

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**CAMPUS D'ALCOI**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**Utilización de tecnologías aditivas de fabricación de materiales  
poliméricos y estudio de las tolerancias dimensionales mediante  
escaneo 3D para producción en serie en el sector del automóvil.**

**Autor:**

D. Iván García Soler

**Dirigido por:**

Dr. Octavio Ángel Fenollar Gimeno

Dr. Néstor Montañés Muñoz

**Septiembre 2017**



# RESUMEN

**Utilización de tecnologías aditivas de fabricación de materiales poliméricos y estudio de las tolerancias dimensionales mediante escaneo 3D para producción en serie en el sector del automóvil.**

Uno de los problemas en la industria del termoplástico, particularmente en las piezas realizadas por inyección, es el elevado coste de la realización del molde. Debido a la dificultad de diseño en piezas muy complejas, al material empleado para su fabricación, al tiempo de mecanizado y posterior puesta en marcha en la máquina de inyección. Todo ese proceso requiere mucho tiempo, un gran espacio para la máquina y una gran inversión.

Una posible solución a este inconveniente es la utilización de impresoras 3D para la realización de estas mismas piezas porque se reduciría considerablemente el tiempo de preparación, el espacio utilizado y la inversión inicial. Ya que actualmente la utilización de la impresión 3D en muchos campos está en aumento y cada vez se consiguen mejores resultados. Con este planteamiento comienza el trabajo, saber si una impresora 3D podría llegar a sustituir a una máquina de inyección de plástico.

Para llegar a una conclusión y saber si sería posible, el primer paso es saber si cumpliría sus funciones estéticas y mecánicas. Para ello se va a realizar el modelizado de algunas piezas de la industria de la automoción en formato 3D, mediante el programa SolidWorks, para posteriormente imprimirlas en diferentes impresoras que ofrece el mercado y en diferentes materiales. Con el fin de obtener diferentes resultados en función de la calidad de la impresora, y realizar sobre ellas un escaneo 3D para su posterior análisis y comparación, con el programa CloudCompare, para verificar que coinciden con las piezas originales y obtenemos el resultado deseado.

Una vez hemos realizado el análisis de las piezas, se realizará un estudio económico para saber hasta qué punto es viable la fabricación de piezas de plástico mediante impresión 3D en comparación con una máquina de inyección.



# **SUMMARY**

**Use of additive technologies for the manufacture of polymeric materials and research of dimensional tolerances by 3D scanning for series production in the automobile sector.**

One of the problems in the thermoplastic industry, particularly in injection molded parts, is the high cost of mould making, because to the difficulty of designing in very complex parts, the material used for its manufacture, the time of mechanized and its subsequent start up in the injection machine. All that process requires a lot of time, a large space for the machine and a great investment.

A possible solution to this problem is the use of 3D printers for the realization of these same pieces because it would reduce considerably the preparation time, the space used and the amount to invest. Since the use of 3D printing in many fields is currently increasing and results obtained are better and better. The work begins with this approach, to know if a 3D printer will be able to replace a plastic injection machine.

To get a conclusion and to know if it would be possible, the first step is to know if it would fulfill its aesthetic and mechanical functions. To do this, we are going to model some parts of the automotive industry in 3D format, through the SolidWorks program, it will be done for later printing on different printers offered by the market and in different materials. With the aim of to obtaining different results depending on the quality of the printer, and do a 3D scan on them for further analysis and comparison, with the program CloudCompare, to verify that they match the original parts and we get the desired result.

Once the analysis of the parts has been done, an economic study will be carried out to make sure it is viable the manufacture of plastic parts using 3D printing in comparison with an injection machine.



# RESUM

**Utilització de tecnologies additives per a la fabricació de materials polimèrics y estudi de les toleràncies dimensionals per escaneig 3D per a la producció en serie en el sector de l'automòbil.**

Un dels problemes en la indústria del termoplàstic, particularment en les peces fetes per injecció, és l'elevat preu de fabricar el motlle, a causa de la dificultat del disseny en peces molt complexes, del material empleat per a fabricar-les, del temps de mecanitzat i de la posada en funcionament en la màquina d'injecció. Tot aquest procés requereix molt de temps, un espai molt gran per a la maquinària i una gran inversió.

Una solució possible a aquest inconvenient és utilitzar una impressora 3D per a la realització de les peces, perquè reduiria considerablement el temps de preparació, l'espai utilitzat i s'hi destinaria una menor inversió. Com que actualment la utilització de la impressora 3D en molts camps està en augment i cada vegada s'aconsegueixen millor resultats, amb aquest plantejament s'inicia el treball, conèixer si una impressora 3D podria substituir una màquina d'injecció de plàstic.

Per arribar a una conclusió i saber si seria possible, el primer pas és conèixer si compliria les seues funcions estètiques i mecàniques. Per a això es realitzarà un modelitzat d'algunes peces de la indústria de l'automoció en format 3D, amb el programa SolidWorks, per a després imprimir-les en diferents impressores que ofereix el mercat i en diferents materials. Amb la fi d'obtenir diversos resultats segons la qualitat de la impressora, i realitzar sobre aquestes un escaneig 3D per a la seua anàlisi i comparació, amb el programa CloudCompare, per verificar que coincideixen amb les peces originals i obtindre el resultat esperat.

Una vegada hem realitzat l'anàlisi de les peces, es realitzarà un estudi econòmic per saber el punt de viabilitat de la fabricació de peces de plàstic amb impressió 3D en comparació amb una màquina d'injecció.





# Tabla de Contenidos

RESUMEN .....	3
SUMMARY .....	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	13
LISTADO DE FIGURAS .....	15
LISTADO DE TABLAS.....	21
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>23</b>
I.1. ANTECEDENTES.....	25
I.2. FUNCIONAMIENTO Y TIPOS.....	29
I.2.1. IMPRESIÓN POR EXTRUSIÓN.....	30
I.2.1.1. MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM).....	31
I.2.2. IMPRESIÓN POR HILADO .....	34
I.2.2.1. FABRICACIÓN POR HAZ DE ELECTRONES (EBF3).....	34
I.2.3. IMPRESIÓN POR GRANULADO.....	35
I.2.3.1. SINTERIZADO DE METAL POR LÁSER (DMLS).....	35
I.2.3.2. FUSIÓN POR HAZ DE ELECTRONES (EBM) .....	36
I.2.3.3. SINTERIZADO SELECTIVO POR CALOR (SHS).....	37
I.2.3.4. SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS).....	38
I.2.3.5. PROYECCION AGLUTINANTE (DSPC).....	39
I.2.4. IMPRESIÓN POR LAMINADO.....	40
I.2.4.1 LAMINADO DE CAPAS (LOM).....	40
I.2.5 IMPRESIÓN POR FOTOQUIMICO .....	41
I.2.5.1. ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA).....	41

1.2.5.2 FOTOPOLIMERIZACIÓN ULTRAVIOLETA (SGC).....	42
I.3. MATERIALES.....	43
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>47</b>
II.1. OBJETIVO GENERAL.....	49
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES. ....	49
<b>III. DESARROLLO PROYECTO.....</b>	<b>51</b>
III.1. ELECCION DE LAS PIEZAS. ....	53
III.2. DISEÑO PIEZAS.....	55
III.2.1. SOPORTE INTERRUPTOR ELEVACIONES.....	56
III.2.2. TAPA FILTRO DE ACEITE.....	57
III.2.3 CARCASA CONMUTADOR LUCES.....	58
III.3. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES E IMPRESORAS 3D. ....	59
III.4. IMPRESIÓN DE LAS PIEZAS.....	63
III.4.1. SOPORTE INTERRUPTOR ELEVACIONES.....	63
III.4.2. TAPA FILTRO DE ACEITE.....	66
III.4.3. CARCASA CONMUTADOR LUCES.....	68
III.5. ESCANEADO DE LAS PIEZAS.....	73
III.5.1. SOPORTE INTERRUPTOR ELEVACIONES.....	74
III.5.2. TAPA FILTRO DE ACEITE.....	75
III.5.3. CARCASA CONMUTADOR LUCES.....	78
III.6. COMPARACIÓN DE LAS PIEZAS MEDIANTE CLOUDCOMPARE .....	81
III.6.1 SOPORTE INTERRUPTOR ELEVACIONES.....	81
III.6.2. CARCASA CONMUTADOR LUCES.....	85

III.6.3. TAPA FILTRO DE ACEITE.....	87
<b>III.7. ESTUDIO ECONOMICO.....</b>	<b>91</b>
III.7.1. COSTE Y TIEMPO MÁQUINA DE INYECCIÓN .....	91
III.7.2. COSTE Y TIEMPO IMPRESIÓN 3D .....	95
III.8. CONCLUSIONES .....	99
<b>IV. APÉNDICES .....</b>	<b>101</b>
IV.1. REFERENCIAS .....	103
IV.2. PLANOS ACOTADOS.....	105
IV.3. TABLAS ESTUDIO ECONÓMICO.....	109



# ABREVIATURAS

A	Amperios
3DP	Impresión 3D por inyección
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
CAD	Diseño asistido por ordenador
DMLS	Sinterizado de metal por laser
DSPC	Proyección aglutinante
EBF3	Fabricación por haz de electrones
EBM	Fusión por haz de electrones
FDM	Modelado por deposición fundida
HIPS	Poliestireno de alto impacto
KW	Kilo vatio
LOM	Laminado por capas
MIT	Instituto tecnológico de Massachusetts
PBT-GF30	Polibutileno tereftalato con 30 % de fibra de vidrio
PC	Policarbonato
PCL	Policaprolactona
PEI	Polieterimida
PLA	Poliácido láctico
PPSU	Polifenilsulfona

PVA	Alcohol de polivinilo
SGC	Fotopolimerización ultravioleta
SLA	Estereolitografía
SLM	Fusión selectiva por láser
SLS	Sinterizado selectivo por láser
UV	Ultravioleta
V	Voltio
W	Vatio

# LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. Recorte del periódico cuando Carl Deckard inventó la técnica SLS .....	25
Figura I.2. Vejiga urinaria a la cual se le aplica un recubrimiento sintético creado con las células madre de la misma persona.....	26
Figura I.3. Impresora RepRap version 1.0 "Darwin" .....	27
Figura I.4. a) Mandíbula inferior impresa en 3D por LayerWise, b) Prototipo Urbee ...	27
Figura I.5. The Liberador, primera arma de fuego impresa en 3D.....	28
Figura I.6. Replica del Shelby Cobra realizada mediante impresión 3D .....	28
Figura I.7. Procedimiento impresión 3D .....	29
Figura I.8. Esquema de las diferentes tecnologías de impresión 3D (Wikipedia, 2017). 30	
Figura I.9. Sistema de Extrusión Directa .....	30
Figura I.10. Sistema de Extrusión Indirecta.....	31
Figura I.11. Proceso de impresión con la tecnología FDM .....	31
Figura I.12. Impresora 3D Prusa I3 .....	32
Figura I.13. Esquema impresora 3D con doble extrusor.....	33
Figura I.14. Proceso de la técnica EBF3 .....	34
Figura I.15. Esquema impresora 3D mediante la tecnología DMLS .....	35
Figura I.16. Impresora ARCAM Q20 .....	36
Figura I.17. Esquema impresora 3D con la tecnología EBM .....	36
Figura I.18. Impresora BluePrinter M2 SHS .....	37
Figura I.19. Esquema impresión 3D con la tecnología SLS .....	38
Figura I.20. Esquema impresión 3D con tecnología DSPC.....	39
Figura I.21. Esquema tecnología LOM.....	40
Figura I.22. Esquema tecnología SLA.....	41

Figura I.23. Esquema impresión 3D con la tecnología SGC .....	42
Figura II.1. Diagrama de flujo de las etapas del trabajo. ....	50
Figura III.1 Imagen de la tapa del filtro de aceite original .....	53
Figura III.2. a) Imagen de la pieza original de la carcasa del mando elevallunas, b) Imagen original de la carcasa del conmutador de luces del Peugeot 207 .....	53
Figura III.3. a) Pieza con hilo para tomar referencias para la medición y dibujo, b) Vista de la pieza para insertarla en SolidWorks para dibujar el contorno exterior. ....	55
Figura III.4. a) Vista lateral de la pieza para conseguir el perfil lateral, b) Vista de la pieza después de extruir el cajetín de la parte inferior y hacer los orificios y pestañas del mismo, c) Vista de la pieza por la parte inferior una vez se han hecho y todas las pestañas, d) Vista de la pieza finalizada, después de crear el orificio donde van alojados los mandos.....	56
Figura III.5. a) Imagen de la pieza con el croquis del perfil realizada y la operación de revolución ejecutada, b) Imagen de la pieza después de crear la tuerca, c) Imagen de la pieza después de crear las pestañas interiores que sirven para el soporte del filtro de aceite, d) Imagen de la pieza finalizada, una vez se ha creado la rosca, los orificios de salida del aceite y los redondeos necesarios.....	57
Figura III.6. a) Imagen de la base del conmutador, b) Imagen del conmutador una vez se han creado las paredes y los conectores, c) Imagen de la pieza una vez extruidas todos los detalles de la parte delantera, d) Imagen de la pieza finalizada después de realizar la parte trasera y aplicar todos los redondeos.....	58
Figura III.7. Impresora 3D XYZ DaVinci 1.0.....	59
Figura III.8. Impresora Prusa I3 Dual.....	60
Figura III.9. Impresora 3D Dimension SST 1200ES .....	61
Figura III.10. a) Imagen superior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D Dimension, b) Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D Dimension, .....	63
Figura III.11. a) Vista superior del mando elevallunas realizada mediante la impresora Prusa b) Vista inferior del mando elevallunas realizada mediante la impresora Prusa .	63



Figura III.12. a) Imagen superior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D XYZ DaVinci, b) Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D XYZ DaVinci. ....	64
Figura III.13. Soporte mando eleva lunas realizado con la impresora DaVinci después de realizar un lijado a la parte superior.....	65
Figura III.14 a) Imagen exterior de la tapa realizada mediante la impresora 3D Dimension, b), c) Imagen de la parte interior de la carcasa realizada mediante la impresora 3D Dimension, d).....	66
Figura III.15. a) Imagen exterior de la carcasa impresa mediante la impresora Prusa b) Imagen de la parte interior de la carcasa fabricada mediante la impresora Prusa .....	66
Figura III.16. a) Imagen exterior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D XYZ DaVinci, b) Imagen de la parte interior de la carcasa fabricada mediante la impresora 3D XYZ DaVinci. ....	67
Figura III.17 a) Tapa del filtro aceite después de realizar el lijado, b) Imagen en detalle de la rosca después de realizar el postprocesado. ....	67
Figura III.18. a) Imagen superior de la carcasa fabricada mediante la impresora 3D Dimension, b), Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D Dimension. ....	68
Figura III.19. a) Vista superior de la carcasa de los conmutadores realizada por la impresora Prusa, b) Vista de la parte inferior de la carcasa de los conmutadores realizada por la impresora Prusa .....	69
Figura III.20. a) Imagen superior de la carcasa realizada mediante la impresora 3D XYZ DaVinci, b) Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D XYZ DaVinci. ....	69
Figura III.21. Parte inferior de la carcasa antes del postprocesado .....	70
Figura III.22. Escaner Optical Rev Eng.....	73
Figura III.23. a) Carcasa conmutador luces en el interior del escáner, b) Captura del software Optical RevEng alineando varios escaneos con un nuevo escaneo. ....	73
Figura III.24. a) Captura de un escaneo con ruido, b) Captura de un escaneo sin ruido, c) Captura una vez se han alineado todos los escaneos, d) Captura de la pieza después de realizar el mallado.....	74

