrametría. Debido a las limitaciones de esta tecnología con las superficies reflectantes se debió cubrir el automóvil y pintar la zona necesaria mediante un espray blanco mate para eliminar la reflectividad sin obtener una geometría muy diferente a la requerida. Una vez preparado el automóvil, se procedió a la toma de fotografías realizadas en el exterior debido a las dimensiones del vehículo.

Tras haber realizado las fotografías estas fueron exportadas a, Autodesk ReCap Photo, un software de fotogrametría del que se obtendrá una malla y será seleccionada la sección precisa para realizar el modelado. Una vez obtenida, el programa con la que se trabajará realizando un modelo paramétrico en el software de CAD, SolidWorks, junto con la ayuda de un complemento del programa dedicado a la ingeniería inversa, Geomagic for Solidworks. Dentro del programa se segmentó y se ajustó a la superficie de apoyo más grande para posteriormente mediante un proceso iterativo obtener la curvatura idónea de los redondeos que harán de topes.

Finalmente, se preparará para su fabricación en 3D, en concreto para la tecnología de deposición de hilo fundido, FDM comentando los parámetros más importantes a tener en cuenta.

4. Resultados

El objetivo principal de la fabricación de un útil de control no se llegó a lograr debido a la situación actual de pandemia por el COVID-19 que está ocurriendo actualmente en el mundo. Sin embargo, otros resultados sí que fueron alcanzados durante el proyecto. El análisis de desviación en Solidworks nos permite ver la desviación del modelo parametrizado respecto a la malla generada. Estando en un intervalo de desviación adecuado, mayoritariamente menor de 0,3mm, se ha supuesto válido el modelo a modo de ensayo, siendo susceptible de mejora debido a las secciones de mayor desviación.

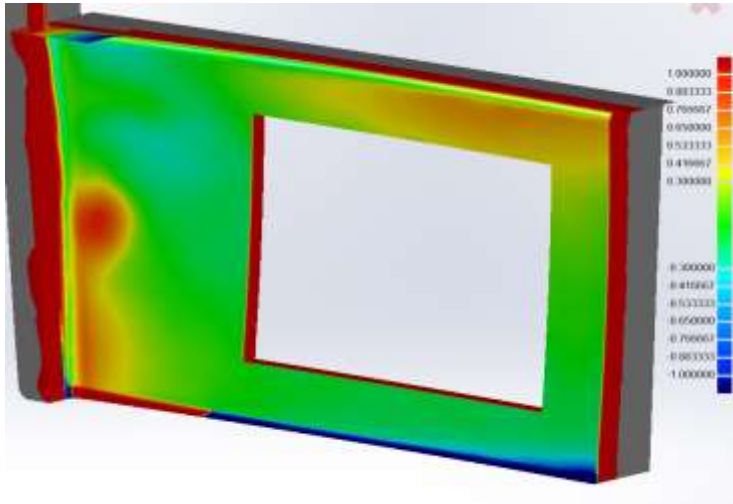


Ilustración 2: Resultado del análisis de desviación.

5. Conclusiones

Actualmente, la falta de recursos y de información necesaria no impedita el desarrollo de un producto. Las tecnologías como la fabricación aditiva y las técnicas de digitalización, incluidas las de bajo costo, como la que se ha utilizado durante el proyecto, permiten el desarrollo de productos en reducidos periodos de tiempos y a un precio asequible revolucionando por consiguiente los procesos de manufactura.

6. Bibliografía

- [1] N. De la Torre, M. M. Espinosa, y M. Domínguez, «Rapid Prototyping in Humanitarian Aid To Manufacture Last Mile Vehicles Spare Parts: An Implementation Plan: Rapid Prototyping in Humanitarian Aid», *Hum. Factors Ergon. Manuf. Serv. Ind.*, vol. 26, n.o 5, pp. 533-540, sep. 2016, doi: 10.1002/hfm.20672.
- [2] T. J. Snyder et al., «3D Systems' Technology Overview and New Applications in Manufacturing, Engineering, Science, and Education», *3D Print. Addit. Manuf.*, vol. 1, n.o 3, pp. 169-176, sep. 2014, doi: 10.1089/3dp.2014.1502.
- [3] M. Jiménez, L. Romero, I. A. Domínguez, M. del M. Espinosa, y M. Domínguez, «Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects», *Complexity*, vol. 2019, pp. 1-30, feb. 2019, doi: 10.1155/2019/96569

- [4] M. Sokovic y J. Kopac, «RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development», J. Mater. Process. Technol., vol. 175, n.o 1-3, pp. 398-403, jun. 2006, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.04.047

DESIGN, MANUFACTURE AND DIMENSIONAL ANALYSIS OF A FIXTURE PRODUCED THROUGH ADDITIVE MANUFACTURING

Author: Ortiz Hernando, Andrés.

Supervisor: Domínguez Somonte, Manuel.

Codirector: Jiménez Díaz, Mariano.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

The project carries out the design process of a customize fixture for its subsequent production through additive manufacturing by using photogrammetry to obtain the reference geometry.

KEYWORDS: Additive manufacturing, FDM, photogrammetry, reverse engineering.

1. Introduction

Currently, traditional manufacturing processes are not very flexible to market demands due to the manufacture of jigs, fixtures and molds required to obtain a part, taking weeks to manufacture [1].

During the last decades, manufacturing processes are tending towards the implementation of additive manufacturing, with the main objective of reducing costs and improving efficiency.

The rapid adaptation to the market and the low cost required in the manufacture of low batches, make additive manufacturing a viable alternative to tool manufacturing processes [2].

With a wide variety of additive manufacturing technologies available, they all have in common the need for 3D modeling [3], either through a CAD design or digitized by reverse engineering. The latter, is nowadays an essential part of product development [4], presenting itself as a solution in many cases in which products have to be developed from which there is not enough information.

2. Definition of the project

The objective of this project is the design of a low-cost customized fixture, applying reverse engineering for its subsequent production through additive manufacturing.

3. Description of the process

The development of the project carried out covers the entire process of developing a CAD modeling for the subsequent manufacture of the tool. As the importance of these tools and their outstanding impact on the automotive sector, it was decided to design a tool related to this sector.

The proposed guide consists of a simple tool used for the accurate and quick placement of the logo on the trunk door of a car.



Illustration 3: Automobile used for product development

To carry out the project that is presented, the necessary geometric data of the vehicle on which it will be worked is not available, it is for this reason, that reverse engineering is used. The technology used during the process has been determined by the author's available means, being only photogrammetry.

Due to the limitations of this technology with reflective surfaces, it was necessary to cover the car and paint the area to be treated using a matte white spray to eliminate reflectivity without obtaining a geometry very different from that required. Once the car was prepared, photographs were taken, taken outside due to the size of the vehicle.

After taking the photographs, they were exported to Autodesk ReCap Photo, a photogrammetry software from which a mesh will be obtained and the precise section will be selected to perform the modeling.

Once obtained, the program that will be used to make a parametric model in CAD software, SolidWorks, along with the help of a program add-on dedicated to reverse engineering, Geomagic for Solidworks. Within the program, it was segmented and adjusted to the largest support surface to later, through an iterative process, obtain the ideal curvature of the rounds that will serve as stops.

Finally, it will be prepared for its 3D manufacturing, specifically for fused wire deposition technology, FDM commenting on the most important parameters to take into account.

4. Results

The main objective of the manufacture the fixture was not achieved due to the current pandemic situation due to COVID-19 that is currently occurring in the world. However, other results were achieved during the project. Deviation analysis in Solidworks allows us to see the deviation of the parameterized model with respect to the generated mesh. Being in a suitable deviation interval, mostly less than 0.3mm, the model has been assumed valid as a test, being susceptible to improvement due to the sections with greater deviation.

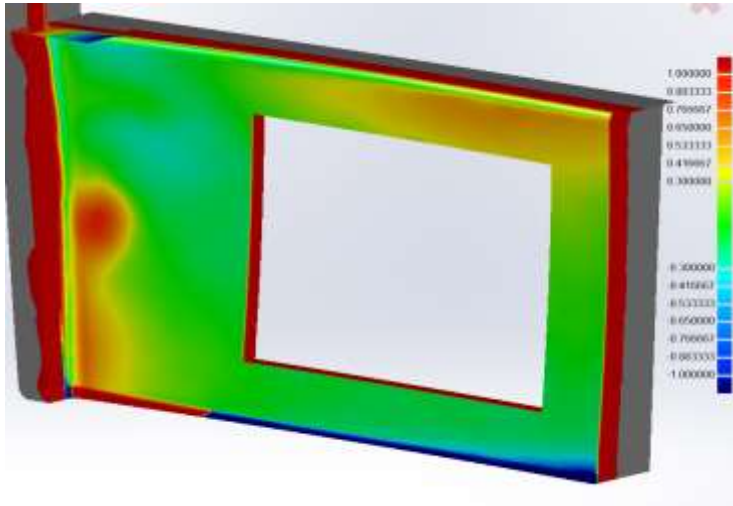


Ilustración 4: Deviation analysis result

5. Conclusions

At present, the lack of resources and necessary information does not impede the development of a product. Technologies such as additive manufacturing and digitization techniques, including low-cost ones, like the one used during the project, allow the development of products in short periods of time and at an affordable price, thus revolutionizing the manufacturing processes.

6. Bibliography

- [1] N. De la Torre, M. M. Espinosa, y M. Domínguez, «Rapid Prototyping in Humanitarian Aid To Manufacture Last Mile Vehicles Spare Parts: An Implementation Plan: Rapid Prototyping in Humanitarian Aid», *Hum. Factors Ergon. Manuf. Serv. Ind.*, vol. 26, n.o 5, pp. 533-540, sep. 2016, doi: 10.1002/hfm.20672.
- [2] T. J. Snyder et al., «3D Systems' Technology Overview and New Applications in Manufacturing, Engineering, Science, and Education», *3D Print. Addit. Manuf.*, vol. 1, n.o 3, pp. 169-176, sep. 2014, doi: 10.1089/3dp.2014.1502.
- [3] M. Jiménez, L. Romero, I. A. Domínguez, M. del M. Espinosa, y M. Domínguez, «Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects», *Complexity*, vol. 2019, pp. 1-30, feb. 2019, doi: 10.1155/2019/96569
- [4] M. Sokovic y J. Kopac, «RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development», *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 175, n.o 1-3, pp. 398-403, jun. 2006, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.04.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Motivación	16
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías	17
2.1 Autodesk recap photo	17
2.2 Solidworks.....	17
2.3 Geomagic for Solidworks	17
2.4 Ultimaker cura 4.6	17
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	18
3.1. Fabricación aditiva (AM).....	18
3.1.1. Historia	20
3.1.2. Tecnologías fabricación aditiva	22
3.1.2.1. Deposición de material fundido	24
3.1.2.2. Sinterizado láser selectivo	26
3.1.2.3. Estereolitografía	28
3.1.2.4. Multi Jet Fusion	29
3.1.2.5. Fusión selectiva por láser	31
3.1.3. Impacto medioambiental y social	33
3.1.4. Ventajas y limitaciones.....	34
3.1.5. Aplicaciones.....	37
3.2. Ingeniería inversa	42
3.2.1. Digitalización.....	43
3.2.2. Tecnologías de digitalización.....	43
3.2.3. Fotogrametría.....	44
3.2.4. Reconstrucción de la geometría.....	46
Capítulo 4. Definición del Trabajo	47

10

4.1. Justificación	47
4.2. Objetivos.....	47
4.3. Metodología	47
Capítulo 5. Desarrollo	49
5.1. Elección de tecnología y material.....	49
5.1.1. Diseño para fabricación aditiva, FDM	51
5.2. Digitalización geometría de referencia	53
5.2.1. Configuración del proceso de toma de datos	53
5.2.1.1. Cámara.....	53
5.2.1.2. Entorno	54
5.2.1.3. Realización de las fotografías	55
5.2.1.4. Obtención y exportación del modelo	55
5.3. Modelado en CAD.....	57
5.3.1. Generación del modelo	57
5.3.2. Exportación del modelo	65
5.4. Preparación del modelo para la fabricación.....	66
5.4.1. Presupuesto.....	67
Capítulo 6. Análisis de resultados.....	69
Capítulo 7. Conclusiones y trabajos futuros.....	71
Bibliografía / abreviaturas	72
Bibliografía.....	72
Índice de abreviaturas	79
ANEXOS	81

Índice de figuras

Ilustración 1: Automóvil utilizado para el desarrollo del producto.....	4
Ilustración 2: Resultado del análisis de desviación.	5
Illustration 3: Automobile used for product development.....	8
Ilustración 4: Deviation analysis result	9
Ilustración 5: Crecimiento del sector.....	21
Ilustración 6: Tecnologías de más utilizadas en 2020.	24
Ilustración 7: Esquema proceso FDM	25
Ilustración 8: Consumo de energía utilizada durante la impresión	25
Ilustración 9: Ejemplo FDM.....	26
Ilustración 10: Útil fabricado mediante FDM	26
Ilustración 11: End of arm tooling mediante FDM	26
Ilustración 12: Esquema proceso SLS.	27
Ilustración 13: Pieza funcional. SLS	28
Ilustración 14: Férula fabricada mediante SLS	28
Ilustración 15: Limpieza de polvo no sinterizado.	28
Ilustración 16: Esquema proceso SL.	29
Ilustración 17: Deposición de resina líquida en cubeta.	29
Ilustración 18: Fabricación pieza mediante SL.	29
Ilustración 19: Útil fabricado mediante SL.	29
Ilustración 20 Esquema proceso Multi-jet Fusion.....	30
Ilustración 21: Pieza fabricada mediante MJP con diversos colores.....	31
Ilustración 22: Pieza fabricada mediante MJP.	31
Ilustración 23: Pieza fabricada mediante MJP a partir de diversos materiales.	31
Ilustración 24: Esquema de proceso SLM.....	32
Ilustración 25: Proceso de fusión durante proceso SLM.....	32

Ilustración 26: Eliminación de polvo no utilizado.....	32
Ilustración 27: Piezas producidas mediante SLM	32
Ilustración 28: Incidencia en diversos sectores de la fabricación aditiva.....	38
Ilustración 29: Boquillas del motor a reacción GE.....	39
Ilustración 30: Impresión multi-material de un componente electrónico.....	40
Ilustración 31: Fotogrametría	45
Ilustración 32: Proceso realizado.....	48
Ilustración 33: Ciclo de vida PLA	50
Ilustración 34: "Warping".....	51
Ilustración 35: Cámara utilizada durante el proceso	54
Ilustración 36: Preparación del entorno.....	55
Ilustración 37: Recreación de puntos donde se realizaron las fotografías.....	55
Ilustración 38: Digitalización 3D geometría referencia	56
Ilustración 39: Distancia real introducida.....	56
Ilustración 40: Reparación de malla	58
Ilustración 41: Seccionamiento de la superficie	58
Ilustración 42: Alzado	59
Ilustración 43: Generación de croquis de referencia vertical	59
Ilustración 44: Croquis vertical basado en el generado por Geomagic for Solidworks	60
Ilustración 45: Generación de croquis de referencia horizontal	60
Ilustración 46: Croquis horizontal basado en el generado por Geomagic for Solidworks...	60
Ilustración 47: Pieza seccionada con plano a 55mm de la base.	62
Ilustración 48: Extrusión e pestaña.....	62
Ilustración 49: Redondeo asimétrico.	62
Ilustración 50: Redondeo simétrico.....	62
Ilustración 51: Primera iteración de la pestaña.....	63
Ilustración 52: Última iteración de la pestaña	63
Ilustración 53: Distancia separación para prevención de adherido indeseable.	64

Ilustración 54: Análisis de desviación final.....	64
Ilustración 55: Hendidura en el modelo importado	65
Ilustración 56: Protuberancia en el modelo importado.....	65
Ilustración 57: Posicionamiento de la pieza en la impresora.....	67
Ilustración 58: Resultado digitalización	69
Ilustración 59: Posicionamiento del útil.	69
Ilustración 60: Resultado de análisis de desviación	70

Índice de tablas

Tabla 1: Aplicaciones de la fabricación aditiva en orden cronológico	19
Tabla 2: Clasificación de tecnologías acorde a ASTM	23
Tabla 3: Ejemplos de fabricación por FDM	26
Tabla 4: Ejemplos de fabricación SLS	28
Tabla 5: Ejemplos de proceso SL	29
Tabla 6: Ejemplos de proceso MJP	31
Tabla 7: Ejemplos de proceso SLM	32
Tabla 8: Tecnologías de digitalización.....	43
Tabla 9: Ventajas y desventajas de la tecnología FDM.....	50
Tabla 10: Ejemplos de la iteración	61
Tabla 11: Datos Amortización Máquina	68
Tabla 12: Datos Coste de material.....	68
Tabla 13: Costes de la fabricación.....	68

CAPÍTULO 1. MOTIVACIÓN

La fabricación aditiva es una de las tecnologías con mayor crecimiento en la actualidad y con mucho potencial de desarrollo, tanto en la parte industrial como en la de investigación. Es por esta razón que el proyecto en sí capta el interés para el conocimiento y profundización de esta tecnología.