Figura III.25. Captura del mallado del soporte realizado por la impresora Prusa .....	74
Figura III.26. Mallado del soporte de los mandos del elevallunas realizado por la impresora DaVinci .....	75
Figura III.27. a) Captura de un escaneo con ruido, b) Captura de un escaneo sin ruido, c) Captura después de realizar el alineado de todos los escaneos, d) Captura de la pieza realizado con la impresora Dimension después de realizar el mallado. ....	76
Figura III.28. Mallado del filtro aceite realizado por la impresora 3D Prusa .....	77
Figura III.29. Mallado del filtro de aceite fabricado por la impresora DaVinci.....	77
Figura III.30. a) Captura de un escaneo con ruido, b) Captura de un escaneo sin ruido, c) Captura una vez se han alineado todos los escaneos, d) Captura de la pieza después de realizar el mallado.....	78
Figura III.31. Mallado de la pieza realizada por la impresora Prusa.....	79
Figura III.32. Mallado de la pieza fabricada por la impresora DaVinci .....	79
Figura III.33. a) Mando elevallunas desalineado al introducirlo en CloudCompare, b) Captura de CloudCompare con el cuadro de puntos de referencia para el alineado de las dos piezas. ....	81
Figura III.34. Resultado de la comparación mediante CloudCompare del soporte del mando del elevallunas realizado por la impresora Dimension. ....	82
Figura III.35. Captura del programa RevEng con la comparación del soporte del mando de interruptor realizado por la impresora Prusa I3.....	83
Figura III.36. Vista superior del resultado de la comparación de la pieza realizada mediante la impresora DaVinci.....	84
Figura III.37. Vista inferior del resultado de la comparación de la pieza realizada mediante la impresora DaVinci.....	84
Figura III.38. Resultado final de la comparación de ambas piezas de la carcasa del conmutador de luces.....	85
Figura III.39. Vista superior de la comparación de la carcasa del conmutador realizada por la impresora Prusa .....	86
Figura III.40. Vista inferior de la comparación del conmutador realizado por la impresora Prusa.....	86

Figura III.41. a) Vista superior de la comparación de la carcasa de conmutador realizada por la impresora DaVinci b) Vista inferior de la comparación de la carcasa de conmutador fabricada por la impresora DaVinci.....	87
Figura III.42. Resultado de la comparación de la tapa del filtro de aceite realizada por la impresora Dimension .....	88
Figura III.43. Resultado de la tapa del filtro aceite realizado por la impresora Prusa después de realizar la comparación mediante el programa CloudCompare. ....	89
Figura III.44. Comparación del soporte del filtro de aceite realizado por la impresora DaVinci .....	90
Figura III.45. Captura del programa Ces EduPack de donde se obtiene el precio del material PBT-GF30 .....	92
Figura III.46. Análisis de inyección del conmutador de luces .....	93



# **LISTADO DE TABLAS**

Tabla III.1. Tabla Resumen del material utilizado y tiempo impresión de las piezas ....	71
Tabla III.2. Tabla resumen del coste de inyección y tiempo de fabricación para 808 piezas .....	94
Tabla III.3. Tabla resumen del coste y tiempo de fabricación de 808 piezas y 4 impresoras 3D.....	96
Tabla III.4. Tabla comparativa del estudio económico de la máquina de inyección con 6 y 7 impresoras.....	98



# **I. INTRODUCCIÓN**

# INTRODUCCIÓN

# **I. Introducción**

---



# I. Introducción

---

## I.1. ANTECEDENTES.

La historia de la impresión 3D está básicamente arraigada a la invención de nuevas técnicas de fabricación 3D y publicación de patentes en posesión de empresas privadas.

Pese a que la primera patente relacionada con las impresoras 3D fue publicada en mayo de 1980 por el Dr. Kodama, en Japón, no consiguió el impacto necesario en la sociedad y fue en 1984 cuando Charles Hull, más tarde, co-fundador de 3D Systems, inventó la estereolitografía (SLA).

A continuación, se muestra una cronología de la evolución de la impresión 3D desde 1984, donde podemos que empezó esta tecnología, hasta la actualidad.

-1986: Charles Hull patenta su invento, la estereolitografía, y crea la empresa 3D Systems, actualmente uno de los líderes en impresión 3D.

-1987: Carl Deckard desarrolla la técnica de sinterizado selectivo por láser (SLS), conocida como impresión por láser.

-1988: Scott Crump inventa el modelado por deposición fundida (FDM)

-1989: Se concede la patente del SLS y Scott Crump funda la empresa Stratasys.

-1992: Stratasys patenta su tecnología de FDM.

Por primera vez se comercializa la máquina de impresión del tipo SLA (estereolitografía) creada por 3D Systems. Aunque los resultados no fueron perfectos, demostró que piezas de gran dificultad podían ser fabricadas.

-1993: Un grupo de estudiantes del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) inventan la impresión 3D por inyección (3DP).



Figura I.1. Recorte del periódico cuando Carl Deckard inventó la técnica SLS

## I. Introducción

---

-1995-1996: Z Corporation (ahora parte de 3D Systems) se hace con los derechos de la 3DP y comercializan su primera impresora basada en la tecnología 3DP.

-1999: Se produce un gran avance en el campo de la medicina, ya que se implantaron en



**Figura I.2. Vejiga urinaria a la cual se le aplica un recubrimiento sintético creado con las células madre de la misma persona**

humanos los primeros órganos fabricados en laboratorios gracias a la tecnología de impresión 3D, donde se utilizaba un recubrimiento sintético con sus propias células y así el riesgo de rechazo es prácticamente nulo. Gracias a esta tecnología utilizada por los científicos del Instituto de Wake Forest de Medicina Regenerativa, abrió las puertas al desarrollo de otras estrategias para la creación de órganos en la ingeniería, el cual pasaba por la impresión de los mismos.

-2000: MCP Technologies desarrolla la tecnología de fusión selectiva por láser (SLM).

-2002: El Instituto de Medicina Regenerativa de la Universidad de Wake Forest imprime el primer órgano en 3D, un riñón completamente funcional y con la capacidad de filtrar sangre y producir orina diluida en un animal.

-2005: Z Corporation lanza el primer equipo de impresión 3D capaz de trabajar en color a alta definición. Y el Dr. Adrian Bowyer funda RepRap, en la Universidad de Bath, una iniciativa de código abierto para construir una impresora 3D que pueda imprimir la mayoría de sus propios componentes, con el fin de democratizar la fabricación de unidades de distribución de bajo coste RepRap a las personas de todo el mundo, lo que permite crear productos a diario por su cuenta.

-2006: Se construye la primera impresora tipo SLS. Object crea una impresora capaz de imprimir en múltiples materiales, incluyendo polímeros y elastómeros. Y gracias al proyecto Fab@Home, de la universidad Cornell, se crea la primera impresora 3D de código abierto, conocido como Open Source Hardware.

# I. Introducción

---

-2008: El proyecto RepRap lanza "Darwin", la primera impresora auto replicante que puede imprimir la mayoría de sus componentes. También este año se imprime la una prótesis 3D, la cual incluía la rodilla, el tobillo y el pie.

-2009: Industrias MakerBot, una compañía de hardware de código abierto comercializa kits de montaje que permite fabricar tu propia impresora 3D. Y también llega la bio-impresión, que utiliza una bio-impresora 3D para imprimir el primer vaso sanguíneo.

-2010: Los ingenieros de la Universidad de Southampton diseñaron el primer avión no tripulado impreso en 3D, que construyeron en 7 días y con un presupuesto de 7000€.

-2011: Kor Ecologic presenta "Urbee", el primer prototipo de coche con su estructura completamente fabricada por una impresora 3D. La universidad de Cornell comienza a construir una impresora 3D para alimentos. Y la empresa Materialise ofrece un servicio de impresión 3D de oro de 14 Kilates y plata de ley.

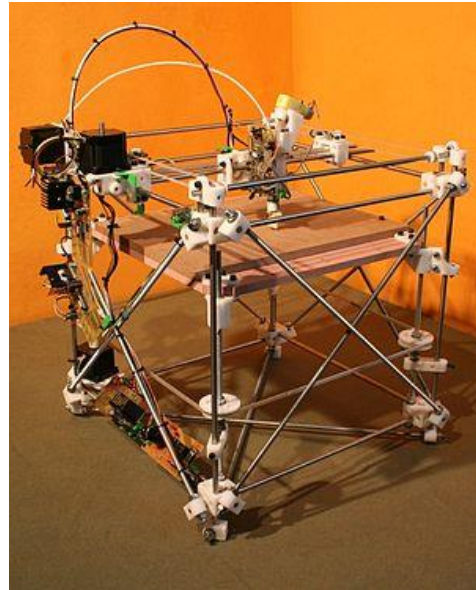


Figura I.3. Impresora RepRap versión 1.0 "Darwin"



a)



b)

Figura I.4. a) Mandíbula inferior impresa en 3D por LayerWise, b) Prototipo Urbee

# I. Introducción

---

-2012: LayerWise realiza el primer implante de mandíbula inferior impresa en 3D. Y Essential Dynamics muestra “Imagina”, su impresora 3D de chocolate.

-2013: Defense Distributed lanza “The Liberator”, la primera arma de fuego impresa en 3D. Robohand crea la primera prótesis de mano. Y en Holanda se imprime una quijada 3D que se implantó en una mujer mayor.



**Figura I.5. The Liberator, primera arma de fuego impresa en 3D.**

-2014: Un año con muchas innovaciones donde

Stanmore Implants fabrica un modelo a medida de una pelvis en 3D. Grace Choi inventa la impresora 3D de maquillaje. Amazon abre su tienda de impresión 3D. La NASA envía a la ISS “ZeroG”, la primera impresora 3D capaz de crear objetos en ausencia de gravedad.

-2015: Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co. difunde su sistema de impresión 3D “Atlas”, capaz de construir casas. Construyen una réplica del Shelby Cobra con una impresora 3D, no es el primer vehículo impreso, pero si podemos decir el primero que se obtiene un perfecto resultado.



**Figura I.6. Replica del Shelby Cobra realizada mediante impresión 3D**

-2016-Actualidad: En este último año se han conseguido muchos avances en la impresión 3D. Y se han recopilado datos de que, en 2011, 108.000 impresoras fueron vendidas en todo el mundo, en 2015 fueron vendidas 214.000 y se estiman unas ventas para 2020 de más de 2.3 millones de ventas mundiales. (Escobar, 2013) (Austin, 2012) (CAPGC, 2016)

# I. Introducción

## I.2. FUNCIONAMIENTO Y TIPOS.

El procedimiento básico a la hora de realizar una impresión se puede dividir en 6 etapas:



Figura I.7. Procedimiento impresión 3D

Ahora que ya conocemos un poco la evolución de la impresión 3D y su procedimiento básico, vamos a numerar y explicar el funcionamiento de los diferentes tipos de impresoras 3D que existen, separándolas en función de la tecnología usada para su impresión.

Se dividen en cinco grupos y dentro de cada grupo tenemos diferentes tecnologías.

# I. Introducción

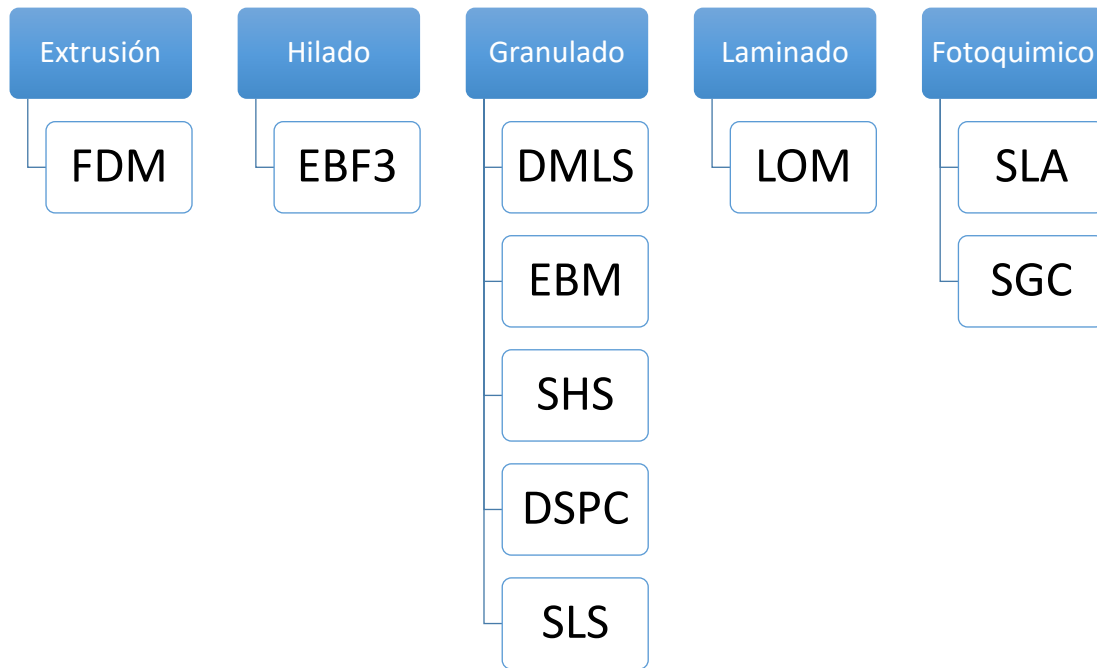


Figura I.8. Esquema de las diferentes tecnologías de impresión 3D (Wikipedia, 2017)

A continuación, se van a explicar el funcionamiento de cada grupo y sus tipos.

## I.2.1. IMPRESIÓN POR EXTRUSIÓN

Este tipo de impresora es llamado así porque para realizar la impresión utiliza un cabezal, llamado extrusor, que es el encargado de traccionar el filamento de la bobina y depositarlo sobre la superficie de impresión, cámara caliente, de forma precisa y acorde a los parámetros establecidos a través del archivo GCODE.

Existen dos tipos de extrusiones en función de donde están colocados los elementos, extrusión directa y extrusión Bowden.

El método de extrusión directa es el más simple y efectivo, y uno de los más recomendados para iniciarse en la impresión 3D.