Esta técnica permite al fabricante una gran cantidad de ventajas como la obtención de piezas con alto grado de complejidad geométrica, alto grado de personalización (piezas únicas), reducir su tiempo de manufacturación y conseguir reducir el nivel energético utilizado para la fabricación de una pieza. Por tanto, se considera que es un gran paso para reducir el impacto medioambiental en el sector de la manufactura, así como también el reducir costes y conseguir una economía más robusta.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

2.1 AUTODESK RECAP PHOTO

ReCap Photo es un producto de Autodesk para la captura de realidad 3D mediante fotogrametría, tanto terrestre como aérea. Esta aplicación está conectada a la nube y genera mallas texturizadas, nubes de puntos y ortofotos ubicadas geográficamente.

Este programa procesa las fotografías tomadas para crear representaciones en 3D. La representación se realiza a través de una malla la cual puede ser editada, permitiendo al usuario limpiar el ruido, arreglar los posibles errores, reducir la cantidad de triángulos y exportarla en formatos: obj, obj(quads), fbx, stl, ply y pts.

2.2 Solidworks

Solidworks es un software de Diseño Asistido por Computadora 3D (CAD) perteneciente a Dassault Systems. Se utiliza para la modelización de piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D.

Este software ofrece una extensa lista de soluciones para cubrir todos los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de: crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

2.3 Geomagic for Solidworks

Es un complemento para Solidworks, perteneciente a 3D Systems, para la ingeniería inversa. El software trabaja escaneando los objetos directamente o importando modelos previamente escaneados. Ofrece la posibilidad de crear croquis, superficies y sólidos editables dentro de Solidworks.

2.4 Ultimaker cura 4.6

Ultimaker Cura 4.6 es un “slicer” o programa de corte 3D gratuito empleado para la fabricación 3D. En él se introducen los parámetros deseados para la impresión a realizar y el programa genera el código-G, que es el lenguaje de control numérico.

CAPÍTULO 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1. FABRICACIÓN ADITIVA (AM)

La AM engloba un gran número de tecnologías muy variadas desarrolladas desde 1980. Todas estas tecnologías a pesar de tener características muy diferentes se basan en el mismo principio, la fabricación de la pieza a través de una sucesión de capas. La AM es definida por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM: American Society for Testing and Materials:) como: “*Proceso de unión de materiales, comúnmente capa a capa, para hacer objetos desde modelados 3D, en oposición a las metodologías de fabricación sustractivas*”.

Fue concebida con el propósito de ser una herramienta de prototipado rápido (RP), como inicialmente fue llamada, que agilizaría el proceso de fabricación de maquetas y prototipos que al mismo tiempo que reducían su coste. Estas primeras piezas tenían un propósito puramente estético y de validación geométrica, ya que carecían de resistencia para soportar grandes cargas.

Sin embargo, con el paso del tiempo, la evolución tanto de las máquinas de fabricación como de los materiales empleados llegó a cubrir una larga variedad de posibilidades y han hecho posible que este proceso sea adoptado como un método eficiente en la producción tanto de prototipos como de piezas finales. Esta evolución, sin lugar a duda, se ha dado de manera exponencial ya que a pesar de que el prototipado rápido surgió en 1983, la mayor expansión de este tipo de fabricación se produjo al inicio de la presente década con la denominada nueva fiebre del oro tecnológica (“Gold Rush”) [1].

Año	Aplicación
1988-1994	Rapid Prototyping
1994	Rapid Casting

1995	Rapid Tooling
2001	AM en la automoción
2004	Aeroespacial (polímeros)
2005	Médicas (polímeros)
2009	Médicas (metales)
2011	Aeroespacial (metales)
2013-2016	Nanotecnología
2013-2032	Arquitectura Implantes biomédicos Bio-manufacturación in situ Fabricación de órganos

Tabla 1: Aplicaciones de la fabricación aditiva en orden cronológico [2]

Actualmente, la AM es uno de los pilares de la nueva revolución industrial que se está dando en la sociedad a causa de la digitalización, la Cuarta Revolución Industrial [3]. Durante el proceso de desarrollo del producto para la fabricación este se debe modelar en un software de CAD. La digitalización del modelo es una fase necesaria para la fabricación del producto. Esta fase produce una ventaja significativa para los ingenieros y diseñadores agilizando procesos de diseño y comunicación entre distintas personas de un grupo de trabajo.

Mediante la fabricación aditiva se potencia una fabricación mucho más sostenible. La sostenibilidad consta de 3 categorías: (1) Económica, (2) Social, (3) Ecológica.

1. Económica. La reducción de plazos en el desarrollo de los productos proporciona grandes ventajas a nivel de coste.
2. Social. La reducción en costes puede motivar la entrada al mercado a pequeñas start-ups ya que la inversión inicial es de menor tamaño.
3. Ecológica. Piezas producidas mediante fabricación aditiva reducen el impacto medioambiental en la fase de uso de componentes donde son adaptadas como, por ejemplo, en los automóviles.

Grandes empresas se han ido adaptando y han entrado en el mundo de la fabricación aditiva como es el caso de Hewlett-Packard, Ricoh, Adobe o Microsoft el cual ha desarrollado un nuevo formato de representación para la fabricación aditiva que es el 3MF, siendo este una alternativa a los formatos STL y AMF.

La fabricación aditiva actualmente se presenta como una alternativa a los procesos de fabricación sustractivos (mecanizado y estampado) y de inyección de plástico en la producción de bajos lotes de producción. Estos son aptos y muy eficientes para la producción en masa, capaces de reproducir grandes lotes de piezas idénticas a bajo coste. Estos procesos requieren una gran cantidad de inversión de tiempo y dinero inicial, ya que requieren de la fabricación de utillaje y moldes específicos para cada producto previamente a la fase de producción de este. Sin embargo, estos procesos son muy poco flexibles debido al requerimiento necesario de dichos moldes y del utillaje provocando la incapacidad de realizar ligeras modificaciones en la geometría de la pieza, además de llevar a una inviabilidad económica para la producción de pocas unidades [4].

3.1.1. HISTORIA

Actualmente, el término de fabricación aditiva es el más global en el que se incluyen las distintas tecnologías. No obstante, existen numerosos términos empleados para referirse a estas dependiendo de su utilización. Estos términos han ido evolucionando según se ha ido desarrollando la AM y ha ido abarcando distintos campos la fabricación aditiva y son los siguientes: “Rapid Prototyping” (RP), “Desktop Manufacturing”, “Rapid Casting” y “Rapid Tooling”.

La historia de la fabricación se remonta a la década de los 80. El primer gran paso hacia la fabricación aditiva se dio el 9 de marzo de 1983, cuando Charles W. Hull utilizó la primera máquina de AM, siendo esta de Estereolitografía (SL), una taza de Té [5]. A partir de ahí se ha sucedido una evolución asombrosa. Los inventos en el sector de la fabricación aditiva son muy extensos, a continuación, se exponen los más importantes que motivaron el desarrollo la AM de acuerdo con [5] ordenados cronológicamente el orden de concesión de patentes:

- Estereolitografía; Charles W.Hull (3Dsystems) – 12/02/1986
- Sinterizado selectivo: Carl R. Deckard (Universidas de Texas) – 21/04/1988
- Deposición de material: Scott S. Crump (Stratasys Inc.) - 01/05/1991
- Jet prototyping (inyección): Emmanuel M. Sachs, John S. Haggery y Paul A. Williams (Massachusetts Institution Technology) – 09/06/1991.
- Fabricación laminada (corte): Michael Feygin, Sung Sik Pak (Helisys Inc)- 18/04/1996

La gran expansión de fabricación aditiva se debe a los avances tecnológicos sucedidos en las últimas décadas nuevas máquinas de fabricación y materiales empleados, evolución programas de CAD y de software de ingeniería inversa. Asimismo, en gran parte a la liberación de patentes a principios de los 2000 que ha provocado una mayor democratización de la tecnología y por tanto una bajada de los precios de estas tecnologías haciéndolas mucho más viables lo que ha provocado un aumento exponencial de su uso desde entonces, Ilustración 5 Ilustración 5 [6].

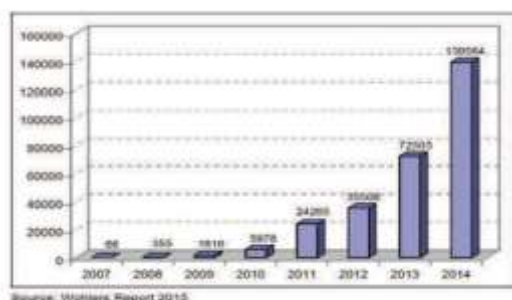


Ilustración 5: Crecimiento del sector.

(Tomado de [6])

El proyecto RepRap, desarrollado por Adrian Bowyer en 2005 [7], se comercializó al cabo de la expiración de patentes en el ámbito de la impresión mediante FDM. Este proyecto ha desarrollado una impresora auto-replicante de código abierto, permitiendo la entrada a la fabricación aditiva del público general al disponer de impresoras con un coste de menos de 500 € [9].

La tecnología actualmente abarca un mercado extensamente amplio, siendo utilizada por, aficionados hasta empresas punteras en el avance tecnológico como por ejemplo, Made In Space Inc. [10]

3.1.2. TECNOLOGÍAS FABRICACIÓN ADITIVA

Desde el lanzamiento de la SLA, esta tecnología se ha ido desarrollando a lo largos de los años para satisfacer distintas necesidades. Las tecnologías de AM pueden ser clasificadas por el tipo de material utilizado, la técnica de deposición o por si el material es fundido o solidificado [9]. El comité de ASTM F42 categoriza los procesos de fabricación aditiva en siete áreas [11]:

Proceso	Descripción	Ejemplos	Energía utilizada	Velocidad	Precisión	Materiales
Material Jetting	Gotas de material son depositadas sobre una resina y curadas mediante luz Ultravioleta.	Polyjet, Multijet.	Muy baja	Alta	Muy alta	Polímeros, cerámicos.
Inyección de aglutinante	Un líquido adhesivo es depositado para la unión de materiales en polvo. Un proceso de curado es requerido posteriormente	Binder Jetting	Baja	Media	Alta	Polimeros, metales.

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

ESTADO DEL ARTE

Extrusión de Material	El material es extruido a través de una boquilla	FDM	Muy baja	Baja	Baja	Polímeros, Composites.
Polimerización en cubeta	Fotopolímero en estado líquido es curado mediante luz ultravioleta.	SL, DLP	Media	Media	Alta	Fotopolímeros.
Fusión por lecho de polvo	Fundición de material en polvo situado en una cama mediante energía térmica.	SLS, EBM, DMLS	Alta	Alta	Media	Metales, polímeros.
Deposición de energía directa	Fundición mediante energía térmica del material según este es depositado	Laser cladding, LMD	Muy alta	Alta	Baja	Metales
Laminación de hojas	Fabricación mediante la unión de láminas para la formación de un objeto.	Sheet Forming, LOM	Alta	Alta	Alta	Metales, papel

Tabla 2: Clasificación de tecnologías acorde a ASTM

Hoy en día, acorde a una encuesta realizada por statista [12], las tecnologías más utilizadas en 2020, Ilustración 6, son: (1) Deposición de material fundido, (2) Sinterizado selectivo por láser, (3) Estereolitografía, (4) MultijetFusion, (5) Fusión selectiva por láser, (6) Proyección por máscara (DLP: Direct Light Processing), (7) Polyjet, (8) Binder Jetting, (9) Fusión por haz de electrones.

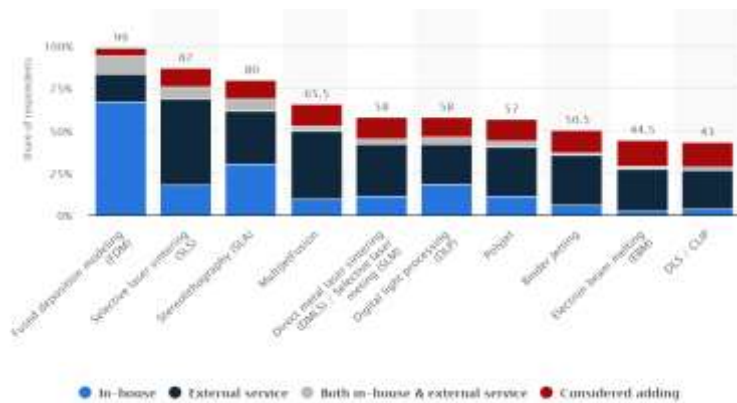


Ilustración 6: Tecnologías de más utilizadas en 2020.

(Tomado de [12])

3.1.2.1. Deposición de material fundido

- Principio empleado en la deposición del material: Extrusión.
- Estado base del material: Sólido (hilo).
- Materiales: Plásticos, composites y cera.

Para la impresión, se debe esperar al calentamiento del extrusor hasta la temperatura necesaria para la fusión del material. Posteriormente se extrae el material semilíquido (fundidos en el extrusor) sobre una plataforma como se ilustra en la Ilustración 7, formando la primera capa en el plano XY siendo solidificada inmediatamente después de su deposición [13]. Para la fabricación completa del modelo se procede a la superposición de las capas en el eje Z debido al desplazamiento en esta dirección de la plataforma (desplazamiento marcado por la altura de capa definida [14], siendo el mínimo 0,13 mm). Puesto que no se puede extruir una capa sin material donde depositarlo en ocasiones es necesario un material de soporte. Este es necesario si el ángulo formado con el eje vertical del material es superior a los 45°, ángulos menores no requieren de material de soporte. Estas piezas requieren por tanto de un post-procesado donde se eliminan dicho material, mediante agua soluble o rompiendo dicho material. En el post-procesado también se puede mejorar la calidad superficial o realizar agujeros para introducir insertos.

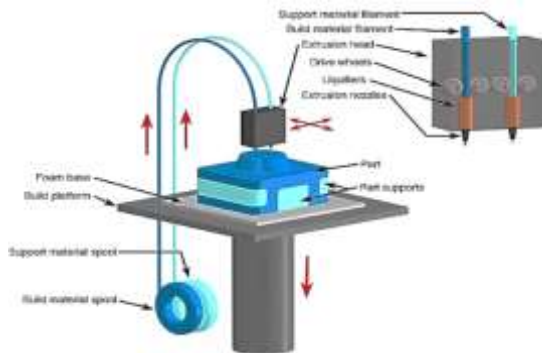


Ilustración 7: Esquema proceso FDM

(Tomado de [13])

Para realizar la impresión la energía utilizada se divide en 4 partes: (1) encendido de la máquina, (2) tiempo de calentamiento del extrusor, (3) tiempo de espera en la que se espera a la introducción de los datos, (4) fabricación. La energía requerida para el encendido y para el calentamiento solo se realizan en la fabricación de la primera pieza, Ilustración 8, por ello es recomendable aprovechar una vez alcanzada la temperatura necesaria para realizar las impresiones necesarias [15].

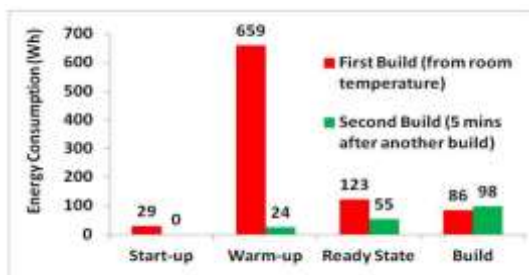


Ilustración 8: Consumo de energía utilizada durante la impresión

(Tomado de [15]).

Este es uno de los procesos más utilizados debido a que sus ventajas la hacen ser una tecnología accesible, como es el bajo coste de la impresora y del mantenimiento de los materiales, su facilidad de operación, su baja temperatura de operación y el tamaño de la máquina, entre otras [16].

El material empleado para la fabricación se presenta en bobinas de filamentos sólidos. Los principales materiales empleados son termoplásticos como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene) y Ácido poliláctico (PLA: Polylactic Acid), materiales cerámicos o hasta materiales compuestos [16].

Entre sus ventajas y desventajas acorde con Cañedo-Argüelles y cols. [17]:

- Ventajas: (1) la no utilización del láser, provocando una considerable reducción en la energía utilizada respecto a otras tecnologías o (2) Baja toxicidad de los materiales empleadas.
- Desventajas son: (1) la baja resistencia que poseen las piezas en el dimensionamiento vertical causado por la anisotropía o (2) el largo tiempo de impresión requerido.

Ejemplos de proceso FDM



*Ilustración 9: Ejemplo FDM
(Cortesía de 3DNatives)*



*Ilustración 10: Útil fabricado
mediante FDM
(Cortesía de Stratasys)*



*Ilustración 11: End of arm
tooling mediante FDM
(Cortesía Proto3000)*

Tabla 3: Ejemplos de fabricación por FDM

3.1.2.2. Sinterizado láser selectivo

- Principio empleado en la deposición del material: Haz o luz de alta energía.

- Estado base del material: Polvo.
- Materiales: Composites, plástico y arena.

La fabricación se realiza a través de la fusión de polvos, capa a capa, debido a la temperatura generada por un láser CO₂. Su proceso se divide en, Ilustración 12 [9]: (1) deposición de capa de polvo mediante un rodillo en la plataforma de fabricación, (2) sinterización de los puntos seleccionados correspondientes a una sección en el plano XY, (3) descenso vertical de la plataforma de fabricación según la altura de capa definida sin la eliminación del polvo no sinterizado.

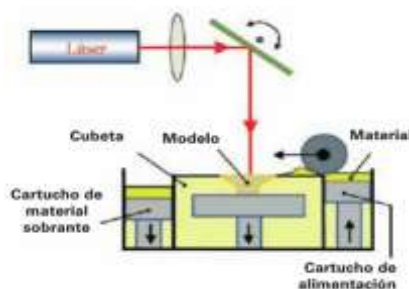


Ilustración 12: Esquema proceso SLS.

(Tomado de [9])

Este proceso no requiere de material de soporte puesto que el polvo no sinterizado actúa como soportes, una vez acabado el proceso este polvo es retirado.

Entre sus principales ventajas y desventajas [25] se encuentran:

- Ventajas: (1) no requerimiento de post-curado, (2) posibilidad de multitud de materiales, termoplásticos y metálicos, variando la potencia del láser, entre ellas
- Desventajas: (1) Requerimiento de atmosfera inerte de Nitrógeno para realizar la fabricación, (2) tiempos prolongados de calentamiento y enfriamiento, (3) Porosidad de las piezas finales.

Ejemplos de proceso SLS

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

ESTADO DEL ARTE

 <i>Ilustración 13: Pieza funcional.</i> SLS (Cortesía de 3DHubs)	 <i>Ilustración 14: Férula fabricada mediante SLS</i> (Cortesía de Formlabs)	 <i>Ilustración 15: Limpieza de polvo no sinterizado.</i> (Cortesía de 3Dnatives)
---	--	---

Tabla 4: Ejemplos de fabricación SLS

3.1.2.3. Estereolitografía

- Principio empleado en la deposición del material: Haz o luz de alta energía.
- Estado base del material: Líquido.
- Materiales: Cerámicos, plástico y cera.

Esta tecnología se basa en la fotopolimerización del material para crear el modelo a partir de resinas (epoxy o acrílica) sensibles a un rayo láser.

La resina líquida se introduce en una cubeta, la cual posee una plataforma que se desplaza de manera vertical (Ilustración 14). Una vez que el material se encuentra en el tanque, el rayo láser va polimerizando la superficie deseada de la resina que cubre la plataforma. Una vez realizada dicha superficie, la plataforma junto con la sección del modelo se sumerge para la fotopolimerización de la siguiente sección [17].

Tras acabar el proceso se requiere un curado del modelo para su solidificación puesto que la polimerización no es completa. Esto requiere una serie de lavados y secados [17]. Además del curado también requiere de un post-procesamiento para eliminar los soportes generados.

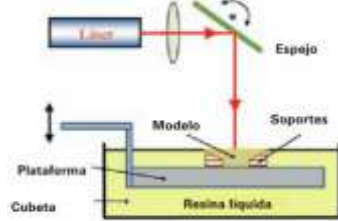


Ilustración 16: Esquema proceso SL.

(Tomado de [14])

La tecnología SL presenta las siguientes ventajas y desventajas acorde a Cañedo-Argüelles y cols. [17]:

- Ventajas: (1) buen acabado superficial, (2) alta precisión y (3) sencillez del equipo.
- Desventajas: (1) requiere un post-curado y (2) alto coste inicial como de mantenimiento.

Ejemplos de proceso SL



Ilustración 17: Deposición de resina líquida en cubeta.

(Cortesía de 3Dnatives)



Ilustración 18: Fabricación pieza mediante SL.

(Cortesía de 3Dnatives)



Ilustración 19: Útil fabricado mediante SL.

(Cortesía de 3DSystems)

Tabla 5: *Ejemplos de proceso SL*

3.1.2.4. Multi Jet Fusion

- Principio empleado en la deposición del material: Dispersión.
- Estado base del material: Líquido.

- Materiales: Plásticos.

Inicialmente, para obtener la viscosidad adecuada para la impresión, la resina líquida se calienta a 30-60 °C. Un cabezal, que se mueve en el plano XY de manera similar a una impresora 2D [18], emite las gotas de resina de fotopolímero al mismo tiempo que la cera utilizada como material de soporte sobre una cama de polvos de Nylon en las zonas determinadas por la información del modelo. Posteriormente la resina es curada con luz UV [19], Ilustración 20, una vez curada, se deposita en la siguiente capa las gotas. Una vez finalizado es necesario que el material se enfríe antes de eliminar el polvo no utilizado para garantizar la estabilidad dimensional [20]. Se puede fabricar modelos multilaterales debido a que el cabezal de impresión posee numerosos pequeños cabezales que pueden expulsar diversos materiales a la vez.

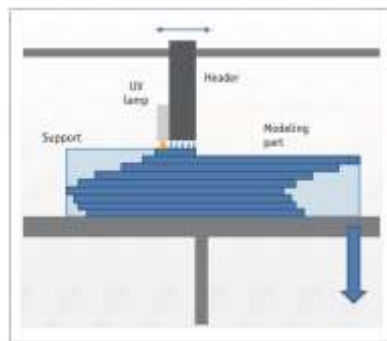


Ilustración 20 Esquema proceso Multi-jet Fusion

(Tomado de [19])

- Algunas de sus ventajas mencionadas por Mattia Mele y cols. [20]: (1) es su rapidez de fabricación, siendo viable estratégicamente para la producción de grandes lotes, (2) el 80% del polvo es reciclado para los siguientes procesos.
- Como desventaja la pieza sufre una deformación a los 65° [19].

Ejemplos de proceso MJP

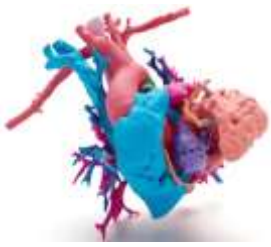
 <i>Ilustración 21: Pieza fabricada mediante MJP con diversos colores.</i> (Tomado de All3DP)	 <i>Ilustración 22: Pieza fabricada mediante MJP.</i> (Tomado de 3DSystems)	 <i>Ilustración 23: Pieza fabricada mediante MJP a partir de diversos materiales.</i> (Tomado de 3DSystems).
---	---	--

Tabla 6: Ejemplos de proceso MJP

3.1.2.5. Fusión selectiva por láser

- Principio empleado en la deposición del material: Haz o luz de alta energía.
- Estado base del material: Polvo.
- Materiales: Metales.

Para comenzar el proceso se requiere de un gas inerte (argón, por ejemplo), para minimizar la oxidación del metal. Una vez se obtiene la atmosfera inerte y está a una temperatura adecuada, se extiende una fina capa de polvo sobre la plataforma de construcción. La fabricación mediante SLM se lleva a cabo mediante la fusión de polvo metálico a través de un láser de CO₂ orientado por un conjunto de lentes sobre la sección del material [14]. Una vez la fusión del material se ha realizado, la plataforma desciende verticalmente acorde con la altura de la capa determinada y se extiende la siguiente capa, Ilustración 24.

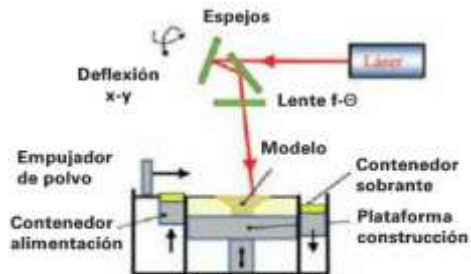


Ilustración 24: Esquema de proceso SLM.

(Tomado de [14])

- Ventajas: (1) La gran calidad y precisión de estas piezas, (2) el no requerimiento de material de soporte que permite la fabricación sin problemas de canales internos [5].
- Desventaja principal: Costo del equipamiento [5].

Ejemplos de proceso SLM



Ilustración 25: Proceso de fusión durante proceso SLM.

(Cortesía 3DNatives)



Ilustración 26: Eliminación de polvo no utilizado.

(Cortesía 3DNatives)



Ilustración 27: Piezas producidas mediante SLM

(Cortesía 3DNatives)

Tabla 7: Ejemplos de proceso SLM

3.1.3. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL Y SOCIAL

La fabricación aditiva se presenta como una solución a la alta contaminación que producimos. Acorde a Reid Lifset de la Escuela de Estudios Forestales y Ambientales (School of Forestry & Environmental Studies) de la Universidad de Yale, EE.UU [21], existe un creciente consenso en que el mayor impacto se producirá en la reducción de peso de las piezas. Siendo esta reducción crítica en la etapa de uso del producto. Un ejemplo, es la reducción de peso en componentes de avión y automóviles, causando una disminución del combustible utilizado y las emisiones producidas por él. En su artículo Lifset [21] concluye que al igual que en otras tecnologías, las consideraciones ambientales deben integrarse en el diseño y la implementación de la impresión 3D, si quiere realizar su plena contribución a sustentabilidad. Estudios recopilados por Tao Peng, en condiciones conservadoras y estrictas en el empleo de estas tecnologías a gran escala, pronostican un ahorro de entre 130 hasta 525 millones de toneladas de CO₂ [22].

La fabricación aditiva presenta un proceso de manufactura mucho más cercano al consumidor. Estas tecnologías tienden hacia una descentralización del mercado. Debido a su bajo coste inicial, la hacen propicia para la creación de Startups. Un acercamiento de producción al mercado produce un impacto significativo en la reducción de emisiones causadas por el transporte. Por otro lado, la creación de pequeñas empresas cercanas a los consumidores provoca que estos tengan una mayor ventaja sobre la producción centralizada, puesto que podrán entender mejor el mercado y ajustar sus productos a las necesidades de la gente cercana.

No obstante, existe la posibilidad que una evolución negativa de estas tecnologías hacia un futuro menos sostenible. Un ejemplo de esta posible tendencia se dio cuando un fabricante de juguetes americano anunció una impresora para la fabricación de juguetes propios por 299 dólares, capacitando a los niños a la impresión de un sinfín de juguetes y por tanto generando una gran cantidad de residuos [23].

La facilidad de fabricación para amateurs también se presenta como un problema para el impacto en el medioambiente. La fabricación sin la información necesaria puede producir fallos en numerosas impresiones aumentando de manera considerable los residuos de material.

Diversos estudios realizados a través Análisis de ciclo de vida (LCA: Life Cycle Assessment), examinan su viabilidad y su beneficio medioambiental, como por el ejemplo el caso de Kreiger y cols. [24], donde a través de un LCA prueban que un proceso de fabricación descentralizado a través de la impresión de PLA tiene un efecto medioambiental menor que la media.

Estas tecnologías, aunque tienden a tener un impacto positivo en el aspecto social, tienen mucho mayor impacto en las zonas desarrolladas debido al acceso a la electricidad. La cantidad de energía necesaria para el funcionamiento de las impresoras 3D se presenta como una gran limitación para su implementación en zonas no desarrolladas donde no se tiene acceso a la electricidad. Una solución implica la utilización de impresoras RepRap alimentadas por energía solar [8], debido a la baja energía utilizada por estas impresoras.

3.1.4. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Las principales ventajas de la AM respecto a técnicas de fabricación convencionales son la capacidad de fabricación piezas de geometrías complejas y personalizadas, y la eliminación de utillajes junto con moldes requeridos.

Estas ventajas se ven potenciadas debido a que, al contrario que las convencionales, el aumento de la complejidad y personalización no suponen un aumento añadido en el coste de producción. La personalización del producto además le aporta un gran valor al producto redefiniendo diseños no eficientes para determinadas situaciones. Está personalización unido con la ingeniería inversa puede ser explotada en el sector industrial, fabricando piezas que se acoplen adecuadamente a otras piezas de las que no se tiene información, como, por ejemplo, en el sector médico en donde la personalización es muy importante para el diseño de una prótesis, férula o en sistemas auditivos.

- Ventajas derivadas de las características principales son:
 - Ligereza en las piezas. La customización provoca la capacidad de construir piezas para una determinada función y, por tanto, las dimensiones de estas son las específicas eliminando material innecesario. La libertad en la geometría de la

fabricación conduce a la posibilidad de fabricar piezas con determinados porcentajes de relleno sin modificar la superficie exterior.