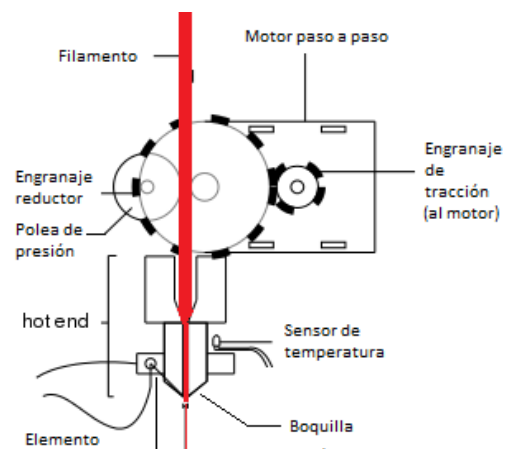
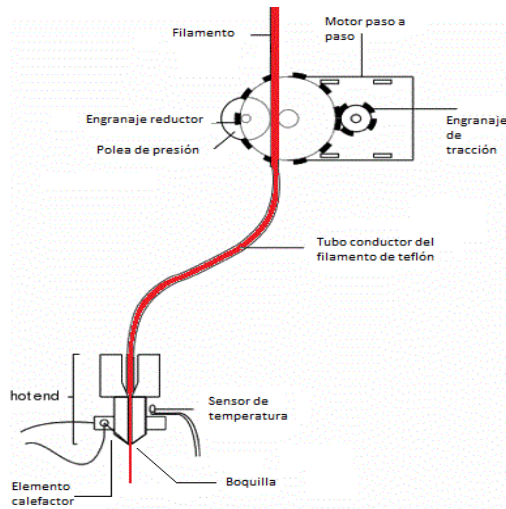


Figura I.9. Sistema de Extrusión Directa

# I. Introducción

El extrusor es una sola pieza desmontable. El filamento pasa de forma directa desde el motor paso a paso hasta la boquilla pasando por el hotend.

El metodo de extrusión Bowden es muy similar al de extrusión directa en cuanto a los



elementos y su funcionamiento, el unico cambio es que el motor esta separado del hotend y el filamento se lleva hasta el carro del eje X mediante una tuberia flexible. Se denomina Bowden ya que en inglés este termino se refiere a la funda de los cables de freno de las bicicletas y esa es la característica principal del sistema. Al separar el motor del hotend, se consigue disminuir considerablemente el peso del extrusor. (Aula BQ, 2014)

Figura I.10. Sistema de Extrusión Indirecta

(Aula BQ, 2014)

## I.2.1.1. MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)

Esta tecnología fue introducida por Scott Cramp en 1988 bajo el FDM y que posee la patente la empresa Stratasys, por ello nació otra paralela que es igual y es la tecnología FFF. Por lo tanto, este tipo de tecnología puede ser llamada igualmente con las siglas FFF o FDM.

La primera parte del proceso se basa en pasar el filamento por el extrusor y convertirlo en semi-líquido para depositarlo capa a capa en la cámara caliente, formando así la pieza deseada.

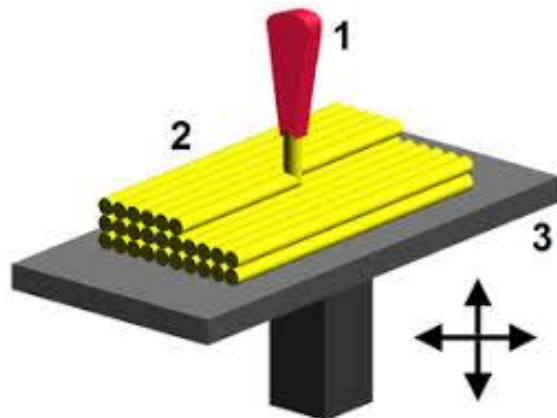


Figura I.11. Proceso de impresión con la tecnología FDM

## I. Introducción

---

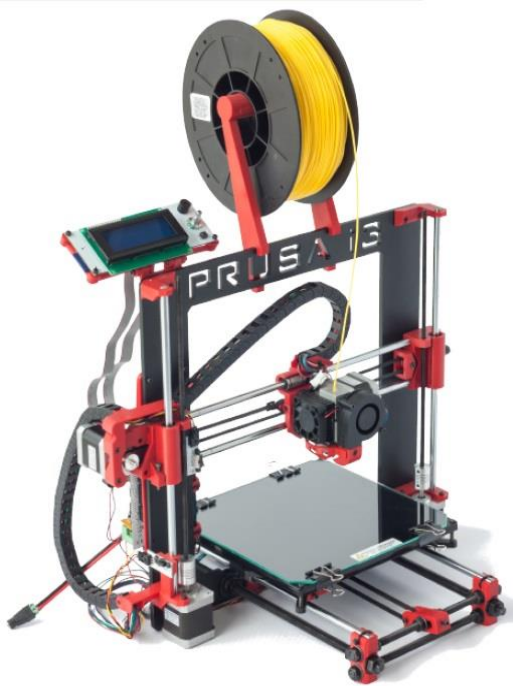


Figura I.12. Impresora 3D Prusa I3

Esta técnica es una de las técnicas más comunes de impresión 3D, sobre todo a nivel doméstico ya que se pueden conseguir resultados muy buenos con un precio muy bajo y una forma muy sencilla de impresión. Una de las impresoras más conocidas con este tipo de impresión es la Prusa I3 fabricada por BQ.

Gracias a esta impresora que posee un software libre, muchas empresas asiáticas han hecho replicas de este modelo, cosa que nos permite a cualquiera adquirir una impresora 3D con la tecnología FDM por tan solo 150€, como por ejemplo la impresora Anet A8.

Para imprimir objetos geoméricamente complicados, es necesario crear soporte, con el fin de mantener una estructura sólida durante el proceso de impresión. Estos soportes los crea el programa de forma automática o de forma manual si lo deseamos.

Normalmente son del mismo material que la pieza y después se realiza un post-procesado para retirarlos, pero para conseguir un mejor acabado, muchas impresoras poseen un doble extrusor que permite imprimir con dos materiales, un material con el que se fabrica la pieza y el otro con el que se fabrican los soportes, los cuales posteriormente se pueden retirar con agua, detergente o alcohol. Con ello se agiliza el proceso y se consigue un mejor acabado.



# I. Introducción

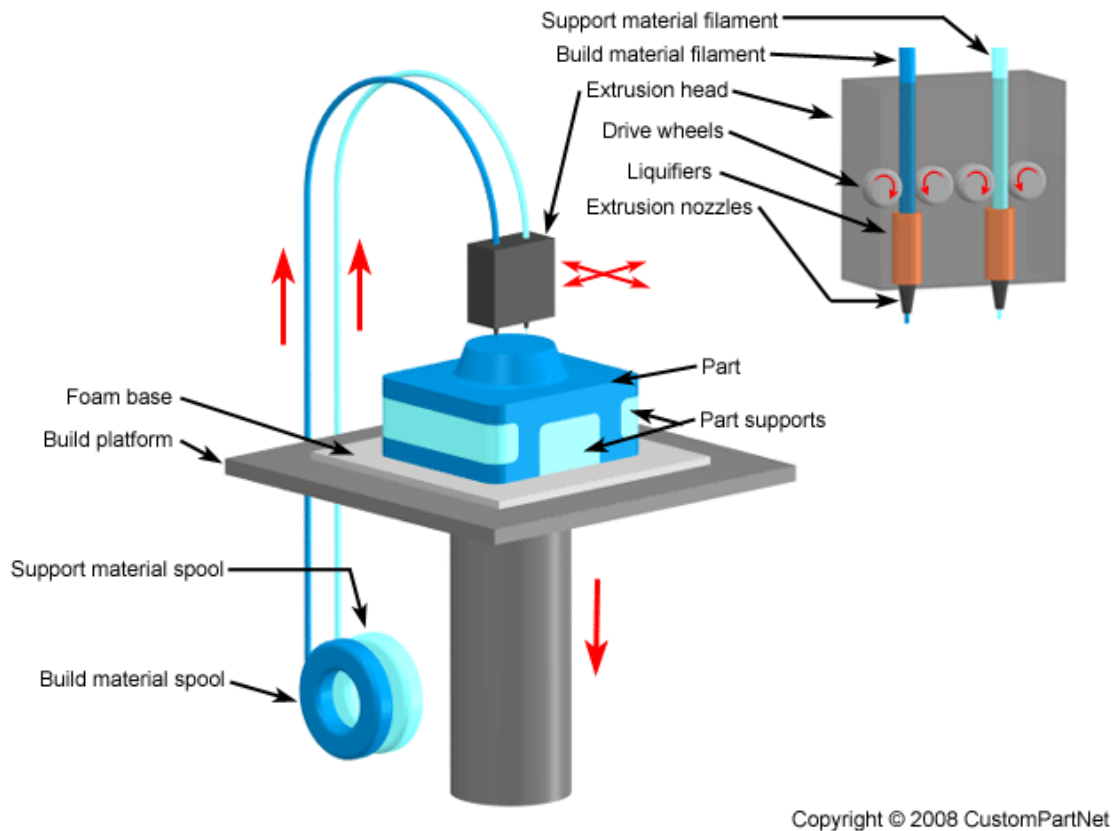


Figura I.13. Esquema impresora 3D con doble extrusor

Los materiales que puede usar este tipo de impresora deben de cumplir con una serie de especificaciones para ser usados en un entorno óptimo, por ejemplo, disponer en filamentos flexibles, que sean semi-flexibles en un rango de temperaturas que la impresora pueda alcanzar la impresora y que se solidifiquen en tiempo adecuado para que no sea un proceso muy lento. Actualmente hay una gama muy amplia de materiales que las impresoras FDM pueden admitir, la mayoría de ellos son termoplásticos, y se continúa investigando para obtener más posibilidades.

Como son: Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) Poliacido láctico (PLA), Poliestireno de alto impacto (HIPS), Alcohol de polivinilo (PVA), Nylon de Taulman, Policaprolactona (PCL), Polifenilsulfona (PPSU), Polieterimida (PEI), Policarbonato, Ceras, Chocolate. (Collado Fernandez, 2016, pág. 18)

# I. Introducción

---

## I.2.2. IMPRESIÓN POR HILADO

### I.2.2.1. FABRICACIÓN POR HAZ DE ELECTRONES (EBF3)

Esta técnica es desarrollada por la NASA y se basa en la utilización de un haz de electrones para realizar las sucesivas capas que forman la pieza.

El procedimiento EBF3 se realiza en una cámara de vacío donde un haz de electrones se enfoca hacia un alambre de metal, creando un baño de fusión. El metal fundido se solidifica inmediatamente, tras la aplicación del haz de electrones, contando con la resistencia estructural suficiente para mantenerse en su posición y soportar más capas. La secuencia se repite siguiendo las trayectorias de deposición establecidas y mediante la superposición de capas se forma la pieza deseada.

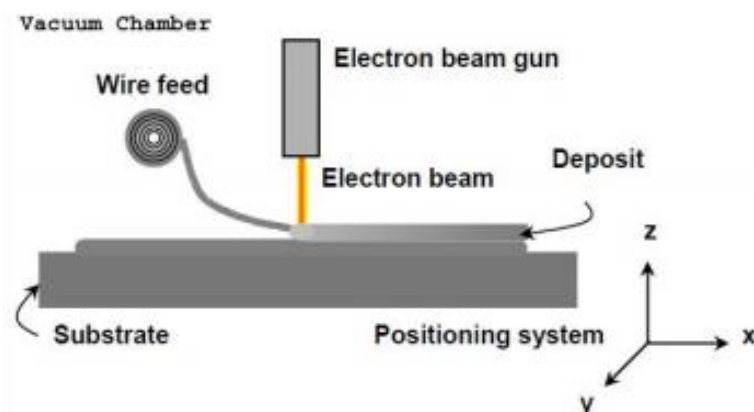


Figura I.14. Proceso de la técnica EBF3

Cabe destacar que el EBF3 es capaz de manejar dos fuentes distintas de material de alimentación, siendo capaz de proceder a su mezcla en una aleación única o incluyendo un material dentro de otro. Por ejemplo, esta potencialidad permite incluir un filamento de fibra óptica de vidrio dentro de una parte de aluminio. Gracias a esto, sería posible colocar sensores en zonas en las cuales antes era imposible hacerlo.

El potencial más importante e inmediato de este avance se ubica en el terreno de la industria de la aviación. Los materiales que se pueden utilizar son muy amplios ya que se puede utilizar casi cualquier tipo de aleación, por ejemplo, de titanio, tungsteno, níquel y otros. (Piacente, 2009)

# I. Introducción

## I.2.3. IMPRESIÓN POR GRANULADO

Otro método en la impresión 3D es la fusión selectiva de los materiales en un lecho granular. Este método utiliza el material no fusionado como apoyo de los pilares y estructuras necesarias para la pieza que está siendo producida, lo que reduce considerablemente el número de soportes auxiliares en la pieza. Se utiliza un láser para sinterizar los materiales en un sólido.

Este tipo de impresoras 3D son conocidas como impresoras por láser o impresoras de polvo.

### I.2.3.1. SINTERIZADO DE METAL POR LÁSER (DMLS)

Esta tecnología permite la fabricación de piezas complejas a partir de polvos metálicos. Las piezas se fabrican capa a capa, igual que los métodos anteriores.

El polvo metálico pasa a ser una pieza sólida mediante un proceso de sinterización selectiva mediante la aplicación de un láser que sigue la geometría especificada con anterioridad a la impresora del fichero 3D. Una vez se ha realizado una capa, la pieza, que está situada sobre una plataforma, desciende verticalmente la distancia especificada por capa y un deslizador añade más polvo sobre la superficie y así sucesivamente hasta que se fabrica la pieza completa. (Stratasys, 2017)

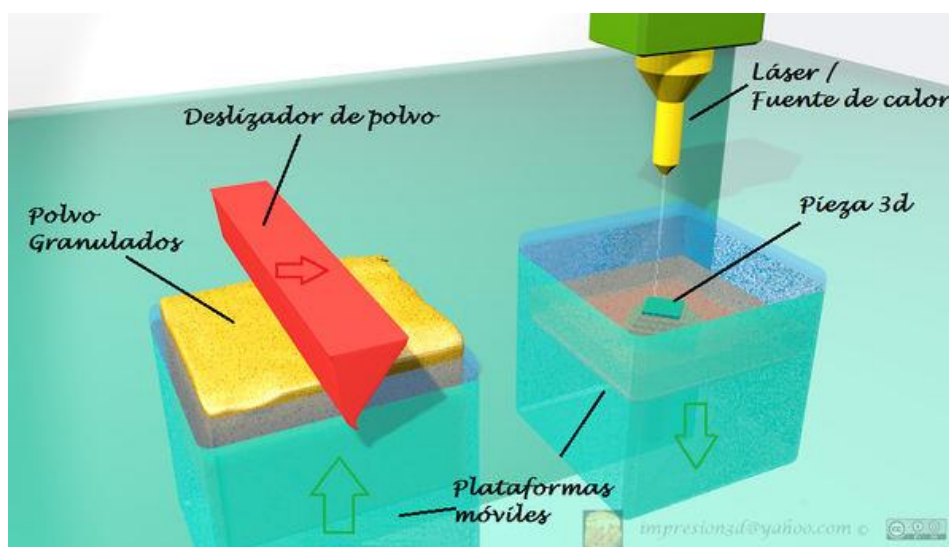


Figura I.15. Esquema impresora 3D mediante la tecnología DMLS

# I. Introducción

Los materiales que se pueden utilizar son cualquier tipo de aleación, pero normalmente se usa para acero inoxidable, acero para herramientas, cobalto-cromo, etc.

## I.2.3.2. FUSIÓN POR HAZ DE ELECTRONES (EBM)

Actualmente solo la empresa Arcam fabrica y comercializa este tipo de tecnología, que tiene el mismo fundamento principal que la anterior, el material en forma de polvo que se deposita a capa a capa y se va sinterizando. Pero el cambio se produce es la fuente de energía para sinterizarlo, ya que la técnica EBM no utiliza un láser sino un haz de electrones como su propio nombre indica y que el proceso se produce totalmente al vacío para garantizar el buen funcionamiento del haz de electrones y evitar que el polvo no se oxide durante el calentamiento.



Figura I.16. Impresora ARCAM Q20

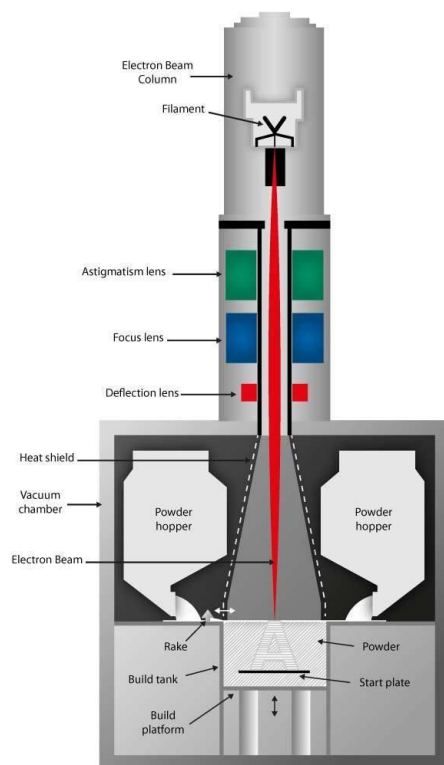


Figura I.17. Esquema impresora 3D con la tecnología EBM

El funcionamiento del haz de electrones se basa en un filamento de tungsteno que se calienta al vacío y libera electrones que son partículas elementales cargadas eléctricamente. Estas partículas son aceleradas y dirigidas por electroimanes para ser proyectadas a alta velocidad sobre la superficie donde se encuentra el polvo y sinterizarlo, y así sucesivamente hasta que se construye la pieza. Una vez construida, se retira del interior de la máquina y se elimina con un soplador los restos de polvo.

# I. Introducción

---

Todos los metales no magnéticos pueden ser procesados con esta tecnología. Los materiales más utilizados son aleaciones de titanio, Titanio Ti6Al4V, Titanio Grado 2 y de cromo-cobalto. (Sanchez, 2015) (MDF, 2011)

## **I.2.3.3. SINTERIZADO SELECTIVO POR CALOR (SHS)**

Igual que los métodos anteriores la materia está en forma de polvos, pero en este caso no son metales, son polvos termoplásticos y se consigue su fusión mediante la aplicación de calor hasta conseguir el objeto sólido.

La sinterización se realiza mediante el uso de una cabeza de impresión térmica que aplica calor al polvo capa a capa: Cuando ha calentado una capa la base donde se encuentra la pieza se desplaza hacia abajo y un rodillo añade una capa de polvo, el proceso se repite hasta conseguir el objeto deseado.

La impresora 3D con la tecnología SHS es la BluePrinter M2



**Figura I.18. Impresora BluePrinter M2 SHS**

Los materiales que se pueden utilizar están limitados a aquellos termoplásticos que se puedan suministrar en polvo y sean capaces de sinterizarse a la temperatura que la impresora puede alcanzar. (BluePrinter3D, 2011)

# I. Introducción

## I.2.3.4. SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS)

Esta técnica es la más utilizada para la impresión de polímeros dentro de la impresión por granulado. La impresora más conocida con este método es la EOS.

Al igual que en las anteriores tecnologías de granulado, el material se encuentra en polvo. Para solidificar el polvo se utiliza un láser generador de calor de CO<sub>2</sub>, que va solidificando capa a capa el modelo virtual de CAD anteriormente cargado.

El láser hace aumentar la temperatura del polvo fusible y de esta manera las partículas acaban formando una masa sólida. El polvo que no se ha sinterizado sirve de soporte para las siguientes capas y una vez se ha completado el objeto, se retira el polvo no solidificado, que se reutiliza para la fabricación de otras piezas.

Una de las grandes ventajas es que no necesita soportes adicionales, ya que el polvo actúa como tal. Y otra gran ventaja es que no se necesita un post-procesado.

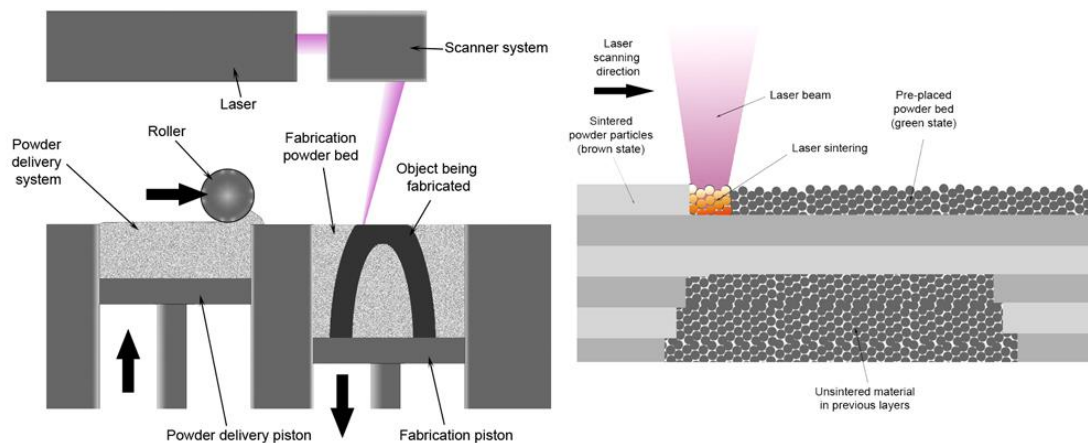


Figura I.19. Esquema impresión 3D con la tecnología SLS

Con esta tecnología se consiguen mejores resultados que con la FDM de un solo extrusor, pero es más costosa y no está al alcance de todos para poder tenerla en el hogar. Se usa para la fabricación de prototipos en empresa o maquetas para arquitectura.

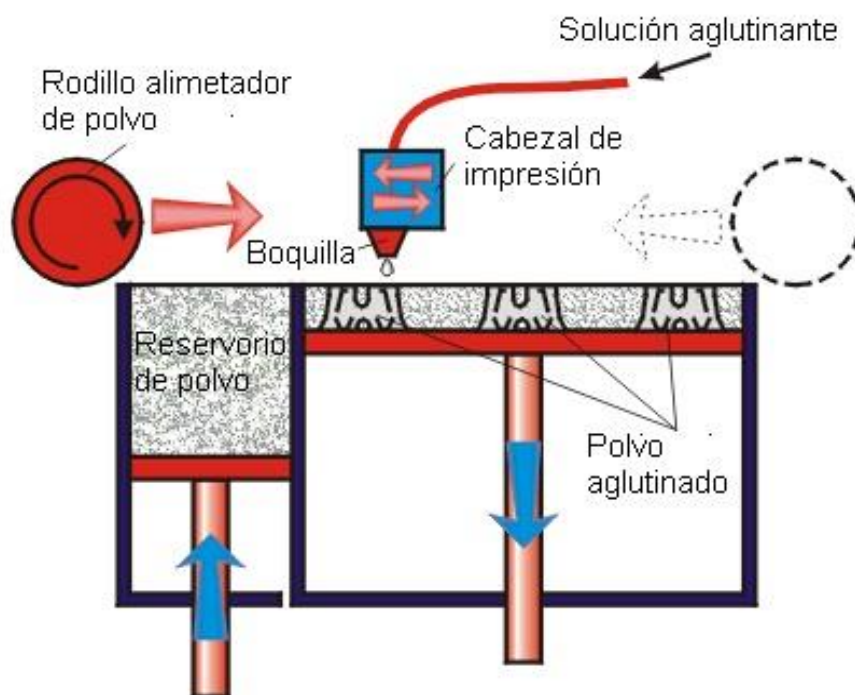
Dispone de un amplio rango de materiales con el que trabajar, como son, termoplásticos, polvos metálicos, polvos cerámicos: Poliamida + Al, Poliamida + Fibra de vidrio, Poliamida + Fibra de Carbono. (Orpi, 2015)

# I. Introducción

## I.2.3.5 PROYECCION AGLUTINANTE (DSPC)

Esta tecnología trabaja con el material en polvo y para la unión del mismo, utiliza la adición de un material aglutinante a través de una boquilla que desprende pequeñas gotas. También conocida como 3DP o impresión por tinta y permite la impresión en varios colores.

Primero se deposita una capa de polvo fino a través de un rodillo sobre la plataforma de construcción. Seguidamente, un cabezal de impresión deposita aglutinante siguiendo la trayectoria definida para cada capa. Al acabar una capa, la plataforma desciende y el rodillo extiende más polvo y se repite el proceso hasta terminar la pieza.



I.20. Esquema impresión 3D con tecnología DSPC

Un inconveniente de esta tecnología es que no permite crear objetos muy robustos y los materiales son muy limitados. Un ejemplo de los más usados es el yeso o la escayola. (Mariano, 2013)

# I. Introducción

---

## I.2.4. IMPRESIÓN POR LAMINADO

### I.2.4.1 LAMINADO DE CAPAS (LOM)

La técnica LOM se basa en el uso de un material laminar recubierto con adhesivo, que se corta con la forma deseada y se prensa con un rodillo caliente, quedando adherida a la hoja precedente. Un láser corta el contorno de la pieza en cada capa. Cuando finaliza el corte de la capa, la plataforma desciende una profundidad igual al espesor de la chapa, y otra hoja se coloca en la parte superior de las capas previamente depositadas. La plataforma se eleva ligeramente y el rodillo caliente aplica presión para unir la nueva capa. El láser corta el contorno y el proceso se repite hasta que se completa la pieza.

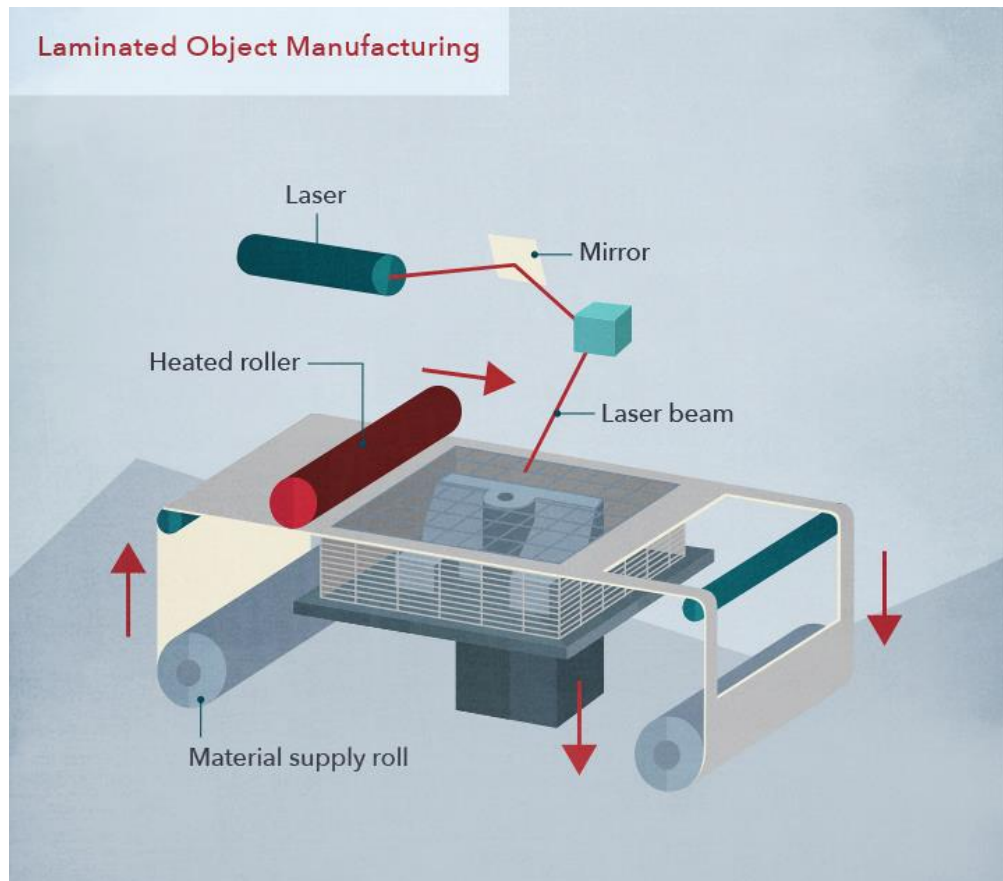


Figura I.21. Esquema tecnología LOM

Los materiales más usados son papel de estraza, Poliéster, Plásticos, Cerámica y Materiales Compuestos. (CustomMade, 2014)



# I. Introducción

---

## I.2.5 IMPRESIÓN POR FOTOQUIMICO

### I.2.5.1. ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

Es la primera tecnología por la cual se crearon piezas en impresoras 3D. Se basa en la fotosolidificación que se fundamenta en curar y solidificar un material fotopolimérico en estado líquido empleando un láser UV.

Es el mismo principio que la tecnología SLS, pero el material se encuentra en forma líquida o de resina. Un haz láser computarizada proyecta un rayo UV sobre el baño de resina y se solidifica. Una vez realizada una capa, la plataforma desciende y va solidificando capa a capa hasta conseguir el resultado deseado.