- Fabricación de productos multi-material. La capacidad de impresión de un objeto a través de dos materiales en el mismo proceso puede contribuir tanto al aspecto estético, fabricación utilizando colores variados, como ventajas a nivel de resistencia, reforzando piezas ligeras.
- Productos ergonómicos. La reducción de peso en los productos fabricados tiene gran impacto los productos que son utilizados de manera reiterada por las personas.
- Modelado con formas orgánicas. La libertad de diseño que ofrece la AM sumada al avance en la tecnología CAD proporciona modelos orgánicos imposibles o que requieren un muy alto coste de fabricación.
- Reducción de piezas requeridas para un ensamblaje. La producción de una pieza con geometría compleja puede provocar la eliminación de piezas requeridas para el ensamblaje. La fabricación de una pieza que cumpla las mismas funciones reduciendo el número de piezas en el ensamblaje es una ventaja especialmente útil ya que permite reducir tanto el peso de la pieza, como el tiempo de fabricación y los errores de factor humano ya que eliminan procesos en la fabricación de un producto.
- Reducción de almacenamiento. La posibilidad de producción personalizada reduce la cantidad de stock generado. La producción en masa plantea el problema de la fabricación de piezas innecesarias que deben ser almacenadas hasta que sean utilizadas [25].
- La reducción del tiempo de desarrollo del producto (time-to-market). Debido a la no necesidad de desarrollo de moldes ni utillaje previo a la fabricación de la pieza, una misma máquina de fabricación aditiva puede comenzar a producir una pieza según el diseño este realizado.
- Reducción de desechos. Al contrario de los procesos sustractivos la fabricación aditiva utiliza únicamente el material necesario en vez de comenzar desde un bloque de material y eliminar el no necesario.

- Diseño generativo. Gracias al avance en los programas de CAD se pueden realizar optimizaciones topológicas y diseños generativos. Estas optimizaciones son realizadas por un algoritmo matemático el cual basándose en los criterios impuestos por el diseñador reduce la cantidad de material empleado en zonas donde no son innecesarias.
 - Fabricación en sitios remotos. La producción de piezas funcionales a partir de un modelo digital CAD y una máquina. Siendo un proceso para el que la mayoría de las tecnologías no requieren de una gran infraestructura asociada, se pueden implantar en lugares poco accesibles, como es el espacio, para la reproducción de piezas de repuesto sin necesidad de poseer un extenso inventario [26].
 - Incremento de la vida de productos. La fabricación de piezas de repuesto específicas que no se encuentran ya en producción puede alargar la vida de los productos. Esta ventaja tiene como consecuencia la reducción de materiales y el acercamiento hacia un modelo de economía circular [22].
- Sus principales desventajas:
- El tiempo de fabricación. Aunque es cierto que la fabricación aditiva reduce considerablemente el tiempo de desarrollo de un producto, se debe tener en cuenta que el tiempo exclusivo de fabricación del producto, sin considerar el tiempo de fabricación de utillaje o procesos previos, es mucho mayor los procesos de manufacturación convencionales [25].
 - Calidad superficial. Debido al principio de la fabricación aditiva, la sucesión de capas provoca en la pieza final, dependiendo de la altura de capa utilizada, un efecto escalera y por tanto en su mayoría para obtener calidades superficiales altas se deben realizar post-procesados.
 - Volumen de impresión. El volumen de las piezas fabricadas se ven limitadas a la capacidad de volumen de impresión de la máquina.

- **Materiales.** Actualmente la cantidad de materiales es bastante reducida debido a sus especificaciones [25]. Además, estos son habitualmente más caros que los materiales usados en procesos convencionales.
- **Propiedades finales.** Las piezas pueden tener comportamientos impredecibles debido a la naturaleza del proceso aditivo [25], por ejemplo: esfuerzos entre las capas tendiendo a deformar la pieza, la porosidad de las piezas puede tener impacto en su dureza y en la resistencia a fatiga de esta.
- **Limitación en la simulación.** Hoy en día existen diversos programas de simulación o CAD que la incluyen como es el caso de Solidworks que aportan herramientas de simulación y análisis muy útiles en el proceso de diseño. Sin embargo, estas simulaciones todavía no se han desarrollado lo suficiente para tener en cuenta la anisotropía y porosidad producida por la fabricación aditiva ya que trabajan con la hipótesis de materiales sólidos homogéneos.
- **Dificultad de reciclado.** Esta desventaja es consecuencia directa de la ventaja mencionada anteriormente, la fabricación multi-material. La capacidad de fabricación de más de un material en el mismo proceso puede dificultar la facilidad en el reciclado debido a la imposibilidad de separación de estos.
- **Energía Utilizada:** A pesar de que la tecnología tienda a un proceso de fabricación menos dañino para el medio ambiente, la alta energía utilizada por las máquinas plantea un serio problema. Esta energía utilizada, depende tanto del tipo de tecnología utilizada como de la cantidad de tiempo empleado para la fabricación.

3.1.5. APLICACIONES

La fabricación aditiva actualmente se extiende en un gran variado número de sectores como se puede apreciar en la Ilustración 28.

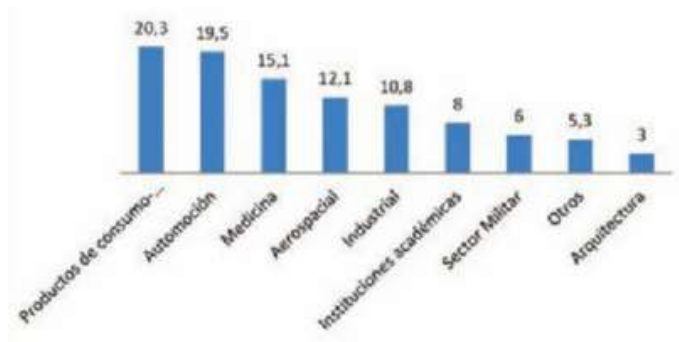


Ilustración 28: Incidencia en diversos sectores de la fabricación aditiva

(Tomado de [14])

3.1.5.1 Sector medicina

El principal campo en el que se está utilizando la AM es la medicina. La reducción de peso unido a la libertad de diseño y la capacidad de customización la hacen propicia para la fabricación de prótesis y férulas específicas para el paciente. Otras aplicaciones pueden ser la replicación de una determinada parte para realizar una planificación preoperatoria de la cirugía y así ayuda al cirujano en una cirugía complicada y reduciendo el tiempo de exposición del paciente en el quirófano. En la cirugía ortopédica oncológica, y sobre todo en las zona anatómicas complejas y de difícil reconstrucción con prótesis tumorales convencionales, es una de las mejores indicaciones para fabricar una prótesis hecha a medida del paciente, para ajustar los cortes en el hueso (osteotomías) y a la vez poder llevar la pieza fabricada al quirófano para mejor orientación del cirujano [27].

Actualmente, la desgraciada situación vivida por el Covid-19, ha puesto de manifiesto la gran capacidad de adaptación al mercado que tiene la fabricación aditiva. Las empresas con la tecnología de fabricación aditiva han podido colaborar a la producción de material sanitario en periodos de tiempo muy reducidos y en la mayoría de los casos como donación, tal como se observa en el trabajo del Hospital Universitario Gregorio Marañón de Madrid [28].

3.1.5.2. Sector aeroespacial

En el sector aeroespacial la fabricación de piezas con geometrías complejas supone una ventaja sustancial. La oportunidad de crear canales de refrigeración dentro de la propia pieza permite la eliminación de ensamblajes complejos.

David H. Freedman [25] menciona ejemplos muy interesantes como General Electric prevé ahorrar millones de litros por año gracias a la fabricación de boquillas del motor a reacción mediante AM, Ilustración 29, ya que anteriormente no eran económicamente viables de producir y Boeing ha implantado en sus aviones, tanto en vuelos comerciales como militares, alrededor de 20000 piezas.



Ilustración 29: Boquillas del motor a reacción GE.

(Tomado de [25]).

3.1.5.3. Sector automoción

Siendo principalmente utilizadas para el prototipado para el desarrollo de los vehículos, también se utilizan para la fabricación de útiles y herramientas a medida para la línea de montaje y piezas finales. Estas piezas aportan un valor añadido a la fase de uso del vehículo, al igual que en el sector aeroespacial, reduciendo el peso del vehículo y por consiguiente reduciendo la contaminación producida por este.

Otra aplicación en el sector de la automoción se centra en la producción de piezas personalizadas y recambios difíciles de encontrar. Gracias a la ingeniería inversa es posible

la digitalización de un modelo 3D y su reconstrucción a partir de un objeto físico permitiendo la fabricación de piezas sin la necesidad de tener la información detallada del objeto.

3.1.5.4. Sector guías y útiles

En la actualidad es uno de los sectores en los que más se ha utilizado. Muchas empresas han adquirido máquinas de impresión 3D para la fabricación de estas piezas en su propia fábrica (In-house). El paso de fabricación de sus propios útiles en lugar de ser encargados a otra compañía les aporta una gran ventaja en eficiencia, evitando posibles retrasos, y en cuestión económica reduce los precios. La aportación de piezas fabricadas mediante AM también posee un alto valor añadido para el trabajador, puesto que la tendencia general de estas piezas como se ha mencionado previamente son una reducción en su peso, respecto a su homóloga fabricada mediante un proceso alternativo, y por tanto una mayor facilidad para manipularlas.

3.1.5.5. Sector electrónico

La extrusión de más de un material permite la fabricación de componentes electrónicos. Un ejemplo de este caso es el desarrollo de la impresora multi-material producida por el startup estadounidense Voxel8 a finales de 2014, capaz de fabricar componentes electrónicos a partir de la extrusión de PLA y tinta conductora de plata [6], Ilustración 30.

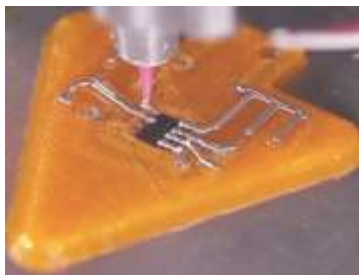


Ilustración 30: Impresión multi-material de un componente electrónico.

(Tomadas de New Atlas)

3.1.5.6. Productos de consumo

Debido al bajo precio de las impresoras no industriales, se ha elevado el número de consumidores a nivel doméstico. Siendo esta aplicación de mayor demanda dentro de la fabricación aditiva.

También es remarcable el crecimiento de las páginas web y comunidades de usuarios online, donde se encuentran información e incluso librerías de modelos gratuitos para la fabricación propia.

3.2. INGENIERIA INVERSA

Dentro de la ingeniería se pueden diferenciar dos tipos, la directa y la inversa. La directa es aquella que desarrolla un producto desde una idea abstracta. La inversa, por el contrario, parte de un producto previamente desarrollado sin información técnica sobre él, y a partir de este analiza y obtiene dicha información con el fin de análisis, replica o rediseña un producto. Dicha herramienta se puede aplicar en distintos campos como en la generación de software, componentes electrónicos, mecánicos y biológicos.

Este método hoy en día nos permite generar modelos sin la necesidad de planos, capturando y procesando la información geométrica de un objeto físico. La recopilación de información actualmente radica en la digitalización 3D para el posterior tratamiento en un software de CAD. Su aplicación radica principalmente en el sector médico, automotriz o aeronáutico.

La ingeniería inversa es necesaria en diferentes ámbitos como los que se describen [29]:

- Creación o recreación de nuevos productos (modelo/obsoleto)
- Producción en serie producto (Ausencia de datos del modelo)
- Evaluación conformidad modelo real vs CAD (control de calidad)
- Modelado CAD 3D (paramétrico y no paramétrico)
- Comparaciones con el mercado (Benchmarking)

Descripción del proceso: El proceso de ingeniería inversa es definido por M. Betancur Rodríguez [30] en dos etapas principales, (1) digitalización 3D del modelo físico y (2) reconstrucción de geometría a partir del modelo físico mediante programas CAD/CAM/CAE.

Esta herramienta con la evolución de la tecnología y la digitalización ha aumentado notablemente sus aplicaciones. La toma de información del objeto abarca un gran número de posibilidades, desde toma de medidas con instrumentos de manuales como calibres, hasta escáneres 3D.

3.2.1. DIGITALIZACIÓN

La digitalización es el proceso de obtención de la información del objeto 3D en un ordenador. Este proceso no solo es aplicado para la ingeniería inversa, también es muy utilizado para el desarrollo de videojuegos, aplicaciones médicas, forenses, en realidad virtual y en realidad aumentada entre otras muchas. [31]

3.2.2. TECNOLOGÍAS DE DIGITALIZACIÓN

Para la recopilación de la información geométrica existen diversas tecnologías expuestas, Tabla 8:

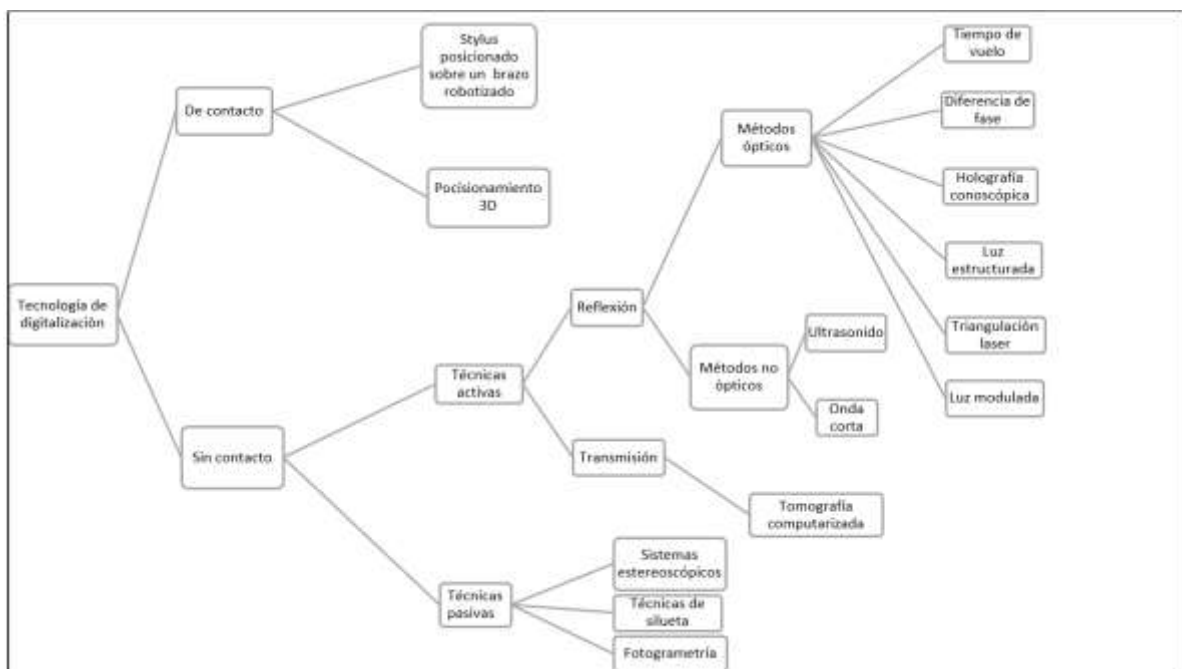


Tabla 8: Tecnologías de digitalización.

Traducida y tomada del libro: *Product Design* [32].

3.2.2.1. Tecnologías de contacto: Recopilan la información según se produce el contacto de una probeta cónica o esférica situada en el extremo de un brazo articulado, controlado robótica o manualmente, con la superficie del objeto. La información es almacenada como puntos X, Y, Z cuando se produce el contacto entre la probeta y la superficie del objeto, generando, por

tanto, al final una nube de puntos. Esta nube de puntos posteriormente puede ser utilizada para la generación de una malla 3D. Las CMM (Coordination Measuring Machine) son un ejemplo de escáner 3D de contacto [33].

3.2.2.2. Tecnologías de no contacto: Recopilación de información mediante principios ópticos, acústicos o magnéticos, sin realizar ningún contacto físico con el objeto. Estos se agrupan entre activos y pasivos, dependiendo si emiten alguna onda sobre la superficie (activo) o solo las detectan las presentes sin emitir ninguna el dispositivo de digitalización (pasivo).

- Activos: Emiten algún tipo de radiación y obtienen la información según el objeto que actúa interacciona con ella
- Pasivos: No emiten ninguna radiación. La obtención de la información se realiza mediante la interacción del objeto con las existentes en el entorno.

3.2.3. FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría es la técnica que estudia y define de forma precisa la forma, dimensiones y el posicionamiento espacial de un objeto a través de la realización de varias fotografías. La fotogrametría destaca entre el resto de las tecnologías de digitalización por su viabilidad económica y su fácil utilización teniendo actualmente un gran número de aplicaciones en ingeniería.

Su principio se basa en la alineación de puntos de referencia comunes capturados mediante fotografías desde mínimo dos puntos de vista [34].

Es una alternativa económica a los escáneres 3D, ya que la captura de información se realiza a través de una serie de fotografías, Ilustración 31, tomadas con una cámara digital siendo posteriormente procesadas por un software especial para generar modelados tridimensionales de forma sencilla y a un precio económico.

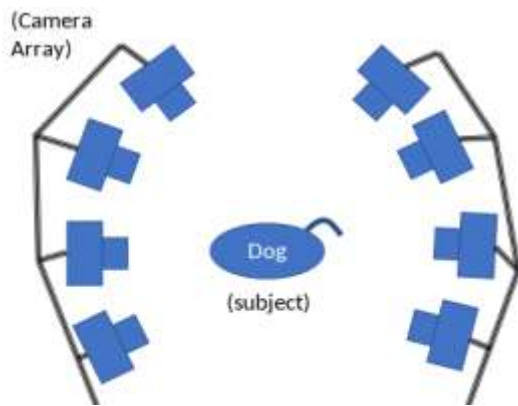


Ilustración 31: Fotogrametría

(Cortesía de Wikipedia).

A pesar de que con la digitalización la fotogrametría puede tender a imaginarse como una tecnología nueva esta idea es errónea. El proceso surgió de la mano de la fotografía a mediados del siglo XIX [35]. El primer proceso fotogramétrico, conocido anteriormente como iconometría, en 1849 por Aimé Laussedat, el cual a partir de fotos terrestres confeccionó un mapa topográfico.

La fotogrametría se clasifica según el tipo de fotografía en terrestre y área. Los dispositivos de captura en el área son drones y aviones principalmente y en la terrestre las cámaras digitales y teléfonos móviles. Sus principales aplicaciones residen la confección de mapas topográficos, en la conservación de patrimonio, ingeniería, realidad virtual.

Debido a su principio de funcionamiento su principal limitación es la incapacidad para la reconstrucción de superficies reflectantes debido a que el software toma erróneamente puntos de referencia.

Es importante reseñar, que la calidad del modelo obtenido está relacionada con la calidad de las imágenes realizadas. Para la obtención de un buen modelo es preciso comprender que no se reduce solamente a tomar fotos. La configuración tanto de la cámara como del entorno juega un papel fundamental. Acorde a Don Josephson [35] las imágenes deben siempre buscar la mayor nitidez posible, tratar de que la imagen completa está enfocada evitando fondos desenfocados, evitar las

sombras pronunciadas y los destellos del foco de luz. Así mismo el entorno y el objeto deben permanecer inmóviles para una correcta triangulación y obtención del modelo, movimientos ocasionan la pérdida de referencia en el software, otras consideraciones mencionadas por Bucchi [34] son: (1) la cantidad de luz ya que demasiada o muy poca luz pueden provocar que los bordes no queden definidos, (2) fuertes sombras provocadas por focos desiguales, (3) el fondo debe diferenciarse del objeto para resaltar los bordes.

3.2.4. RECONSTRUCCIÓN DE LA GEOMETRÍA

Para la reconstrucción de la geometría digitalizada de un objeto hacia un modelo se plantean dos opciones:

- Paramétrico: El modelo está definido por parámetros /datos característicos como pueden ser las cotas dimensionales. Durante el proceso queda se crea un historial, denominado árbol de operaciones, en las que se guarda cada parámetro introducido. Los parámetros introducidos son datos que pueden ser editables en un futuro, logrando de esta manera, piezas fácilmente editables en un futuro.
- No paramétrico: Dicho modelo se ajusta mediante superficies libres, NURBS (Non-uniform B Splines). A través de este modelado, no existe un árbol de operaciones.

CAPÍTULO 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el proceso de manufactura está tendiendo hacia la fabricación de modelos más personalizados, motivado por la eficiencia y viabilidad económica que aporta la fabricación aditiva abandonando en ciertos sectores la fabricación en masa.

El proyecto desarrollado se centra en la fabricación de un útil en concreto. Se trata de un útil para el posicionamiento de un logo en un automóvil. El proceso realizado en las plantas de las compañías se hace de manera manual por un operario. El útil aporta al operario la ayuda necesaria para la repetitividad del proceso de manera rápida y fiable. La fabricación aditiva aplicada a este útil aporta grandes ventajas tanto económicas, debido a su bajo costo, como saludables para el operario, debido a la reducción considerable de su peso respecto a los útiles que se utilizaban anteriormente.

4.2. OBJETIVOS

El principal objetivo es reflejar la tendencia actual en las plantas de producción flexibilizando y customizando el proceso en el desarrollo de un producto concreto reduciendo su tiempo de fabricación a un bajo coste.

Otro de los objetivos es la viabilidad de realizar el proceso de manera que sea posible de reproducirlo de una manera sencilla sin que intervenga una cadena de producción.

4.3. METODOLOGÍA

El útil seleccionado para la fabricación se diseñará a partir de una geometría real. Esta será obtenida a través de la fotogrametría y será importada a un programa de CAD, SolidWorks, como una malla donde se realizará el diseño conceptual del útil, previamente se habrá seleccionado la tecnología de fabricación aditiva y el material utilizado ya que tienen un gran impacto en el diseño y resultado final de la pieza, como se indica en la Ilustración 32.

Los distintos programas que se han utilizado durante el trabajo para el diseño del útil serán en orden cronológico:

- Autodesk Recap Photo: Utilizado para la obtención de la geometría de referencia mediante fotogrametría.
- SolidWorks y Geomagic for Solidworks: Empleado para el diseño del útil a partir de la malla importada de Autodesk ReCap Photo.
- Ultimaker Cura: Configuración de los parámetros para la fabricación aditiva.

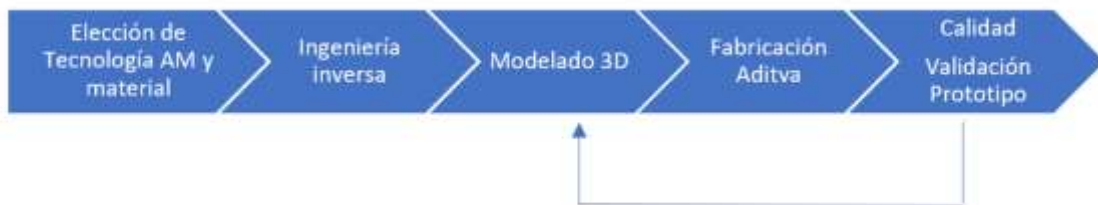


Ilustración 32: Proceso realizado.

- **ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN ADITIVA Y MATERIAL**
En primer lugar, se ha seleccionado la tecnología y material adecuado para el desarrollo y fabricación del útil diseñado.
- **DIGITALIZACIÓN GEOMETRÍA DE REFERENCIA.**
Posteriormente se procederá a la parte práctica. Se digitalizará la geometría de referencia a través de la técnica de la fotogrametría.
- **MODELADO 3D**
Una vez se exporte la geometría de referencia. Se modelará sobre esta para la creación del útil.
- **FABRICACIÓN ADITIVA**
Se configurarán los parámetros correctos para su posterior fabricación.

CAPÍTULO 5. DESARROLLO**5.1. ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y MATERIAL**

La elección de la tecnología apropiada para dicha fabricación se basa en la definición del objetivo que se busca conseguir. Por ello es necesario tener clara la aplicación del útil:

- Coste reducido.
- No requiere una excelente calidad superficial.
- No será expuesto a químicos ni sometidos a altas fuerzas.
- Menor impacto medioambiental en la producción posible.
- Requiere precisión media.

Se decidió escoger la tecnología FDM debido al bajo coste del equipamiento y el reducido impacto medioambiental respecto al resto de las tecnologías, no requiriendo de una excesiva precisión, resistencia química y física, optando por esta tecnología como la más adecuada, a pesar de algunas desventajas como se refleja en la Tabla 9.

CUADRO DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE FDM [36]:

Ventajas	Desventajas
Libertad en la geometría	Baja velocidad de producción
Bajo coste en tecnología y material	Baja precisión y resolución.
Fácil de utilizar	Acabado de superficie limitado
Baja temperatura de operación	Problemas comunes:
Baja toxicidad en el proceso	- Efecto escalera
Baja energía de consumo	- Delaminación
Varios materiales y colores	- Contracción del material
	Requerimiento de material de soporte

Poco olor, polvo y ruido producidos	Tamaño de pieza limitado
Personalización de productos	

Tabla 9: Ventajas y desventajas de la tecnología FDM

En cuanto a los materiales, los planteados son el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) y el Ácido poliláctico (PLA).

El ABS es un material proveniente de combustibles fósiles y por tanto no proviene de recursos renovables. Por el contrario, el PLA sí proviene de recursos renovables, siendo fabricado a partir del ácido láctico derivado a partir del almidón extraído del maíz, la remolacha y del trigo [37]. El PLA posee la ventaja de ser biodegradable, permitiendo, por tanto, cerrar el ciclo de vida del material [38, 39], promoviendo un acercamiento hacia la economía circular, Ilustración 33.



Ilustración 33: Ciclo de vida PLA

(Tomado de [37]).

Otra diferencia que tienen ambos materiales, es su temperatura de extrusión, marcada por la temperatura de cristalización. Siendo superior la temperatura del ABS, su enfriamiento una vez extruido el material es más pronunciado, provocando esfuerzos internos en la pieza causando deformaciones como el “warping”, Ilustración 34. Siendo el PLA más fácil de imprimir.



Ilustración 34: "Warping"

(Tomado de All3DP)

Otro aspecto para considerar es el impacto en la salud del trabajador y medioambiental, siendo mayor la cantidad de partículas tóxicas emitidas por el ABS que el PLA.

Por todo lo anteriormente expuesto, se elige el material PLA.

5.1.1. DISEÑO PARA FABRICACIÓN ADITIVA, FDM

La fabricación aditiva, como se ha mencionado anteriormente en el estado del arte, proporciona entre sus ventajas una mayor libertad en el proceso de diseño. Sin embargo, es importante eliminar desde un principio el concepto erróneo de la no existencia de normas. Estas normas y orientaciones, DFX (Design For X), se encuentran en todos los procesos de fabricación ya que, en el proceso de desarrollo de un nuevo producto, las primeras fases de diseño y fabricación son críticas y tienen un gran impacto en la calidad y coste del producto. Si estas no son diseñadas correctamente pueden repercutir severamente en la calidad del producto, el coste, el uso de la energía y medioambientalmente.

Para que la pieza sea fabricada correcta y eficientemente se deben tener en cuenta las características finales.

La fabricación mediante de piezas mediante FDM, tiene determinadas limitaciones y desventajas que deben ser analizadas para reducir los errores de fabricación. Estas limitaciones están causadas

por distintos motivos como el principio de fabricación que se emplea, rapidez del proceso, geometría fabricada, temperatura de extrusión.

La altura de las capas superpuestas, marca tanto la precisión de la superficie como el tiempo necesario para realizar la fabricación. A mayores alturas de capas, menor será la precisión de la pieza, sin embargo, mayor será la rapidez del proceso.

Debido al enfriamiento del material, tras su extrusión se producen unas tensiones residuales en la pieza. Esto provoca deformaciones y contracciones en la pieza. Cuanto mayor sea la temperatura de impresión, mayor gradiente existirá y por tanto será mayor su deformación

El material de soporte, es necesario para la deposición de material cuando no existe una base para este. La fabricación mediante extrusión superpone unas capas encima de otras utilizando las propias capas como soportes. Cuando se quiere fabricar una pieza que posee un saliente, el material no puede ser depositado sobre el aire, requiriendo por tanto un material que se elimine tras acabar la fabricación mediante para utilizarlo como soporte. La eliminación de estos materiales puede dañar la pieza.

La Orientación del material tiene un papel fundamental en FDM debido al principio que utiliza la tecnología FDM afecta en un gran número de variables.

- Material de soporte necesario: La cantidad de material de soporte empleado varía dependiendo de la orientación de la pieza.
- Estabilidad: Para una correcta fabricación la superficie plana de mayor superficie es situada sobre la plataforma para una correcta estabilidad de la pieza según se adhieren las capas.
- Propiedades mecánicas: Las piezas fabricadas mediante FDM poseen cualidades anisotrópicas, es decir, no se comportan mecánicamente de la misma manera dependiendo de la dirección ejercida sobre esta. Esto se debe a la baja fuerza de adhesión entre capas, limitando su resistencia mecánica en el eje vertical.
- Acabado superficial: Caras curvadas situadas en el plano horizontal no llegan a ser lisas puesto que la curvatura es obtenida a través de la superposición de capas horizontales,

provocando el efecto escalera, por el contrario, las caras curvadas en el plano vertical si son lisas ya que se realiza mediante la superposición de capas con la curvatura requerida.

- Tiempo de impresión: Se debe orientar el objeto de manera que tenga la menor altura posible debido a que el extrusor tarda un mayor tiempo en realizar los desplazamientos en vertical que en horizontal.

La fabricación de piezas que tengan paredes pequeñas puede causar problemas ya que estas pueden romperse o deformarse.

5.2. DIGITALIZACIÓN GEOMETRÍA DE REFERENCIA

A continuación, se procede a la obtención de la geometría de referencia. Para llevar a cabo la toma se ha utilizado una cámara DSLR (Digital Single-Lens Reflex) Canon 500D, en un espacio abierto debido al tamaño del coche.

Para la toma de datos es importante preparar tanto el material con que se utilizará el proceso como el entorno de trabajo.

5.2.1. CONFIGURACIÓN DEL PROCESO DE TOMA DE DATOS

5.2.1.1. Cámara

La toma de fotografías se realizó con una cámara DSLR, Canon 500D, Ilustración 35, previamente se ajustó la cámara manualmente teniendo en cuenta los principales aspectos de la fotogrametría.

Reducción a la sensibilidad de la luz lo máximo posible (ISO 100), la apertura del diafragma se redujo lo máximo posible (mayor número de f). La distancia focal aumento lo posible 24 mm, Tiempo de exposición marcado por el resto de los factores y la luz en el momento, puesto que es al atardecer y se redujo la sensibilidad a la luz, el tiempo de disparo es más lento que lo deseable ya que necesita tiempo para absorber la luz del ambiente.

- Velocidad ISO: 100
- Número f: 5,6
- Distancia focal: 24 mm

- Tiempo de exposición: 1/80 s.



Ilustración 35: Cámara utilizada durante el proceso

5.2.1.2. Entorno

La configuración del entorno al realizarlas las fotos en un espacio abierto, es complicada de efectuar y están definidas por la climatología y la iluminación disponible. Para reducir la influencia de la luz solar, por ejemplo, sombras muy pronunciadas ya que causan un error a la hora de reconstruir el modelo, se seleccionaron unas horas determinadas para la realización de la fotogrametría satisfactoria y se seleccionaron el amanecer y el atardecer. Las fotografías realizadas para el modelado fueron realizadas aproximadamente a las 21:00.