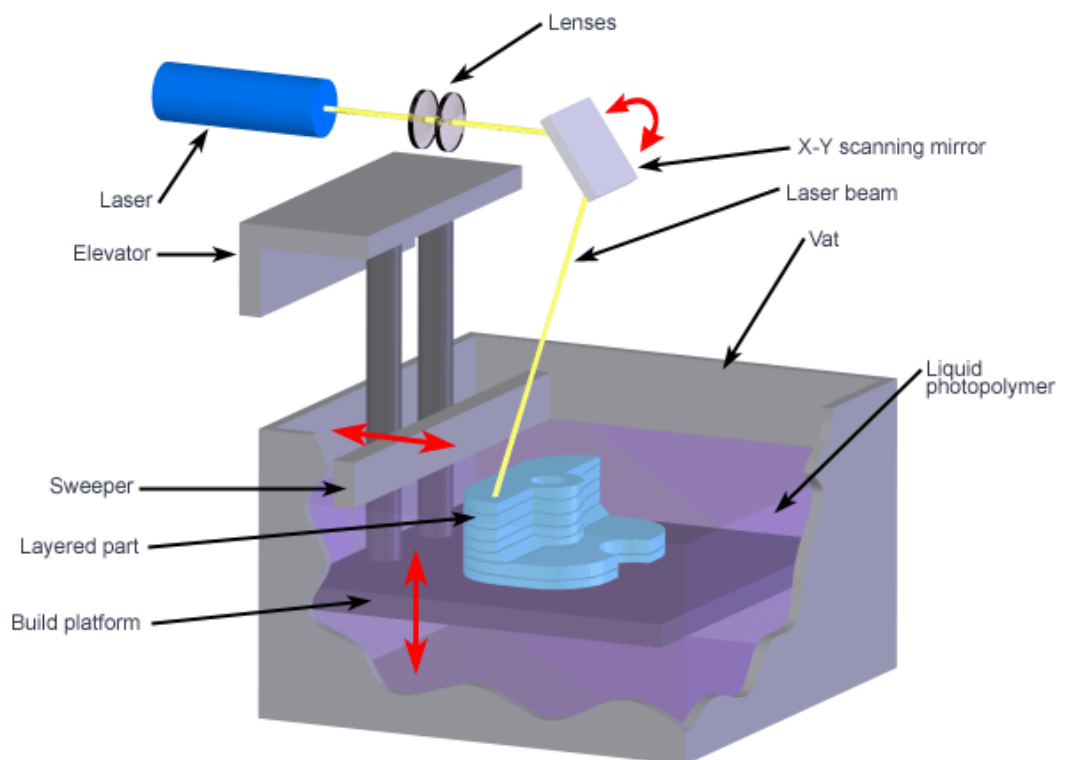


Figura I.22. Esquema tecnología SLA

## I. Introducción

---

Se usa para la fabricación de joyas, dental y maquetas. Los materiales que se pueden utilizar en este tipo de tecnología son las resinas fotopoliméricas. Cada fabricante realiza sus propias resinas. (Collado Fernandez, 2016, pág. 11)

### I.2.5.2 FOTOPOLIMERIZACIÓN ULTRAVIOLETA (SGC)

El funcionamiento de la tecnología se basa en generar sección sobre la pieza con un software específico que digitaliza las imágenes y que más tarde son plasmadas mediante iconografía sobre una placa de vidrio y revelada mediante un tóner electrostático, creando una máscara con el perfil. Un rayo UV incide a través de la máscara sobre la resina y solidificando la zona donde incide la luz. Y se repite el proceso capa a capa añadiendo resina cada vez que hace una capa hasta completar la pieza.

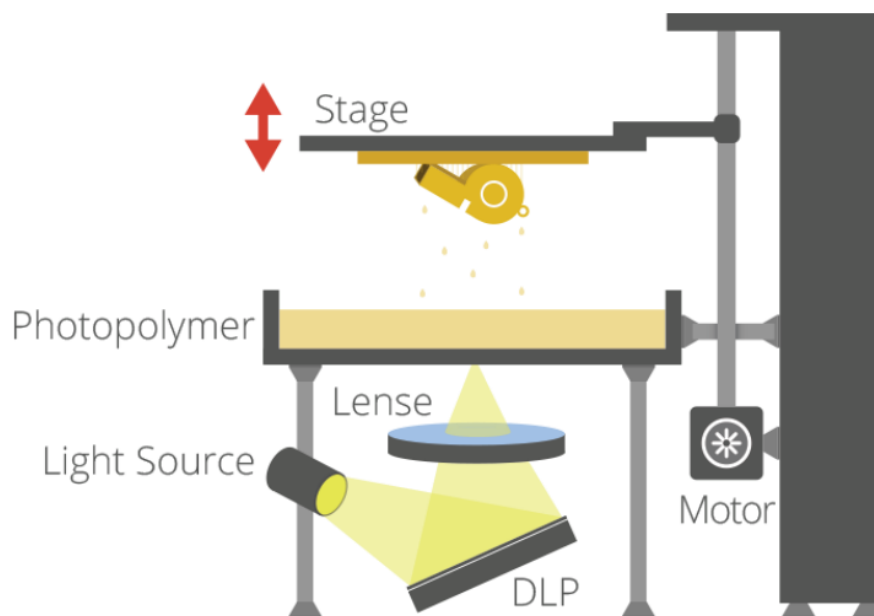


Figura I.23. Esquema impresión 3D con la tecnología SGC

La gama de materiales que se pueden utilizar se resume a resinas fotopoliméricas. Una gran ventaja es la robustez de las piezas en comparación con otras tecnologías, pero el inconveniente que es solo de uso comercial ya que se necesita de un gran espacio para su utilización. (Collado Fernandez, 2016, pág. 12)

# **I. Introducción**

---

## **I.3. MATERIALES.**

Ya se han descrito las técnicas de impresión 3D, pero no todas ellas son utilizadas por igual. La técnica de adición de polímeros (FDM) y las técnicas de sinterización por láser (SLS y SLA) son las más utilizadas en todo el mercado. Siendo la técnica de adición (FDM) la más utilizada por excelencia gracias a la gran versatilidad que tiene y su gran facilidad de utilización, aunque con las técnicas de sinterización por láser se consigan mejores resultados.

Por ello y por ser la técnica que se va a utilizar para imprimir las piezas de este proyecto se van a nombrar y describir brevemente los materiales que se pueden utilizar con la impresión 3D con la técnica de adición de polímeros.

### **Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)**

Es uno de los polímeros más usados en la impresión 3D. Tiene buenas propiedades físicas como la tenacidad, dureza y rigidez, pero sufre con la exposición a rayos UV. Es soluble en acetona. Un ejemplo de este material, son las piezas de LEGO. Se utiliza para elementos mecánicos, piezas de automatización, piezas industriales, y elementos decorativos.

Requiere una temperatura en el cabezal de unos 240°C y 110°C en la bandeja. Su precio aproximado para una bobina de filamento ABS básico de 1 Kg es de 18€

### **Poliácido láctico (PLA)**

Junto con el ABS es el plástico más usado para la impresión 3D. Más sencillo de usar, biodegradable y normalmente se obtiene de almidón de maíz. Con tacto más rugoso que el ABS, pero más brillante y mejor acabado en las zonas estrechas o esquinas. Se puede encontrar en una amplia gama de colores, desde el crudo natural hasta dorados y plateados. Se utiliza para elementos decorativos, figuras, maquetas, etc.

Requiere una temperatura en el cabezal de unos 210°C y 60°C en la bandeja. Su precio aproximado para una bobina de filamento PLA básico de 1 Kg es de 16€.

# **I. Introducción**

---

## **Poliestireno de alto impacto (HIPS)**

Es un material muy parecido al ABS, pero tiene la capacidad de ser disuelto de forma completa con la aplicación de D-Limoneneo, un líquido a base de agua y carbono. Por ese motivo se utiliza a veces como soporte.

Requiere una temperatura en el cabezal de unos 235°C y 110°C en la bandeja. Su precio aproximado para una bobina de filamento de 750 g es de 23€.

También existe un filamento de HIPS con fibra de carbono y grafeno, su precio es de 86 € por una bobina de 350 g.

## **Alcohol de polivinilo (PVA)**

Es un polímero sintético con alta resistencia a la tracción y alta flexibilidad. Pero su uso para la impresión 3D está limitada a ejercer como soporte, ya que es capaz de disolverse en agua.

Requiere una temperatura en el cabezal de unos 170°C. Su precio aproximado para una bobina de filamento de 300 g es de 33€.

## **Nylon de Taulman**

Es un compuesto formado por un elastómero termoplástico con una base de nylon. Esta combinación lo hace altamente flexible y con acabado superficial muy suave.

Requiere una temperatura en el cabezal de unos 230°C y 45°C en la cama. Su precio aproximado para una bobina de filamento de 450 g es de 36€.

## **Filaflex**

Este material es un TPE (Termoplástico elastómero) con una base de poliuretano y ciertos aditivos. Con este material podemos conseguir piezas elásticas. Se utiliza para elementos protectores, pulseras, elementos decorativos, etc.

Requiere una temperatura en el cabezal de unos 230°C. Su precio aproximado para una bobina de filamento de 500 g es de 30€.

# I. Introducción

---

## **Tereflato de polietileno (PET)**

Es un material utilizado en envases de bebida y alimentos. Se caracteriza por ser reciclable y su cristalinidad. También existe filamento PET hecho de botellas recicladas.

Requiere una temperatura en el cabezal de unos 220°C y 60°C en la cama. Su precio aproximado para una bobina de filamento de 1 Kg es de 29€.

## **CarbonFil**

Este filamento es basa en una mezcla de HDglass reforzado con 20% de fibra de carbono, lo que da lugar a un filamento de fibra de carbono muy rígido.

Requiere una temperatura en el cabezal entre 240°C y 265°C. Su precio aproximado para una bobina de filamento de 500 g es de 37€.

También existe otro filamento de fibra de carbono, llamado XT-CF20 creado por ColorFabb y tiene un precio de una bobina de 750 g por 50€

Estos son algunos materiales más utilizados para la técnica de impresión 3D FDM, pero hay muchos más que solo nombraremos, como son: PCL, PPSU, PEE, PC, Ceras, Filamentos alimenticios (chocolate), Grafeno, Cerámicos y muchos más polímeros con cargas para variar sus propiedades. Hay muchas distribuidoras que comercializan filamentos experimentales, como por ejemplo la empresa ColorLabb, que vende una gran cantidad de bobinas de filamentos compuestos por cargas y PLA, son: WoodFill, CorkFill, BambooFill, CooperFill y BrasFill. (Colorfabb) (Filament2print)

# **I. Introducción**

---

## **II. OBJETIVOS**

# **OBJETIVOS**





## **II. Objetivos**

---

### **II.1. OBJETIVO GENERAL.**

Como se nombra en la introducción, con la rápida evolución que está sufriendo la impresión 3D y los grandes avances que está logrando no se sabe hasta dónde puede llegar este método de fabricación. Con el fin de saber más sobre la impresión 3D en el campo de los polímeros, se persigue el objetivo de saber si una impresora 3D puede sustituir a una máquina de inyección de plástico.

Analizando principalmente dos campos, el primero saber si podemos conseguir los mismos resultados visuales y de solidez de la pieza, para ello se imprimirán varias piezas por diferentes tecnologías de impresión 3D y después se escaneará para compararlas, y el segundo en función de la cantidad de producción necesaria, saber hasta que número de piezas sería más conveniente una tecnología u otra, para ello se hará un análisis económico.

### **II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.**

Con el fin de realizar el objetivo general, se definen los siguientes objetivos:

-Estudio y mejora de los conocimientos sobre las impresoras 3D, historia de la misma, tipos y funcionamientos.

-Capacidad de diseño de las piezas seleccionadas en 3D, con el programa SolidWorks, para su posterior impresión.

-Seleccionar los materiales idóneos para cada pieza en función de sus características de uso.

-Análisis y adquisición de conocimiento para la puesta en punto y configuración de una impresora 3D.

-Escaneo de las piezas impresas y su comparación con el archivo CAD de las piezas originales, mediante el programa CloudCompare.

-Realización de un estudio económico y evaluar si una impresora 3D es válida para la fabricación en serie de piezas poliméricas.

## II. Objetivos

---

A continuación, se muestra un diagrama de flujo donde se muestran las etapas que se siguen para la realización del trabajo con el fin de cumplir los objetivos.

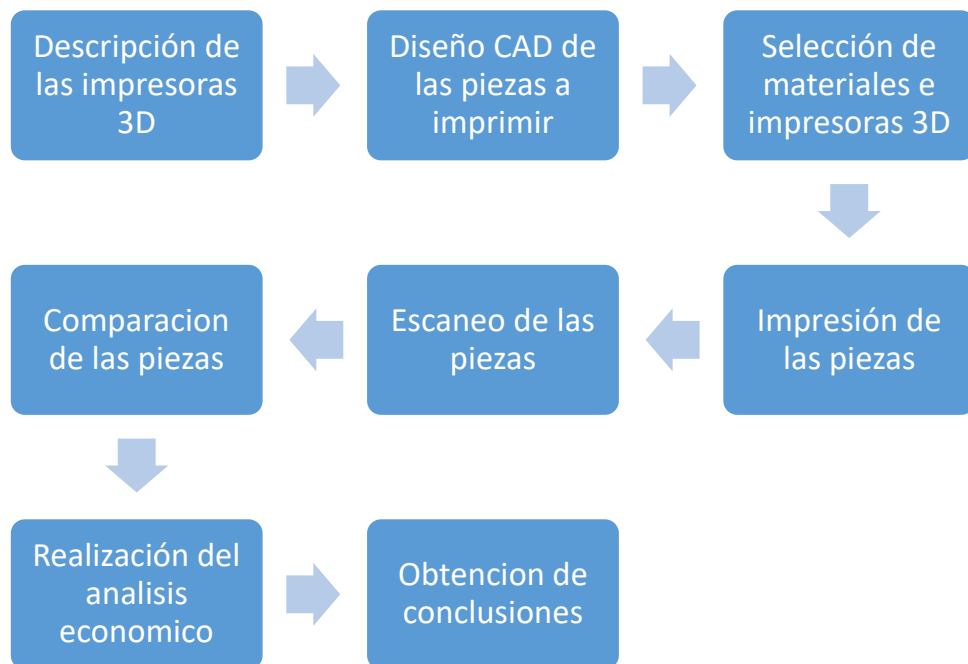


Figura II.1. Diagrama de flujo de las etapas del trabajo.

### **III. DESARROLLO PROYECTO**

**DESARROLLO  
PROYECTO**



## III. Desarrollo proyecto

---

### III.1. ELECCION DE LAS PIEZAS.

La primera parte es la elección de las piezas, serán 3 piezas diferentes para poder hacer un mejor análisis. Se buscan 3 piezas relacionados con la automoción, y más concretamente con el mundo del automóvil. Para su selección, se realiza una búsqueda de un gran número de piezas, mediante talleres, vehículos propios y por internet. Deben ser piezas que no tengan un gran tamaño, para que se puedan imprimir en la impresora 3D con la base más pequeña de 250x220 mm.