Debido a la dificultad que tiene el software para reconstruir el modelo con superficies con reflejos se ha aplicado una capa de pintura mate sobre la parte que nos interesa, con un aerosol para obtener una fina capa que se ajuste a la geometría buscada.

El entorno de la sección se ha cubierto con papel de periódico lo que aportará al programa la información necesaria mediante puntos de referencia para realizar la reconstrucción. En los primeros escaneados realizados, la arista de la carrocería era a menudo confundida con el fondo y para su solución se empleó cinta adhesiva en el cartón colocado atrás, Ilustración 36 .



Ilustración 36: Preparación del entorno

5.2.1.3. Realización de las fotografías

Para la realización del modelo se realizaron una serie de 100 fotografías desde diversos ángulos, tratando de obtener la mayor información para una reconstrucción satisfactoria. Las fotografías se realizaron a una distancia similar del objeto de manera radial y a diversas alturas para la obtención información desde numerosos ángulos.



Ilustración 37: Recreación de puntos donde se realizaron las fotografías

5.2.1.4. Obtención y exportación del modelo

Las fotografías fueron importadas al programa Autodesk Recap Photo en un formato JPG. Una vez obtenido el modelo, primeramente, se eliminó la geometría no necesaria para la obtención del

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO

modelo requerido, Ilustración 38. Seguidamente, puesto que el modelo obtenido solo posee la relación de las distancias, se debe escalar para trabajar con las medidas reales. Para ello se midió la distancia entre dos puntos con un calibre y se introdujo dicha distancia en el modelo. Se realizó tres medidas y determinó que la medida entre los dos puntos señalados es de 9 mm. Introduciendo esta medida en el modelo escaneado, el programa escala todo respecto a esa medida, Ilustración 39.



Ilustración 38: Digitalización 3D geometría referencia



Ilustración 39: Distancia real introducida.

Finalmente, fue exportado al software de CAD en un archivo .stl, que es una simplificación básica del modelo original mediante una malla hecha por triángulos que cubre la superficie. Estos triángulos son superficies planas. Siendo por tanto el modelo codificado por los tres vértices de los triángulos. Para la exportación se redujo la cantidad de triángulos reduciendo la malla un 73% para

reducir el tamaño del archivo de 3.774 KB a 977 KB sin excesiva pérdida de precisión y así reducir el tamaño del archivo.

5.3. MODELADO EN CAD

Una vez importada la malla se procederá a la orientación de esta, puesto que la fabricación de la malla tiene una orientación definida aleatoria en Solidworks. Para trabajar con la malla importada es necesario que esta sea de buena calidad y por tanto se limpiará la malla reparándola.

La idea es crear el objeto utilizando la malla como referencia. La ingeniería inversa es una aproximación de la pieza original, por tanto, habrá una desviación entre la superficie escaneada y la original. Como se ha realizado un escaneado de bajo coste la superficie no es completamente lisa como en la realidad se ha fijado una desviación aceptable de 0,5 mm.

5.3.1. GENERACIÓN DEL MODELO

La generación del modelo se ha realizado de manera paramétrica debido a que el primer prototipo puede ser susceptible de errores y, por tanto, se podrá requerir una variación en alguna dimensión para optimizar su diseño.

Al realizar el proceso de manera paramétrica, la metodología seguida ha sido iterativa ya que cuando una de las superficies no se ajusta estas eran modificables:

- Ajuste de modelo a la superficie.
- Generación de análisis de desviación
 - Modelo Correcto: se prosigue
 - Modelo incorrecto: se reajusta en base al análisis de desviación.

El modelado tras la orientación y reparación de la malla, Ilustración 40, se prosiguió con la segmentación, Ilustración 41. Su funcionalidad reside en la división del modelo original en subconjuntos pertenecientes a una curvatura similar

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO

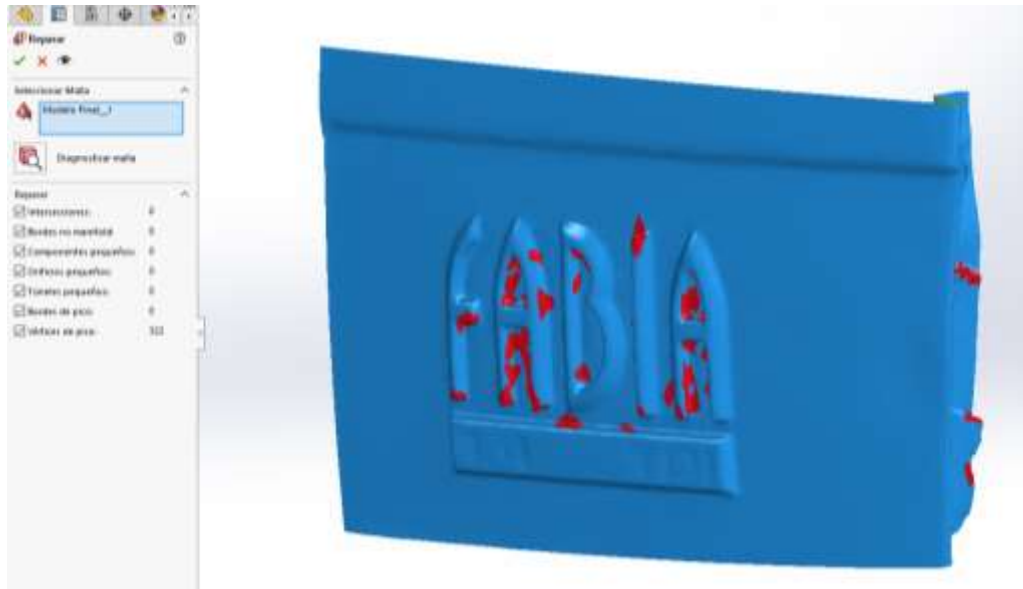


Ilustración 40: Reparación de malla

Para el diseño de este útil hay tres superficies claves, puesto que dicha geometría se utilizará para elaborar el útil customizado:

- Superficie alrededor del logo, donde se encuentre la mayor área con la que va a estar en contacto.
- Superficie equidistante, profundidad del logo.
- Arista derecha y escalón usados como topes para un correcto emplazamiento del útil.



Ilustración 41: Seccionamiento de la superficie

Primeramente, se modela el alzado del útil, Ilustración 42, siguiendo las dos curvas que serán utilizadas como topes.

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO

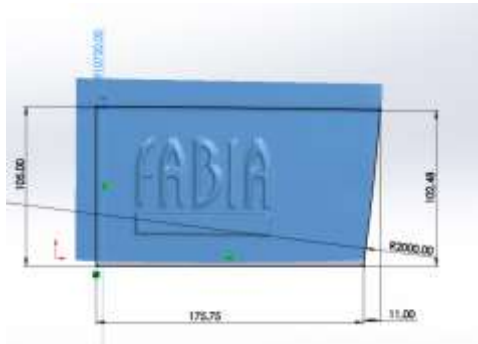


Ilustración 42: Alzado

Para la obtención de la curvatura de la superficie, siendo un modelo paramétrico, se ajustará a la superficie del vehículo, a partir de dos croquis realizados mediante el comando de secciones cruzadas, Ilustración 43, Ilustración 45. Geomagic for Soliworks, permite la generación de croquis de referencia mediante la intersección de planos con la malla importada. Utilizando estos como referencia, se crearán dos croquis para definir la curvatura, Ilustración 44, Ilustración 46.

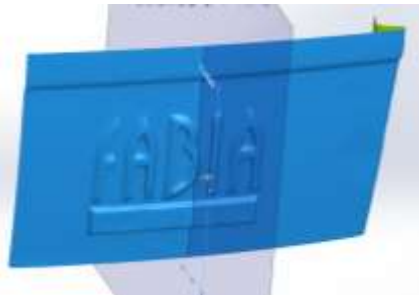


Ilustración 43: Generación de croquis de referencia vertical

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO



Ilustración 44: Croquis vertical basado en el generado por Geomagic for Solidworks

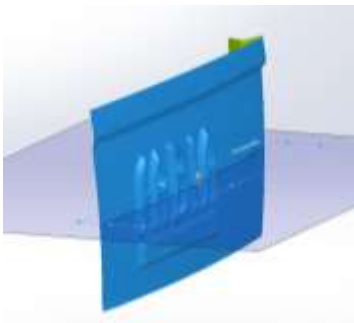


Ilustración 45: Generación de croquis de referencia horizontal



Ilustración 46: Croquis horizontal basado en el generado por Geomagic for Solidworks

Como se puede apreciar en el primer análisis de desviación realizado (imagen en la izquierda de la Tabla 10), a pesar de haber ajustado los croquis a la sección obtenida por el software, la desviación es significativa. Esto se debe al mal posicionamiento del plano para realizar el corte, debido a que la geometría importada está ligeramente curvada, el eje de revolución del corte de la sección se encuentra a una altura superior. Para solucionarlo, se ascendió el plano de manera iterativa, comprobando la desviación, determinando una altura final a 55mm, Ilustración 47.

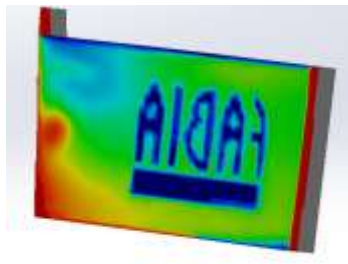
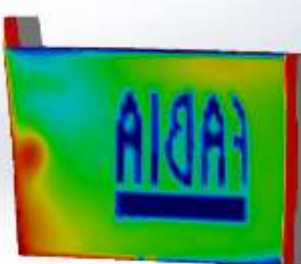
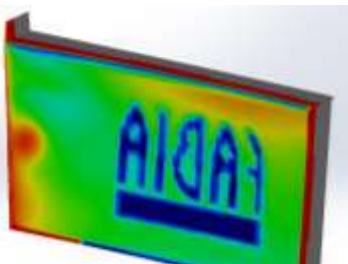
Plano horizontal a 48,9	Plano horizontal a 52	Plano horizontal a 55
		

Tabla 10: Ejemplos de la iteración

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO

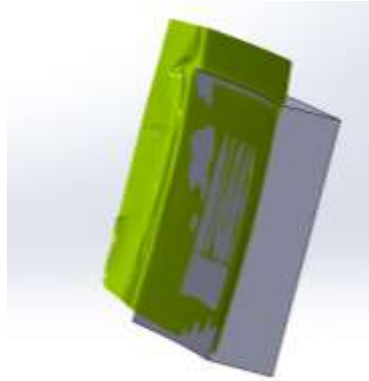
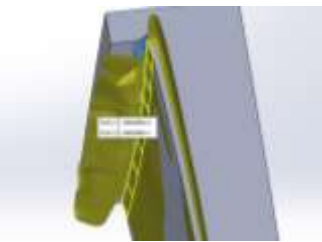
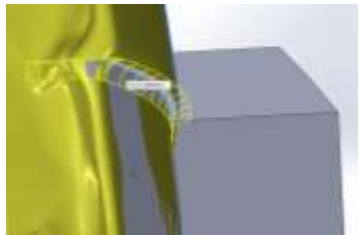


Ilustración 47: Pieza seccionada con plano a 55mm de la base.

Posteriormente se extruyó una pestaña para hacer de tope en la derecha del automóvil. Para obtener la curvatura de las zonas de contacto se utilizaron en las aristas dos redondeos. Debido a que de la curvatura de la superficie varía antes de llegar al borde derecho del portón trasero del vehículo, como pudo apreciarse en la segmentación realizada anteriormente, se realizó un redondeo asimétrico, provocando que este se curve de acuerdo con la superficie.

Extrusión de pestaña	Redondeo asimétrico	Redondeo simétrico
 <i>Ilustración 48: Extrusión e pestaña.</i>	 <i>Ilustración 49: Redondeo asimétrico.</i>	 <i>Ilustración 50: Redondeo simétrico.</i>

Siendo la primera iteración errónea, Ilustración 51, puesto que no llega a haber contacto entre la pestaña y el borde del útil, se ha procedido a una nueva iteración hasta conseguir el mínimo valor de desviación entre la superficie del automóvil y el útil.

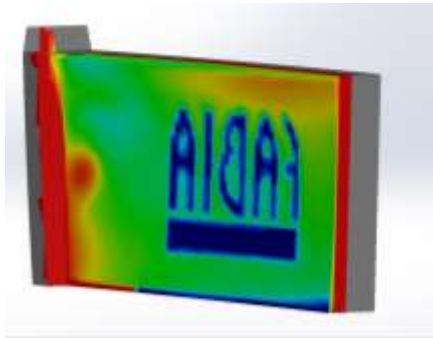


Ilustración 51: Primera iteración de la pestaña.

Finalmente, una vez ajustada a la superficie de contacto, Ilustración 52, se ha procedido a las operaciones para posicionar la pegatina en el útil. Se realizaron 2 cortes, uno hasta el final de la pieza y otro hasta la superficie que entra en contacto con la pegatina. Para su fijación al depositarla sobre dicha superficie se extruyeron 3 salientes. La superficie creada es equidistante a la de contacto, dejando un espacio para no depositar erróneamente la pegatina teniendo en cuenta que no se haya realizado ninguna fuerza de presión sobre ella, Ilustración 53.

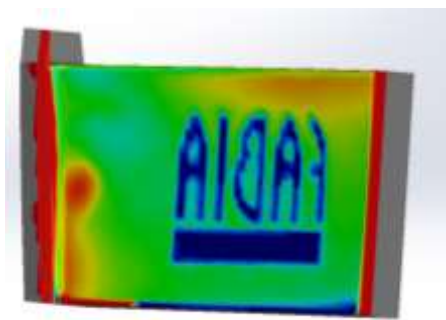


Ilustración 52: Última iteración de la pestaña

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO

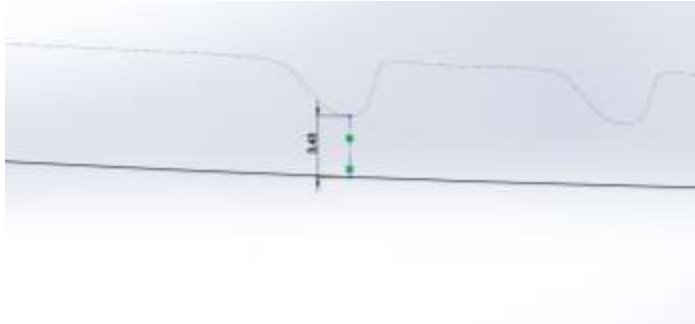


Ilustración 53: Distancia separación para prevención de adherido indeseable.

En el análisis de desviación final, Ilustración 54, existen 2 zonas donde se han superado la tolerancia de 0,5mm, siendo la desviación de 0,8 mm. Estas desviaciones se han considerado como válidas puesto que el modelo importado se aprecia una hendidura, Ilustración 55, y una protuberancia, Ilustración 56.

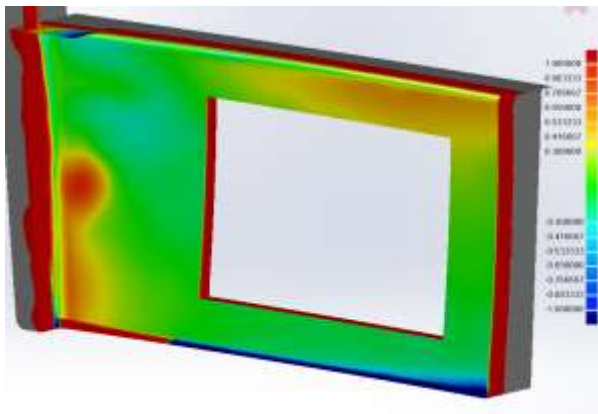


Ilustración 54: Análisis de desviación final.



Ilustración 55: Hendidura en el modelo importado

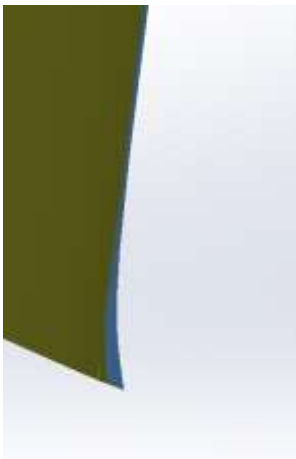


Ilustración 56: Protuberancia en el modelo importado

5.3.2. EXPORTACIÓN DEL MODELO

Una vez realizado el diseño final, es necesario tratar el modelo en un “slicer” en el cual se configuran varios parámetros fundamentales para la fabricación. Para ello se exportará de Solidworks a Cura el modelo como un archivo .stl. Para una correcta exportación del modelo, hay dos parámetros que deben ser configurados en las opciones de exportación que marcan el ajuste de la aproximación al diseño real:

- Tolerancia de cuerda. Es el máximo error aceptado entre la superficie modelada en CAD y la cara triangulada.
- Tolerancia angular. Es el ángulo máximo entre los triángulos al adaptarse a una superficie curva.

5.4. PREPARACIÓN DEL MODELO PARA LA FABRICACIÓN

Una vez importado el útil, lo primero que se hizo fue orientar la pieza como se aprecia en la Ilustración 57, para optimizar el resultado final del útil.

- Con el objetivo de reducir soportes.
- Mayor área plana se utilice como base para garantizar una máxima estabilidad.
- Para una buena resistencia de la pieza se orientó de tal manera que la dirección de la fuerza de tracción no coincidiese con la misma dirección en la que se superponen las capas.
- Los salientes circulares se orientaron perpendicularmente para obtener una buena calidad.
- La altura de la pieza es la menor posible, reduciendo así tiempos en la fabricación.
- El acabado superficial se verá perjudicado debido a la orientación de las superficies curvas en el plano horizontal, produciendo un efecto escalera en ella

Posteriormente se ajustaron los principales parámetros del “slicer”.

- Altura de capa: En orden de fabricar la pieza de manera rápida sin comprometer en exceso la calidad se seleccionó una altura de 0,2 mm.
- Altura de capa inicial: Afecta a la adhesión de la primera capa a la plataforma. Para obtener una mayor fijación se configuró como 0,3 mm.
- Espesor de la pared: Se define por el número de recorridos que realiza el extrusor en una misma capa. Siendo por tanto un valor entero se decidió utilizar 3 recorridos, espesor de 1,2mm, para proporcionar una superficie sólida fuerte.

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO

- Porcentaje de densidad. Puesto que se busca un útil ligero que soporte la fuerza ejercida por el operario se seleccionará un 40% de relleno.
- Temperatura de extrusión. Viene marcada por el material, siendo el rango de temperaturas para el PLA, se seleccionó un valor intermedio 200°C.
- Temperatura de la plataforma, a pesar de no ser obligatoria es recomendable para una buena adhesión a la 50°C.
- Velocidad de extrusión. Se utilizó una velocidad de impresión de 40mm/s

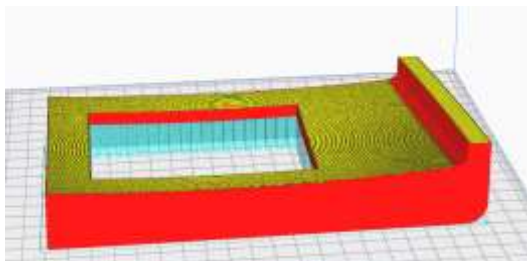


Ilustración 57: Posicionamiento de la pieza en la impresora.

5.4.1. PRESUPUESTO

Dada, la situación del Covid-19 no se llegó fabricar el útil, por tanto, se calculó el presupuesto a partir de la simulación realizado por el “slicer” Cura.

DATOS AMORTIZACIÓN MÁQUINA	
Precio máquina (€)	399,00
Coste mantenimiento anual (€)	50,00
Años de amortización	4
Amortización (h/año)	200,00
Precio Hora máquina-amortización (€/h)	0,69

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

DESARROLLO

Precio Hora – venta -público (€/h)	0,75
------------------------------------	------

Tabla 11: Datos Amortización Máquina

Datos Coste Material	
Coste material modelo(€)	21,00
Coste material soporte(€)	21,00

Tabla 12: Datos Coste de material

Conceptos presupuestarios	Opción Sólido	Costes parciales
Material modelo (g)	185,00	3,89 €/ud
Soporte modelo (g)	12,95	0,27€/ud
Tiempo modelo (h)	17,00	11,67 €/ud
Tiempo técnico-analista (h)	0,50	10,00 €
Cantidad de piezas	1,00	
Coste unitario (€)	25,82 €/ud	
Coste total (€)	25,82 €	

Tabla 13: Costes de la fabricación

CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados son expuestos únicamente de manera gráfica, ante la imposibilidad de la fabricación del útil dadas las circunstancias sanitarias actuales.

1. La digitalización mediante la fotogrametría fue satisfactoria aportando la geometría necesaria para el diseño customizado.



Ilustración 58: Resultado digitalización

2. Posicionamiento del útil: Se muestra el posicionamiento de la guía customizada a continuación.

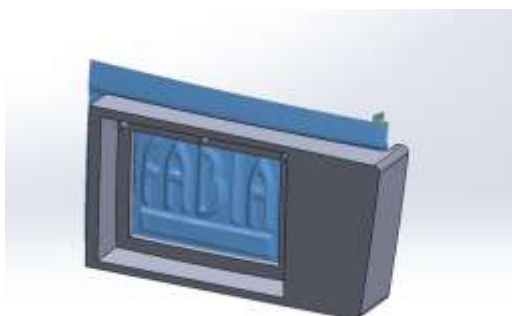


Ilustración 59: Posicionamiento del útil.

3. Análisis de desviación realizado: El diseño se dio como valido dado que la mayoría del área se encontraba con una desviación del 0,5 mm.

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

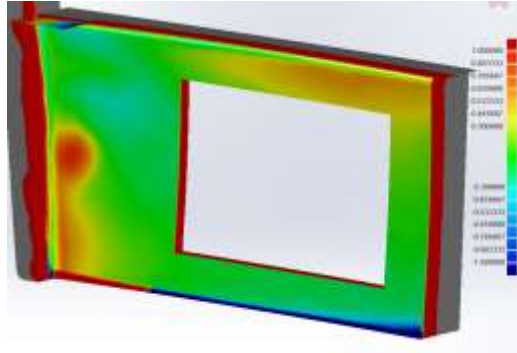


Ilustración 60: Resultado de análisis de desviación

Por medio de los programas utilizados se pueden llegar a obtener los siguientes resultados teóricos:

Peso: 172,05 g.

Precio: 25, 81 €.

Tiempo de fabricación: 17 horas y 19 minutos.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Actualmente, existe una tendencia a la customización de los productos. La fabricación aditiva, al estar libre de utillajes y moldes son idóneas para la realización de lotes bajos dando la posibilidad de producción de piezas en menor tiempo.

Hoy en día, existen métodos de digitalización alternativos a los escáneres 3D a un menor coste como es la fotogrametría.

Su uso requiere un mínimo de conocimiento sobre la toma de fotografías, para alcanzar la calidad óptima en el modelo 3D.

A mayor cantidad de fotografías al objeto mejora la precisión del modelo, debiendo realizar los ajustes correctos manualmente.

La producción de utillaje mediante fabricación aditiva garantiza a los trabajadores una mayor ergonomía, estos son diseñados con un menor peso y para funciones específicas.

La fabricación aditiva junto con la Ingeniería inversa permite la reconstrucción de piezas de recambio obsoletas.

BIBLIOGRAFÍA / ABREVIATURAS

Bibliografía

[1] Christopher Winnan 3D Printing: The Next Technology Gold Rush - Future Factories and How to Capitalize on Distributed Manufacturing – 22 noviembre 2013 Editor: CreateSpace Independent Publishing Platform ISBN-10: 1494213966; ISBN-13: 978-1494213961

[2] Á. Rodríguez-Prieto, A.M. Camacho, A.M. Aragón, M.A. Sebastian, A. Yanguas Gil: Conference: 22nd International Congress on Project Management and Engineering At: UNED, Madrid (Spain) Volume: 2018: pp. 1011-1023 « (PDF) Analysis of the current scenario of additive manufacturing standardization and certification».

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/326405459_Analysis_of_the_current_scenario_of_additive_manufacturing_standardization_and_certification/citations

[3] F. Rozo-García, «Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0», Rev. UIS Ing., vol. 19, Nº 2, pp. 177-191, may 2020, doi: 10.18273/revuin.v19n2-2020019.

[4] T. J. Snyder et al., «3D Systems' Technology Overview and New Applications in Manufacturing, Engineering, Science, and Education», 3D Print. Addit. Manuf., vol. 1, n.o 3, pp. 169-176, sep. 2014, doi: 10.1089/3dp.2014.1502.

[5] M. Jiménez, L. Romero, IA. Dominguez, M.M. Espinosa, M. Dominguez: Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects. Complexity, vol. 2019, pp. 1-30, Feb. 2019, <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>

[6] T. Caffrey, T. Wohler: An Additive Manufacturing Update. A global review of the technologies and applications of additive manufacturing and 3D printing. *ApplianceDesign*, May 2016: 27 – 29

[7] E. Sells, S. Bailard, Z. Smith, A. Bowyer, and V. Olliver, “RepRap: The replicating rapid prototyper: Maximizing customizability by breeding the means of production,” in *Proceedings of the 2007 World Conference on Mass Customization & Personalization (MCP)*

[8] J. M. Pearce, C. Morris Blair, K. J. Laciak, R. Andrews, A. Nosrat, y I. Zelenika-Zovko. 3-D Printing of Open Source Appropriate Technologies for Self-Directed Sustainable Development. *J. Sustain. Dev.*, vol. 3, Nº 4, p. p17, Nov. 2010, DOI: 10.5539/jsd.v3n4p17.

[9] M.D Monzón, Z. Ortega, A. Martínez, F. Ortega: Standardization in additive manufacturing: activities carried out by international organizations and projects», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 76, Nº 5-8, pp. 1111-1121, Feb. 2015, DOI: 10.1007/s00170-014-6334-1.

[10] «Redwire Acquires Made In Space, Space Manufacturing Technologies», *Airl. Ind. Inf. M2*, jun. 2020, [En línea]. Disponible en:

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bwh&AN=B4Z3632836610&lang=es&sit e=ehost-live&scope=site&authtype=ip,shib>

[11] American Society for Testing and Materials. F42_AMStandardsStructureAndPrimer.pdf. Disponible en:

https://www.astm.org/COMMIT/F42_AMStandardsStructureAndPrimer.pdf

[12] Most used 3D printing technologies 2020», Statista. Disponible en:

<https://www.statista.com/statistics/560304/worldwide-survey-3d-printing-top-technologies>

- [13] A. Ramya, Sai leela Vanapalli: 3D Printing Technologies in Various Applications. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Volume 7, Issue 3, May–June 2016, pp.396–409, Article ID: IJMET_07_03_036. <http://www.iaeme.com/SearchResults.asp>
- [14] M. Jiménez, J. Porras, I. A. Domínguez, L. Romero, and M. M. Espinosa, “La fabricación aditiva. La evidencia de una necesidad,” Interempresas Industria Metalmeccanica, vol. 235, Nº. 1047, pp. 74–82, 2013. <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/116342>
- [15] V. A. Balogun, N. D. Kirkwood, y P. T. Mativenga, «Direct Electrical Energy Demand in Fused Deposition Modelling», Procedia CIRP, vol. 15, pp. 38-43, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.06.029.
- [16] H. I. Medellin-Castillo y J. Zaragoza-Siqueiros, «Design and Manufacturing Strategies for Fused Deposition Modelling in Additive Manufacturing: A Review», Chin. J. Mech. Eng., vol. 32, n.o 1, p. 53, dic. 2019, doi: 10.1186/s10033-019-0368-0.
- [17] E. L. Cañedo-Argüelles and M. Domínguez, “Estado actual del prototipado rápido y futuro de éste,” Actas del XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica, vol. 3, pp. 1242–1255, 1999.
- [18] K. S. Reddy y S. Dufera: Additive manufacturing technologies. International Journal of Management, Information Technology and Engineering (BEST: IJMITE) ISSN (P): 2348-0513, ISSN (E): 2454-471X, Vol. 4, Issue 7, Jul 2016, 89-112 Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/334545466>
- [19] S. Ding y X. Bao, «A 3D printing practice for preoperative rehearsal based on the additive and subtractive manufacturing», J. Mech. Med. Biol., vol. 16(08):1640031, Sept. 2016, DOI: 10.1142/S0219519416400315.

Disponible

en:

https://www.researchgate.net/publication/308080609_A_3D_PRINTING_PRACTICE_FOR_PREOPERATIVE_REHEARSAL_BASED_ON_THE_ADDITIVE_AND_SUBTRACTIVE_MANUFACTURING/references

[20] M. Mele, G. Campana, y G. L. Monti: «A Decision Method to Improve the Sustainability of Post Processing in Multi Jet Fusion Additive Manufacturing», *Procedia Manuf.*, vol. 43, pp. 2-9, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.101.

[21] R. Lifset: 3D Printing and Industrial Ecology (Editorial). *J. Ind. Ecol.*, vol. 21, Nº S1, pp. S6-S8, 2017, DOI: 10.1111/jiec.12669.

[22] L. Suarez, M. Dominguez: Sustainability and environmental impact of fused deposition modelling (FDM) technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2020) 106:1267– 1279. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/337861161_Sustainability_and_environmental_impact_of_fused_deposition_modelling_FDM_technologies

[23] G. Unruh, «Circular Economy, 3D Printing, and the Biosphere Rules», *Calif. Manage. Rev.*, vol. 60, Nº 3, pp. 95-111, May 2018, doi: 10.1177/0008125618759684. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/0008125618759684>

[24] M. Kreiger y J. M. Pearce. Environmental Impacts of Distributed Manufacturing from 3-D Printing of Polymer Components and Products. *MRS Proc.*, vol. 1492, pp. 85-90, 2013, DOI: 10.1557/opl.2013.319.

Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269381486_Environmental_Impacts_of_Distributed_Manufacturing_from_3-D_Printing_of_Polymer_Components_and_Products

[25] D. H. Freedman: Layer by Layer. *Technol. Rev.*, vol. 115, Nº 1: 50-53, January 2012.