Tras realizar la búsqueda, se descartan piezas de una impresión muy sencilla, ya que se necesita una cierta dificultad en la geometría de la para comprobar si la impresora 3D es capaz de fabricarla correctamente. Como, por ejemplo, una carcasa muy plana o un mando. Y otras rechazadas por tamaño, por ejemplo, una grapa, un colector de admisión, embellecedores exteriores o por su puesto, un paragolpes, aunque con una impresora de grandes dimensiones podría ser impresa, pero en la universidad no disponemos de ninguna con esas características.

Finalmente, las tres piezas seleccionamos son: una tapa de un filtro de aceite de los motores 1.3 MultiJet de Fiat; una carcasa del mando del elevelunas del lado del conductor de la furgoneta Fiat Ducato y, por último; una parte de la carcasa de un conmutador de luces de un Peugeot 207.



Figura III.1 Imagen de la tapa del filtro de aceite original



a)



b)

Figura III.2. a) Imagen de la pieza original de la carcasa del mando elevelunas, b) Imagen original de la carcasa del conmutador de luces del Peugeot 207

### **III. Desarrollo proyecto**

---

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.2. DISEÑO PIEZAS.

Ya tenemos las piezas seleccionadas, por lo tanto, ahora tenemos que dibujarlas en 3D mediante el programa SolidWorks, ya que no disponemos de los archivos originales de las piezas.

La gran dificultad de dibujar la pieza es tomar las medidas correctamente para poder plasmar exactamente la misma pieza. Para hacer esto se utilizan diferentes métodos, la medida directa mediante un pie de rey o realizando una fotografía de un plano de la pieza para después trasladarlos a SolidWorks y obtener el perfil.

Las piezas se han realizado con la combinación de los dos métodos. Para la medición de las piezas con el pie de rey, en ocasiones se le han realizado a la pieza marcas o guías para poder tener referencias más exactas de donde tomar las medidas, estas referencias se han conseguido colocando hilos para marcar con una línea la mitad de la pieza y con otros hilos para marcar el centro de la pieza y más puntos de referencia que eran importantes para poder tomar medidas como se observa la imagen inferior izquierda. Y para realizar la fotografía, se ha creado una plantilla en un folio A4 para después tomar esas medidas como referencias a la hora de colocarlo en un plano en SolidWorks como se ve en la imagen inferior derecha.



Figura III.3. a) Pieza con hilo para tomar referencias para la medición y dibujo, b) Vista de la pieza para insertarla en SolidWorks para dibujar el contorno exterior.

### III. Desarrollo proyecto

A continuación, se va a describir brevemente mediante capturas el proceso de diseño mediante SolidWorks de las tres piezas.

#### III.2.1. SOPORTE INTERRUPTOR ELEVACIONES

La primera pieza por dibujar es la carcasa de soporte de los mandos del elevación, primero se realizan algunos bocetos y se toman medidas y a continuación se introduce el perfil de la pieza en un plano en SolidWorks, para con eso y las medidas tomadas obtener el perfil de la parte superior de la pieza como se observa en las imágenes. Después, se crea la parte inferior y sus orificios y pestañas. Y, por último, se hace la parte donde van colocados los mandos y se realizan todos los redondeos existentes de la pieza.

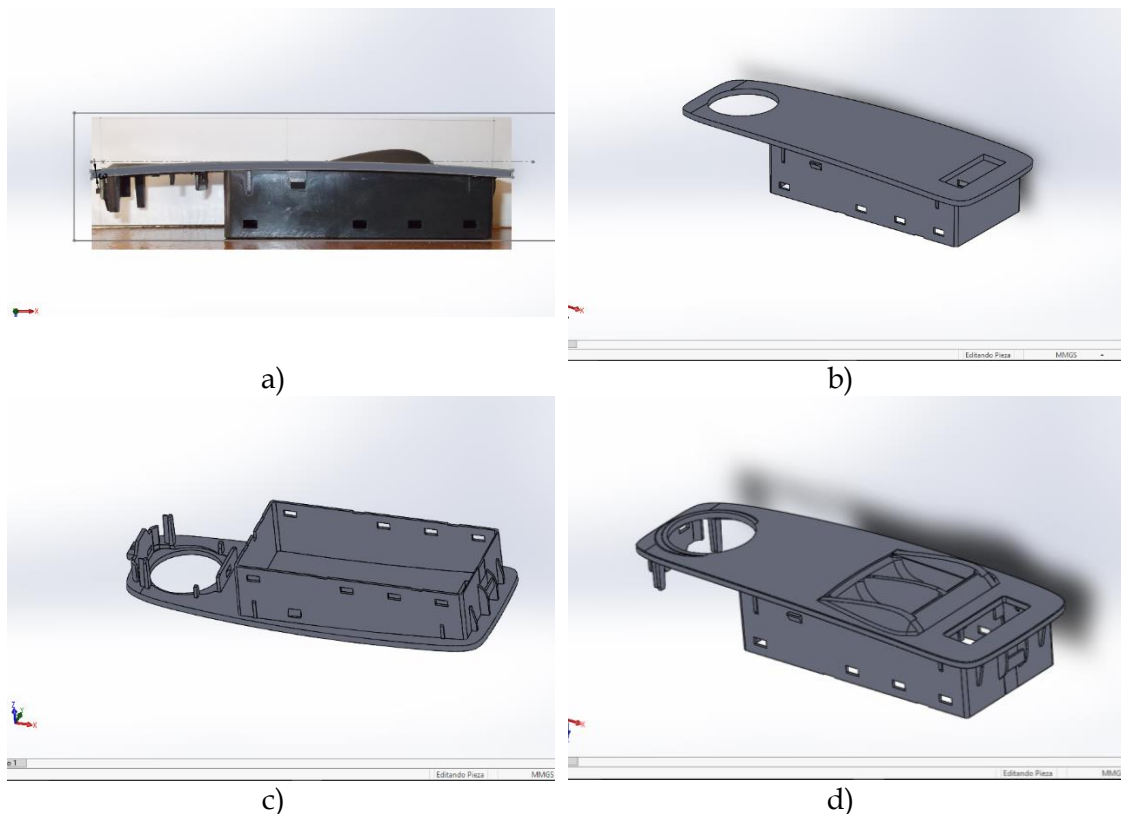


Figura III.4. a) Vista lateral de la pieza para conseguir el perfil lateral, b) Vista de la pieza después de extruir el cajetín de la parte inferior y hacer los orificios y pestañas del mismo, c) Vista de la pieza por la parte inferior una vez se han hecho y todas las pestañas, d) Vista de la pieza finalizada, después de crear el orificio donde van alojados los mandos.



## III. Desarrollo proyecto

### III.2.2. TAPA FILTRO DE ACEITE

La segunda pieza que dibujar es la tapa del filtro de aceite, lo que hace muy interesante a esta pieza es la rosca que posee, donde podremos evaluar si la impresora 3D la realiza de forma correcta.

El primer paso para dibujarla es hacer el perfil de la pieza y mediante una revolución y un vaciado conseguiremos gran parte de la pieza. Una vez tenemos la revolución, se hace la tuerca. Posteriormente se crean las pestañas interiores. Y, por último, se realiza la rosca, para ello se toman medidas del perfil de la rosca y se hace un barrido para obtener la rosca completa, los orificios de salida de aceite y se aplican los redondeos para dar por finalizada la pieza.

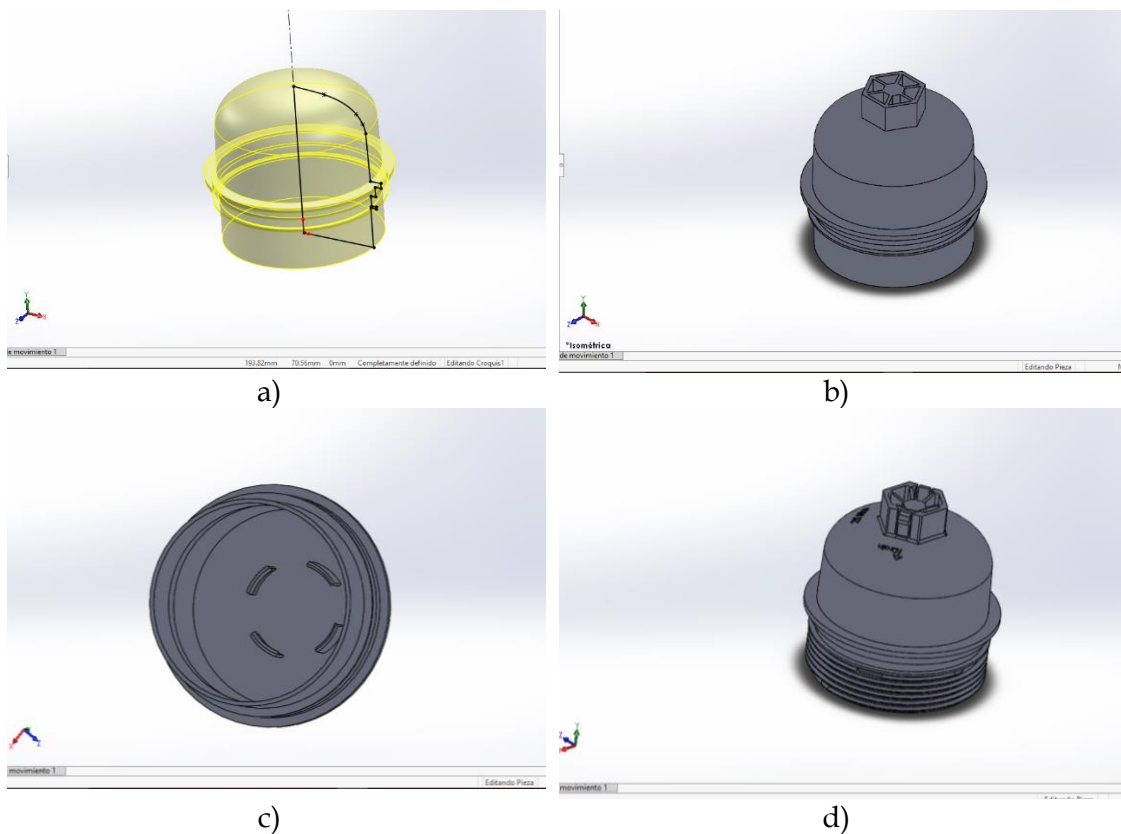


Figura III.5. a) Imagen de la pieza con el croquis del perfil realizada y la operación de revolución ejecutada, b) Imagen de la pieza después de crear la tuerca, c) Imagen de la pieza después de crear las pestañas interiores que sirven para el soporte del filtro de aceite, d) Imagen de la pieza finalizada, una vez se ha creado la rosca, los orificios de salida del aceite y los redondeos necesarios.

## III. Desarrollo proyecto

### III.2.3 CARCASA CONMUTADOR LUCES

La última pieza por dibujar es una de las partes de la carcasa del conmutador de luces. La más complicada de hacer de las tres por su gran número de detalles para encajar correctamente con la otra parte y por la dificultad en su toma de medidas.

El primer paso es dibujar la base para tomarla como referencia y a partir de ahí ir haciendo el resto de la pieza. Una vez tenemos la base, se realizan las paredes y los conectores mediante extrusiones. Y posteriormente se dibujan todos los detalles de la parte superior. Y, por último, se hacen todos los detalles de la parte trasera y los redondeos necesarios para dar por finalizada la pieza.

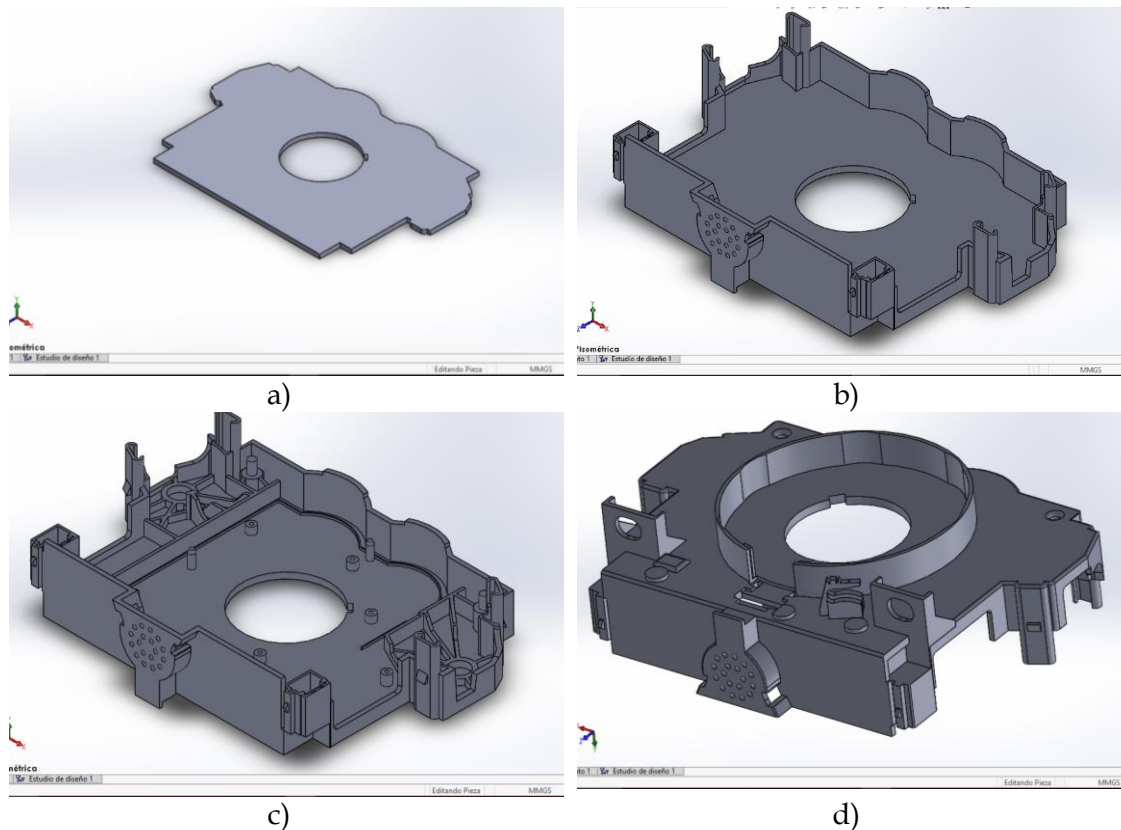


Figura III.6. a) Imagen de la base del conmutador, b) Imagen del conmutador una vez se han creado las paredes y los conectores, c) Imagen de la pieza una vez extruidas todos los detalles de la parte delantera, d) Imagen de la pieza finalizada después de realizar la parte trasera y aplicar todos los redondeos.

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.3. SELECCIÓN DE LOS MATERIAES E IMPRESORAS 3D.

Para la impresión de las piezas se van a utilizar tres impresoras, una de mayor precio y mayor calidad, una de menor precio y menor calidad y por último una de precio y calidad intermedia entre las dos.

La impresora de menor precio es la XYZ DaVinci 1.0 valorada en 850 €, es una impresora 3D con la tecnología FDM, con un volumen de impresión de 20 x 20 x 20 cm y con un extrusor simple.