Disponible en <https://www.technologyreview.com/2011/12/19/20869/layer-by-layer/>

[26] A. Balbás Calvo, M.M. Espinosa, M. Domínguez Somonte: Últimos avances en la fabricación aditiva con materiales metálicos», *Lámpsakos*, Nº 19, pp. 47-54, ene. 2018, DOI:

10.21501/21454086.2365. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/332234466_Ultimos_avances_en_la_fabricacion_aditiva_con_materiales_metalicos2

[27] Ozturk AM, Ozer MA, Suer O, et al. Patient-Specific Three-Dimensional Model for a Safe Surgical Pathway in Sacral Chondrosarcoma. Indian J Surg Oncol. 2019; 10(1):107-114. doi:10.1007/s13193-018-0851-6)

[28] R. Perez-Mañanes, S.G. de San José, M. Desco-Menéndez et al: Point-of-care 3D printing during the COVID-19 pandemic. What role does the manufacturing university hospital play? DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-34063/v1>

Disponible en: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-34063/v1/0bcce313-651c-49e0-8064-240bba06bcc7.pdf>

[29] J. Y. Gutiérrez, «Técnicas de Ingeniería Inversa para diseño Producto. Disponible en: <https://es.slideshare.net/stpcingenieriaydiseno/tcnicas-de-ingeniera-inversa-para-diseo-producto>

[30] M. Betancur Rodríguez. «Ingeniería Inversa Aplicada: Metodología y aplicaciones industriales.». Trabajo de grado. Título de Especialista en diseño mecánico. Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Especialización en Diseño Mecánico. Medellín (Colombia) 2011.

[31] M. A.B. Ebrahim, «3D Laser Scanners: History, Applications, and Future», 2014, doi: 10.13140/2.1.3331.3284.

Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/267037683_3D_LASER_SCANNERS_HISTORY_APPLICATIONS_AND_FUTURE

[32] A.P. Valerga Puera, R.A. Jiménez-Rodríguez, S. Fernandez-Vidal, S.R. Fernandez-Vidal. En Product Design. Ed: Prof. Catalin Alexandru, Dr. Codruta Jaliu and Dr. Mihai Comsit. Published:

June 26th 2020. DOI: 10.5772/intechopen.92998. <https://www.intechopen.com/online-first/photogrammetry-as-an-engineering-design-tool>

[33] J. Ferreira, N. Alves, A. Mateus, y P. Custódio, «Integrated product and tooling development via reverse engineering methodologies and rapid prototyping techniques», 2001.

[34] A. Bucchi, J. Luengo, R. Fuentes, M. Arellano-Villalón. Recommendations for Improving Photo Quality in Close Range Photogrammetry, Exemplified in Hand Bones of Chimpanzees and Gorillas. International Journal of Morphology, 38(2), (2020): 348-355.

Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022020000200348>

[35] D. Josephson. «CS320320 - Tips & Tricks for Getting the Best Photogrammetry Models Using ReCap Photo», p. 55.

[36] H. I. Medellin-Castillo y J. Zaragoza-Siqueiros, «Design and Manufacturing Strategies for Fused Deposition Modelling in Additive Manufacturing: A Review», Chin. J. Mech. Eng., vol. 32, Nº 1, p. 53, dic. 2019, doi: 10.1186/s10033-019-0368-0.

[37] T. Peng. Energy Modelling for FDM 3D Printing from a Life Cycle Perspective. Int. J. Manuf. Res., vol. 11, Nº 1, p. 1, 2017, DOI: 10.1504/IJMR.2017.10003722.

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/314301204_Energy_Modelling_for_FDM_3D_Printing_from_a_Life_Cycle_Perspective

[38] «PLA: ¿Es realmente ecológico el filamento? », 3Dnatives, jul. 22, 2019.

<https://www.3dnatives.com/es/ecologico-realmente-filamento-pla-230720192>

[39] L. Ford, «Ingeo Biopolymer 3D850 Technical Data Sheet», p. 5.

Disponible en: https://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Technical-Data-Sheets/TechnicalDataSheet_3D850_monofilament_pdf.pdf?la=en

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL
PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

BIBLIOGRAFÍA E ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Índice de abreviaturas

ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene): Acrilonitrilo Butadieno Estireno

AM (Additive Manufacturing): Fabricación Aditiva.

ASTM (American Society for Testing and Materials): Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

CAD (Computer Aided Design): Diseño Asistido por ordenador.

DLP (Direct Light Processing): Proyección por máscara.

EBM (Electron Beam Melting): Fusión por haz de electrones.

FDM (Fused Deposition Modelling): Deposición de material fundido.

ISO (International Organization for Standardization): Organización Internacional de Estandarización

LCA (Life cycle assessment): Análisis de ciclo de vida.

LOM (Laminated object manufactured): Fabricación laminada.

DMLS (Direct Metal Laser Sintering): Sinterización directa por láser de metal

LMD (Laser Metal Deposition): Deposición de metal por láser

NURBS (Non Uniformal B-Splines): B-splines racionales no uniformes

ODS – Objetivos de Desarrollo Sostenible.

PLA (Polylactic Acid): Ácido poliláctico.

SL (Stereolithography): Estereolitografía.

SLM (Selective Laser melting): Fusión selectiva por láser.

SLS (Selective Laser Sintering): Sinterizado láser selectivo.

STL (Standard Tessellation Language): Estereolitografía, Archivo digital.

RE (Reverse Engineer): Ingeniería Inversa.

RP (Rapid Prototyping): Prototipado rápido

ANEXOS

ANEXO I. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Para la realización del proyecto “DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA” se deben tener en cuenta las palabras de Ban Ki-Moon, Secretario General de las Naciones Unidas: “El empresariado es un socio vital para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Las empresas pueden contribuir a través de la actividad principal de su negocio, por lo que pedimos a las empresas de todo el mundo, que evalúen su impacto, establezcan metas ambiciosas y comuniquen de forma transparente sus resultados”. Además, se deben cumplir los ODS para que el proyecto cumpla las aspiraciones para el 2030 propuesta por la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

En cuanto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se ha seleccionado como principal el objetivo 12 (Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles) y como secundarios, pero no menos importantes, son los números 3 (Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades) y el 9 (Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación), como se ilustra en la tabla *siguiente*:

ODS. Dimensión	ODS propuesto	Rol	Objetivo
Economía y medio ambiente	Obj. 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles	Primario	Para el 2030, conseguir la sustitución de productos tradicionalmente fabricados por otras soluciones tecnológicas que reduzcan las emisiones y los residuos
Sociedad	Obj. 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.	Secundario	Para 2030, reducir el número de incidentes relacionados con salud y seguridad en un promedio del 30%
Economía y medio ambiente	Obj. 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación	Secundario	Para la agenda del 2030 y el cumplimiento del Artículo 67 de la ONU. Transformando nuestro mundo: “Exhortamos a todas las empresas a que aprovechen su creatividad e innovación para resolver los problemas relacionados con el desarrollo sostenible.

Se ha considerado el ODS 12 como el principal, pues el útil diseñado en el proyecto ha de estar comprometido con el medio ambiente [1], por eso la elección de la tecnología utilizada es clave para reducir la huella ecológica, al igual que la reducción del material utilizado para su fabricación en la cantidad máxima posible. Además, este objetivo se interrelaciona claramente con los ODS secundarios que son el 3 y 9.

Respecto al ODS 3, considero que es trascendental desde el punto de vista de salud laboral y se manifiesta claramente su impacto en la salud, pues con la reducción de peso del útil, se está buscando el propósito de una optimización de las posturas y esfuerzos realizados por el trabajador, ya que siendo más liviano aumentará comodidad del operario y por lo tanto la eficiencia es mejor y esto conlleva a la disminución de los probables trastornos musculoesqueléticos derivados de la manipulación de con piezas de mayor peso, que puede verse en las estaciones de ensamblaje de una empresa automotriz.

Para, entender mejor la definición de Trastornos Musculoesqueléticos la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA) lo define literalmente [2]: “son las alteraciones que

sufren estructuras corporales como los músculos, articulaciones, tendones, ligamentos, nervios, huesos y el sistema circulatorio, causadas o agravadas fundamentalmente por el trabajo y los efectos del entorno en el que éstos se desarrollan”. Considero que todos estos riesgos pueden ser en parte reducidos con el proyecto propuesto y me hago eco de las palabras de la Dra. Christa Sedlatschek, directora de la EU-OSHA “Seguiremos evitando enfermedades y accidentes relacionados con el trabajo en el marco de todos los desafíos del futuro, trabajando del modo en que lo hemos hecho, de forma tan satisfactoria, durante los pasados veinticinco años” [3].

El otro objetivo secundario que es el ODS 9, tiene una relación directa con la economía y en la sugerencia de la ONU en la que se solicita a todas las empresas a que aprovechen su creatividad e innovación. Vemos que estas tecnologías, tienden a tener un impacto positivo en el aspecto social, pero su mayor impacto es en las zonas desarrolladas debido a la disponibilidad electricidad. Pero, como se puede hacer para que sea implementada en zonas no desarrolladas, donde el acceso a la electricidad es limitado o que su utilización incrementa el gasto y afectación del medio ambiente; para ello una solución implica la utilización de impresoras RepRap alimentadas por energía solar, la baja energía utilizado por estas impresoras permiten la viabilidad de utilización de paneles fotovoltaicos.

Además, al revisar la historia de las impresoras 3D advertimos que Makerbot, empresa estadounidense, vendió la primera impresora en 3D de escritorio en un precio aproximado de 1000 EUR en 2008, haciendo accesible la tecnología de impresión en 3D al público general, pero seguía siendo de un valor adquisitivo importante. Pero, al mismo tiempo, el proyecto de investigación RepRap (Replicating Rapid Prototyper) desarrolló una impresora de escritorio rudimentaria, que consistía principalmente en piezas de plástico que podían realizarse con una impresora de escritorio. Las piezas mecánicas de RepRap podían encargarse en línea; en otras palabras, el RepRap fue la primera impresora en 3D que podía replicarse a sí misma y su valor es un poco más de 200 EUR, además el software para ejecutar un RepRap es libre y de código abierto, lo que hace su utilización más universal y asequible con la idea de democratizar la impresión en 3D y expandir esta tecnología a personas de todo el mundo; la idea sería ubicarla en algún lugar con grandes cantidades de luz y

poder imprimir objetos en 3D en cualquier ocasión, de una forma eficiente y responsable con el medio ambiente [4].

Bibliografía Anexo 1

[1] J. Faludy: 3D printing and its environmental implications OECD iLibrary .Chapter 5

Disponible en:

https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/the-next-production-revolution/3d-printing-and-its-environmental-implications_9789264271036-9-en#page1

[2] Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA).

<https://osha.europa.eu/es/highlights/what-does-digitalisation-mean-safety-and-health-work>

[3] La impresión en 3D y fabricación aditiva – las consecuencias para la seguridad y la salud en el trabajo. 3D printing and additive manufacturing – The implications for OSHA.

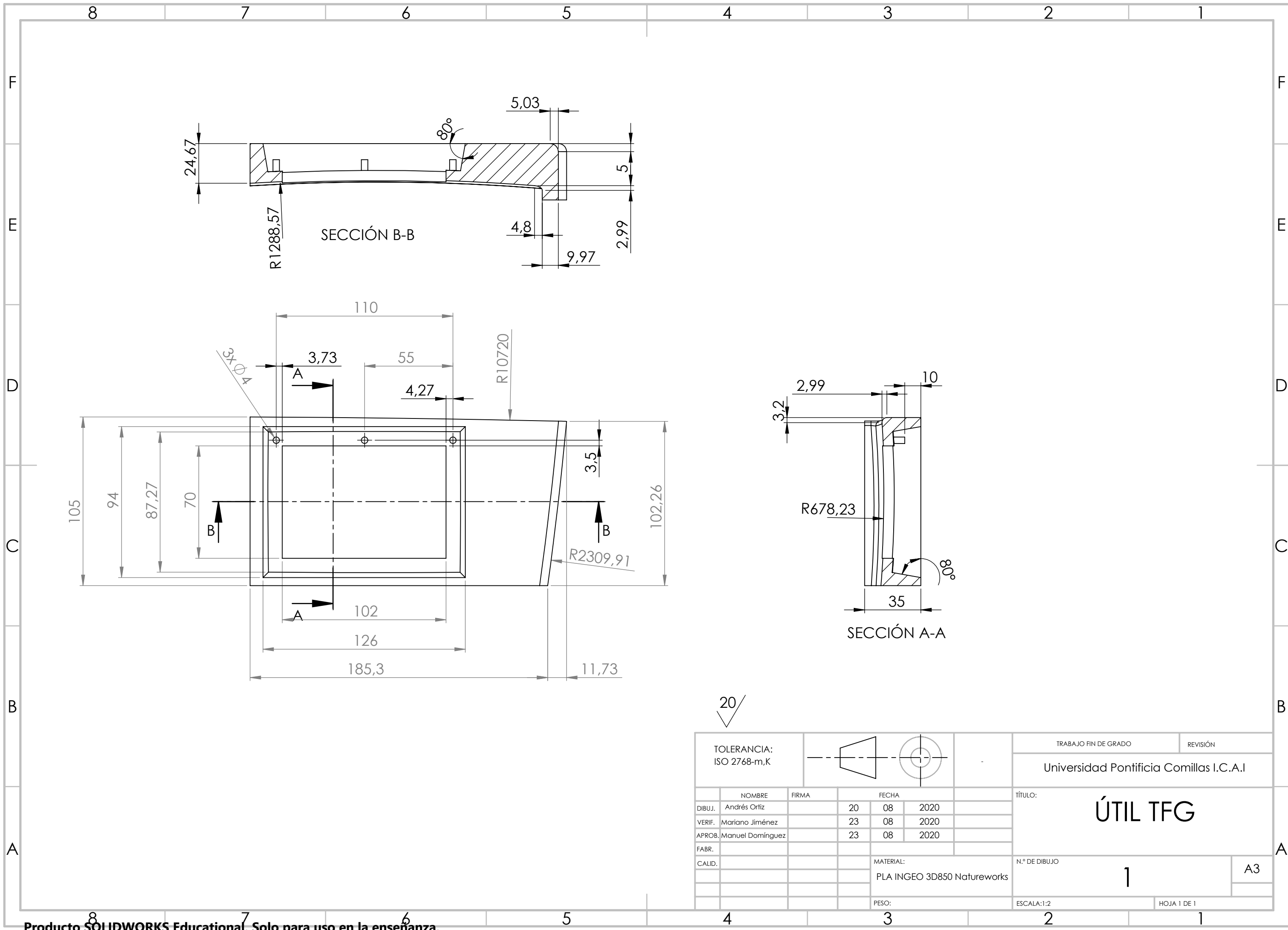
Discussion Paper. Tomado de <https://osha.europa.eu>

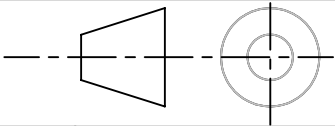
[4] M.D Monzón, Z. Ortega, A. Martínez, F. Ortega: Standardization in additive manufacturing: activities carried out by international organizations and projects», Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 76, Nº 5-8, pp. 1111-1121, Feb. 2015, DOI: 10.1007/s00170-014-6334-1.

COMILLAS – ICAI

DISEÑO, FABRICACIÓN Y ANÁLISIS DIMENSIONAL DE UN ÚTIL DE CONTROL
PRODUCIDO MEDIANTE FABRICACIÓN ADITIVA

ANEXOS



TOLERANCIA: ISO 2768-m,K						TRABAJO FIN DE GRADO		REVISIÓN
						Universidad Pontificia Comillas I.C.A.I		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO: ÚTIL TFG		
DIBUJ.	Andrés Ortiz		20	08	2020			
VERIF.	Mariano Jiménez		23	08	2020			
APROB.	Manuel Domínguez		23	08	2020			
FABR.						N.º DE DIBUJO 1		
CALID.								
			MATERIAL:			A3		
			PLA INGENIO 3D850 Natureworks					
			PESO:			ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño, fabricación y análisis dimensional de un útil de control producido
mediante fabricación aditiva
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/2020 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Andrés Ortiz Hernando

Fecha: 26/ 08/ 2020



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Manuel Domínguez Somonte

Fecha:/ 08/ 2020