Figura III.7. Impresora 3D XYZ DaVinci 1.0

### III. Desarrollo proyecto

---

La otra impresora 3D que se va a utilizar es de una las marcas más conocidas por ser de software libre, se trata del fabricante BQ y su famosa impresora Prusa.

La impresora 3D Prusa I3 Dual cuenta con un doble extrusor, lo que nos permite el eliminar el soporte de una manera sencilla y sin que queden restos de el en la pieza. Como material de soporte utiliza PVA o HIPS, dependiendo del tipo de material a imprimir.

El precio aproximado de esta impresora es de 1000€, ya que puede variar constantemente.

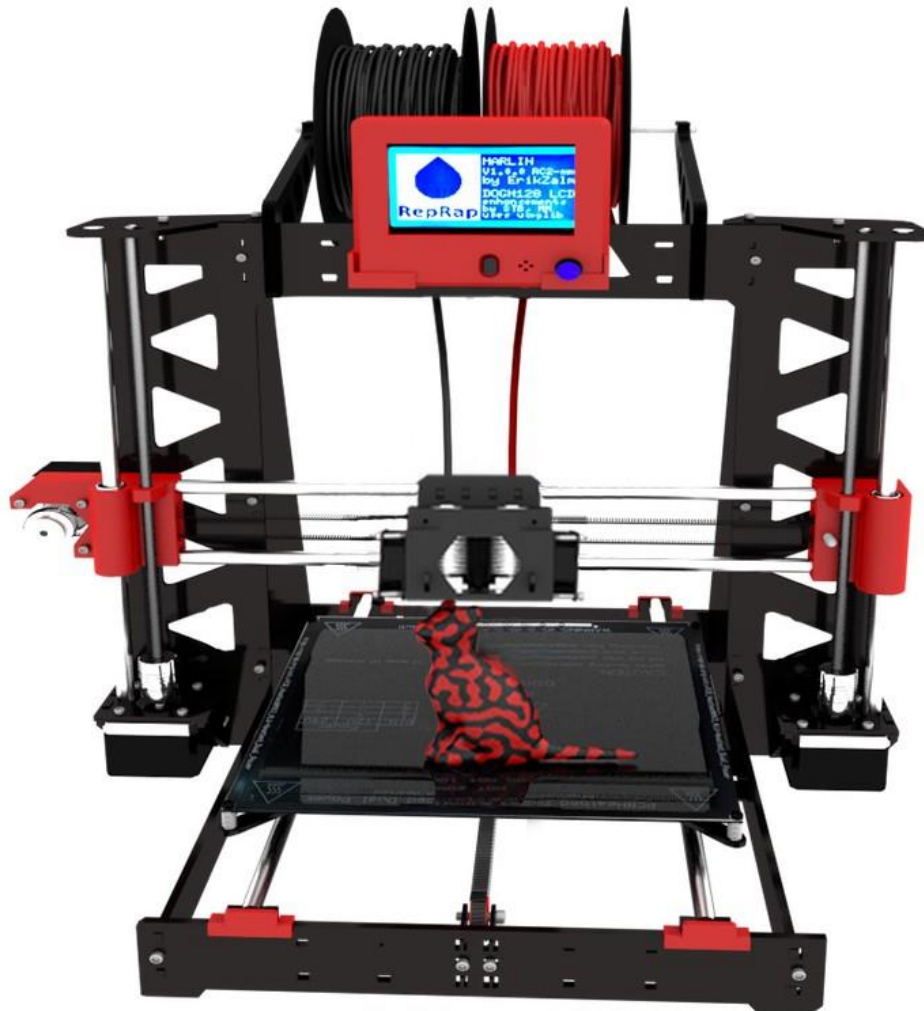


Figura III.8. Impresora Prusa I3 Dual

### III. Desarrollo proyecto

---

Y, por último, la impresora 3D que se va a utilizar es la impresora Dimension SST 1200ES diseñada por stratasys y que está valorada en alrededor de los 17000€.

Es una impresora 3D, con la tecnología FDM, profesional de las más vendidas, se caracteriza por tener un doble extrusor y ser capaz de crear la pieza de un material y los soportes de un material diferente (HIPS), que es soluble y por lo tanto no quedan restos de los soportes, y nos permite crear piezas con geometrías muy complicadas.

En la imagen se muestra a la derecha la impresora 3D y la izquierda sobre la mesa el equipo encargado de eliminar el material de soporte



Figura III.9. Impresora 3D Dimension SST 1200ES

El material usado para todas las impresiones es ABS de 1,75 mm, ya que la impresora Dimension solo puede imprimir en ABS y todas las impresiones sean comparables. Pese a que en el mercado existen los filamentos originales reforzados con fibras, la universidad no dispone de esos materiales para su impresión.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

### III. Desarrollo proyecto

---

## III.4. IMPRESIÓN DE LAS PIEZAS.

Todas las piezas están impresas en ABS y con los mismos parámetros de impresión. 30% de densidad de relleno, 0,25 mm de altura de capa y la densidad del soporte media.

### III.4.1. SOPORTE INTERRUPTOR ELEVALUNAS

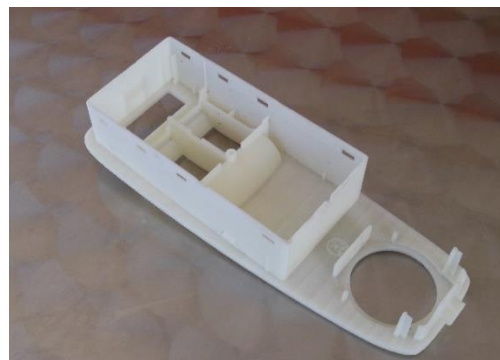
Se usan 13,81 m de material para la pieza y 6,64 m para el soporte.

#### IMPRESORA DIMENSION SST 1200 ES

El soporte ha tardado en imprimirse 220,5 minutos, 3.68 horas.



a)



b)

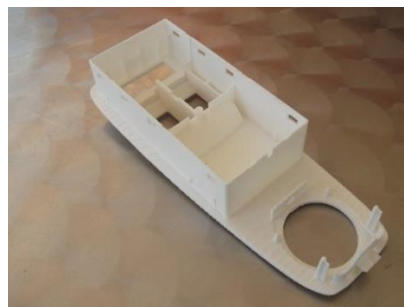
Figura III.10. a) Imagen superior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D Dimension, b) Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D Dimension,

#### IMPRESORA PRUSA I3 DUAL

Ha tardado en fabricarse 232,75 minutos, 3,88 horas.



a)



b)

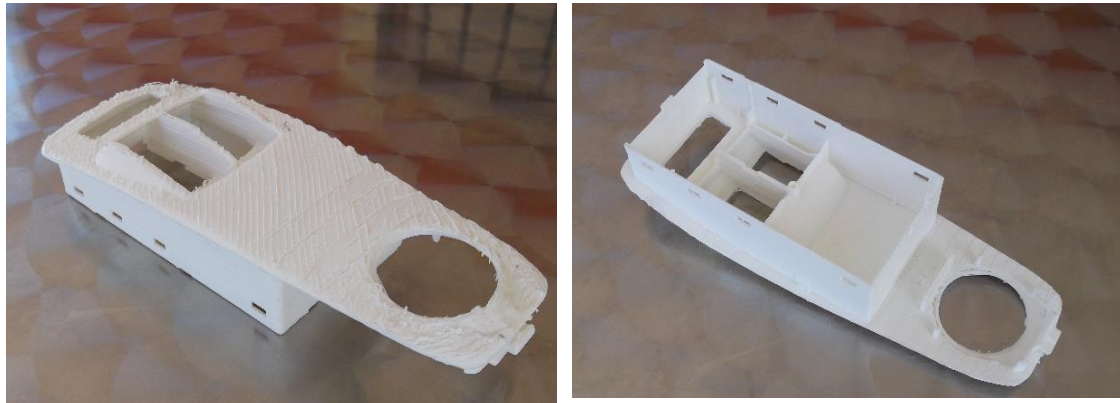
Figura III.11. a) Vista superior del mando elevallunas realizada mediante la impresora Prusa b) Vista inferior del mando elevallunas realizada mediante la impresora Prusa

### III. Desarrollo proyecto

---

#### IMPRESORA XYZ DAVINCI 1.0.

Ha tardado en imprimirse 245 minutos, 4,08 horas



a)

b)

**Figura III.12. a) Imagen superior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D XYZ DaVinci, b) Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D XYZ DaVinci.**

Como se observa en las imágenes, la carcasa realizada con la impresora DaVinci, a priori la de peor calidad, el acabado por la parte superior es de muy baja calidad porque la impresora ha tenido que realizar soportes por toda esa cara y al eliminarlos no se consigue una superficie plana y debido a eso se observa que la geometría obtenida no es como la deseada. En comparación con la pieza realizada con la impresora 3D Prusa que se consigue un acabado mucho más fino, aunque no conseguimos un acabado perfecto ya que, en la parte superior al retirar los soportes, donde van colocados los mandos no se ha quedado de la forma redonda que se había definido. Y por último la pieza impresa en la impresora Dimension consigue un acabado muy fino a pesar de crear unos pequeños escalones debidos a un error en el diseño.

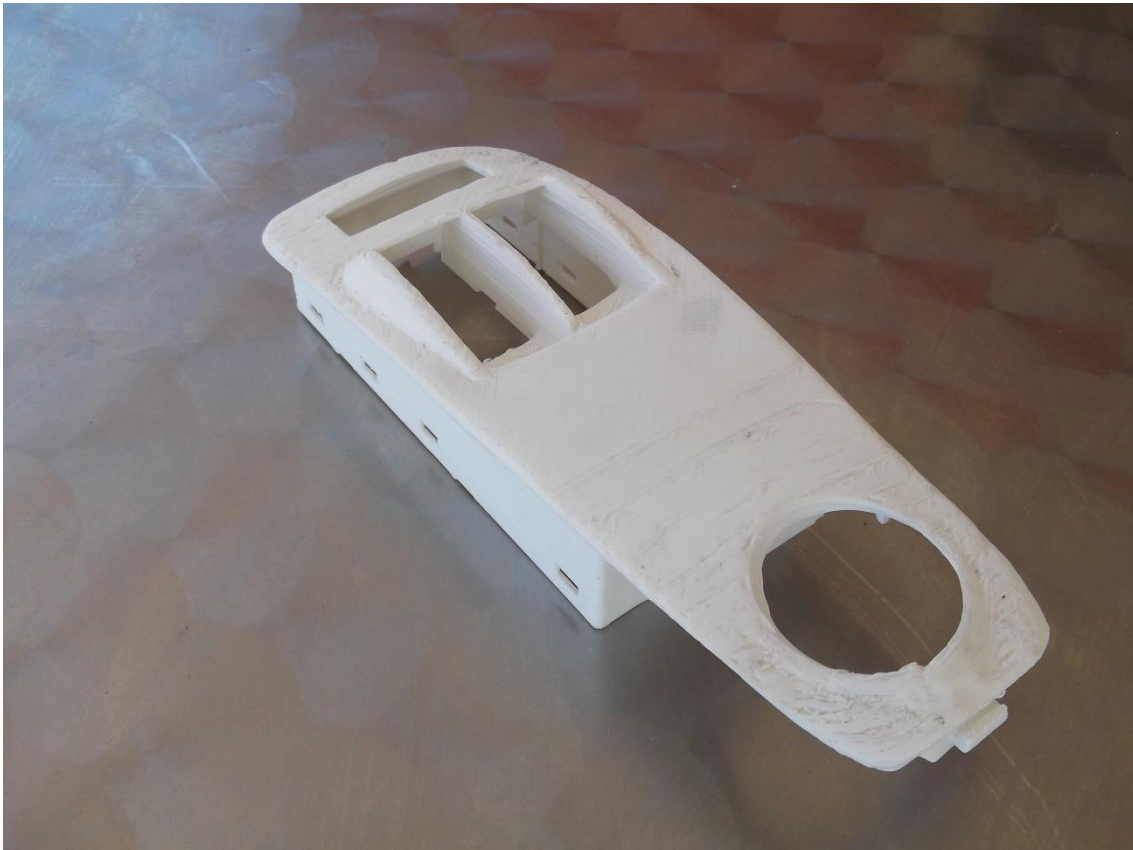
Como se ve en las imágenes, la parte inferior ha sido fabricada de manera correcta en las tres impresoras, aunque la pieza de la impresora DaVinci tiene las paredes muy finas y no tiene resistencia. Y las otras dos impresoras han fabricado la parte inferior de manera similar y correcta, aunque la de la impresora Dimension tiene un poco más de rigidez y un acabado menos rugoso.



### III. Desarrollo proyecto

---

Para conseguir un mejor acabado, se realiza un post-procesado de lijado en la pieza impresa con la impresora DaVinci, por la parte superior. Primero con una lija de 400 para eliminar los restos más grandes de ABS y finalmente con una lija de 1000 para dejar la superficie más suave.



**Figura III.13. Soporte mando elevallunas realizado con la impresora DaVinci después de realizar un lijado a la parte superior**

Con el lijado hemos conseguido mejorar el acabado, pero salen más a la luz los errores de impresión, que los veremos más detallados en el apartado de comparación de las piezas.

A las piezas por las otras dos impresoras no es necesario realizarle ningún post-procesado, ya que el acabado superficial es el deseado.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.4.2. TAPA FILTRO DE ACEITE

El filtro de aceite ha utilizado 15,89 metros de material para la pieza y 13,59 metros para el soporte.

##### IMPRESORA DIMENSION SST 1200 ES

El tiempo de impresión ha sido 271.34 minutos, 4,52 horas



a)

b)

Figura III.14 a) Imagen exterior de la tapa realizada mediante la impresora 3D Dimension, b), c) Imagen de la parte interior de la carcasa realizada mediante la impresora 3D Dimension, d)

##### IMPRESORA PRUSA I3 DUAL

Ha tardado en imprimirse 286,41 minutos, 4,77 horas



a)

b)

Figura III.15. a) Imagen exterior de la carcasa impresa mediante la impresora Prusa b) Imagen de la parte interior de la carcasa fabricada mediante la impresora Prusa

### III. Desarrollo proyecto

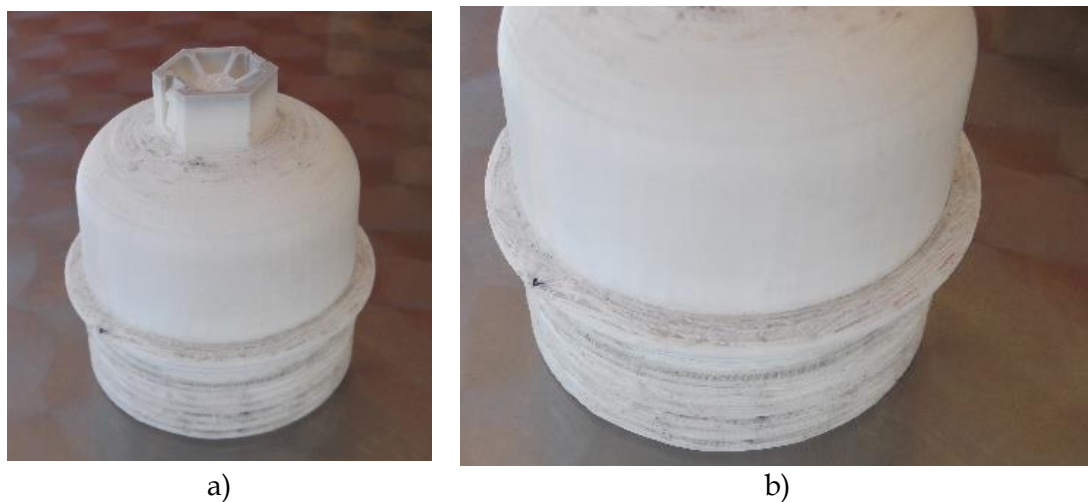
---

#### IMPRESORA XYZ DAVINCI 1.0.

La impresión se ha realizado en 301,48 minutos, 5,03 horas.



Para la pieza realiza con la impresora Prusa también tenemos que hacer un post-procesado para eliminar los restos de los soportes y limpiar la rosca.



Después de analizar las piezas, la realizado con la Dimension tiene un acabado perfecto, acabado superficial fino, rosca perfecta y las pestañas interiores rígidas, ya que los soportes son solubles y no quedan restos al eliminarlos.

### III. Desarrollo proyecto

---

Por otra parte, la realizada con la impresora Prusa a pesar de realizar el post-procesado no se ha conseguido una superficie exterior fina, ya que para su impresión se colocó la parte de la tuerca debajo y creó los soportes en la parte exterior y al retirarlos se han quedado restos. Al igual que en la rosca, como se ve en la figura III.15.b, se han quedado restos del soporte que no se pueden eliminar de forma sencilla y el acabado de la rosca no es totalmente bueno.

Y, por último, la realizada con la impresora DaVinci ha obtenido un resultado muy desfavorable a pesar de tener acabado superficial aceptable, ya que no tiene consistencia al tener las paredes muy delgadas, la rosca se ha quedado con restos del soporte en el interior y como se puede ver en la figura III.16.b las pestañas interiores no se han realizado, debido a que la pieza se imprimió con la parte de la tuerca hacia arriba y ha tenido que crear los soportes por la parte interior.

#### III.4.3. CARCASA CONMUTADOR LUCES

Esta pieza es la más complicada de las tres de fabricar mediante impresión 3D, debido a su geometría, ya que es muy compleja por los detalles que tiene tanto por la parte inferior como por la parte superior. Utiliza 23,63 metros para la pieza y 23,9 metros para el soporte de material.

##### IMPRESORA DIMENSION SST 1200 ES

El tiempo en realizar la pieza ha sido 456,3 minutos, 7,61 horas.

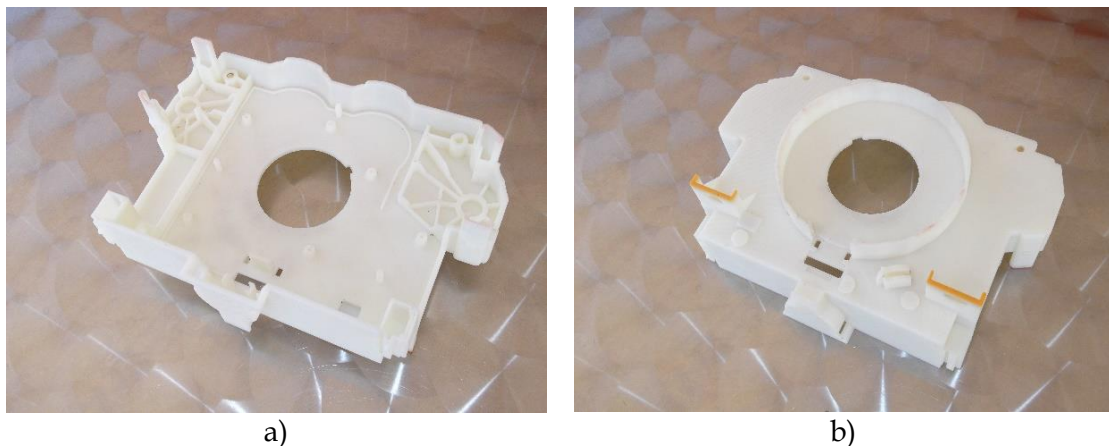


Figura III.18. a) Imagen superior de la carcasa fabricada mediante la impresora 3D Dimension, b), Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D Dimension.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### IMPRESORA PRUSA I3 DUAL

Ha tardado en imprimirse 481,65 minutos, 8,03 horas.

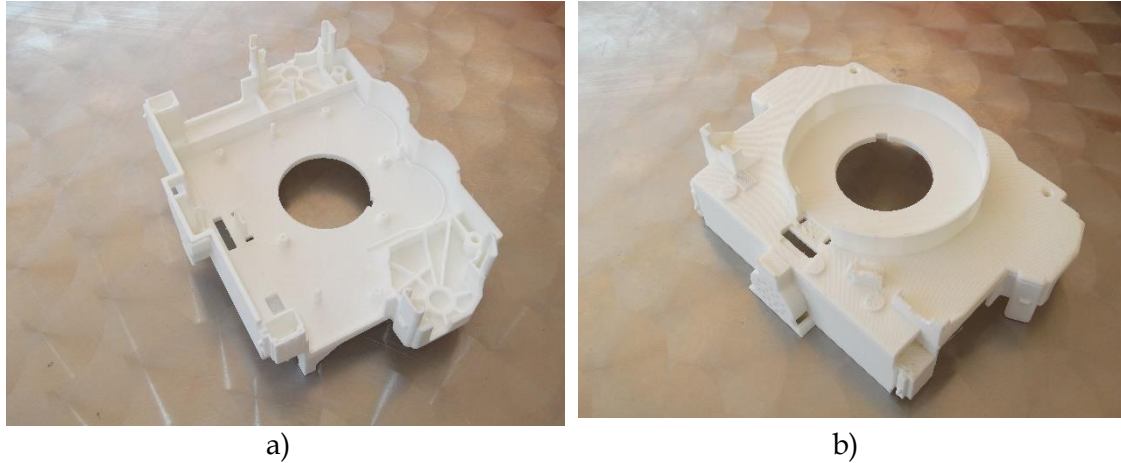


Figura III.19. a) Vista superior de la carcasa de los conmutadores realizada por la impresora Prusa, b) Vista de la parte inferior de la carcasa de los conmutadores realizada por la impresora Prusa

#### IMPRESORA XYZ DAVINCI 1.0.

La impresión se ha realizado en 507 minutos, 8,45 horas.

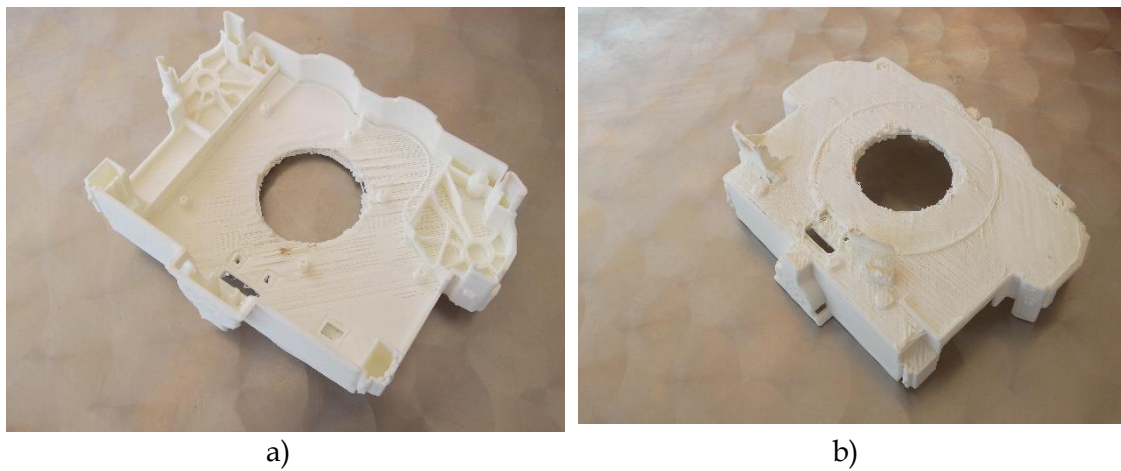


Figura III.20. a) Imagen superior de la carcasa realizada mediante la impresora 3D XYZ DaVinci, b) Imagen de la parte inferior de la carcasa impresa mediante la impresora 3D XYZ DaVinci.

### III. Desarrollo proyecto

---

A la parte inferior se le ha tenido que realizar un post-procesado, para eliminar los restos de los soportes y lijando la zona afectada para poder visualizar y analizar correctamente la parte inferior. Ya que se encontraba en muy mal estado, tal y como se muestra en la Figura III.21. de la derecha y no se podía realizar un escaneo de manera correcta.



**Figura III.21. Parte inferior de la carcasa antes del postprocesado**

Una vez ya tenemos las tres piezas, realizamos un análisis visual para hacer un primer diagnóstico de las piezas.

Al igual que en las otras piezas, la realiza con la impresora Dimension ha obtenido un resultado muy favorable, ya que el único desperfecto es una pequeña pestaña que se rompió al manipularlo porque al realizar el diseño se le dio muy poco espesor. Y su acabado superficial es muy fino en todas sus partes.

La fabricada por la impresora Prusa se ha obtenido un buen resultado, pero no aceptable ya que no cumpliría todas sus funciones. El acabado superficial es muy bueno y ha realizada a la perfección todos los detalles y consiguiendo rigidez, a excepción de la misma pestaña que la realizada por la Dimension y los dos soportes que lleva en la parte inferior que no los ha realizado al completo y no se podría sujetar la pieza.

Y finalmente, la pieza realizada por la impresora DaVinci ha obtenido un resultado totalmente desfavorable, como se observa en las imágenes de la figura III.20., la parte inferior está incompleta y muy rugosa y en la parte superior ha creado algunos detalles, pero no ha sido capaz de plasmarlos todos correctamente.

Por lo tanto, después de realizar un primer análisis visual, la única pieza que se podría utilizar de la misma forma que la original es la fabricada por la impresora Dimension SST 1200. Aunque más adelante se realizara el análisis de comparación mediante el programa CloudCompare para saber con más exactitud los errores de las piezas que no se han podido observar en un primer análisis visual.

### III. Desarrollo proyecto

---

Para tener una comparación de las impresoras en función del tiempo empleado para fabricar, se muestra la siguiente tabla resumen con los tiempos de impresión de cada pieza e impresora y la cantidad de material utilizado para cada pieza.

Tabla III.1. Tabla Resumen del material utilizado y tiempo impresión de las piezas

	Material (Metros)			Tiempo (Horas)		
	Pieza	Soporte	Total	DaVinci	Prusa	Dimension
<b>Conmutador</b>	23,63	23,9	<b>47,53</b>	8,45	8,03	7,61
<b>Filtro Aceite</b>	15,89	13,59	<b>29,48</b>	5,03	4,77	4,52
<b>Elevalunas</b>	13,81	6,64	<b>20,28</b>	4,08	3,88	3,68

La cantidad de material usado es el mismo para las tres impresoras 3D, pero el tiempo si que varía en cada una de las impresoras en función de la pieza.

En todas las piezas, la impresora DaVinci es la que más tiempo tarda en realizar la impresión, seguido por la impresora Prusa y, por último, la que menos tarda en fabricar las piezas es la impresora Dimension. A pesar de ser la que más calidad muestra en las piezas, es la que menos tarda en imprimir.

### **III. Desarrollo proyecto**

---



### III. Desarrollo proyecto

## III.5. ESCANEADO DE LAS PIEZAS

Una vez tenemos ya todas las piezas impresas, para poder compararlas, debemos de tenerlas en formato digital. Para ello, se realiza un escaneo de cada una de las piezas mediante un escáner dental denominado Optical Revenge. Que incorpora un software con el cual se visualizan la nube de puntos del de cada escaneo y se realiza la malla final para obtener la pieza en formato \*.stl y compararla con el \*.stl original de las piezas.



Para realizar el escaneo se introduce la pieza en el escáner como se ve en la imagen inferior izquierda y con el ordenador se realizan varios escaneos con la pieza en diferentes posiciones, para después con el software alinearlas, como se muestra en la imagen inferior derecha y finalmente hacer una malla de la pieza para que sea un solo documento.

Figura III.22. Escáner Optical Rev Eng

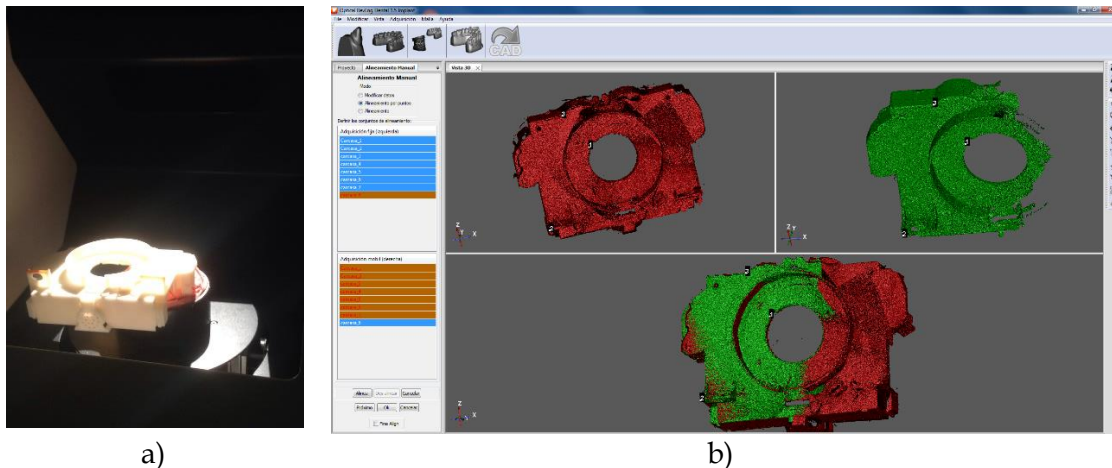


Figura III.23. a) Carcasa conmutador luces en el interior del escáner, b) Captura del software Optical RevEng alineando varios escaneos con un nuevo escaneo.

Un paso intermedio, antes de realizar el alineado, es realizar varios escaneos para poder capturar la pieza completa y a cada uno de esos escaneos hay que eliminar todo el ruido que tenga para eliminar todas las imperfecciones posibles. A continuación, se muestra un pequeño proceso de cada una de las piezas.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.5.1. SOPORTE INTERRUPTOR ELEVALUNAS

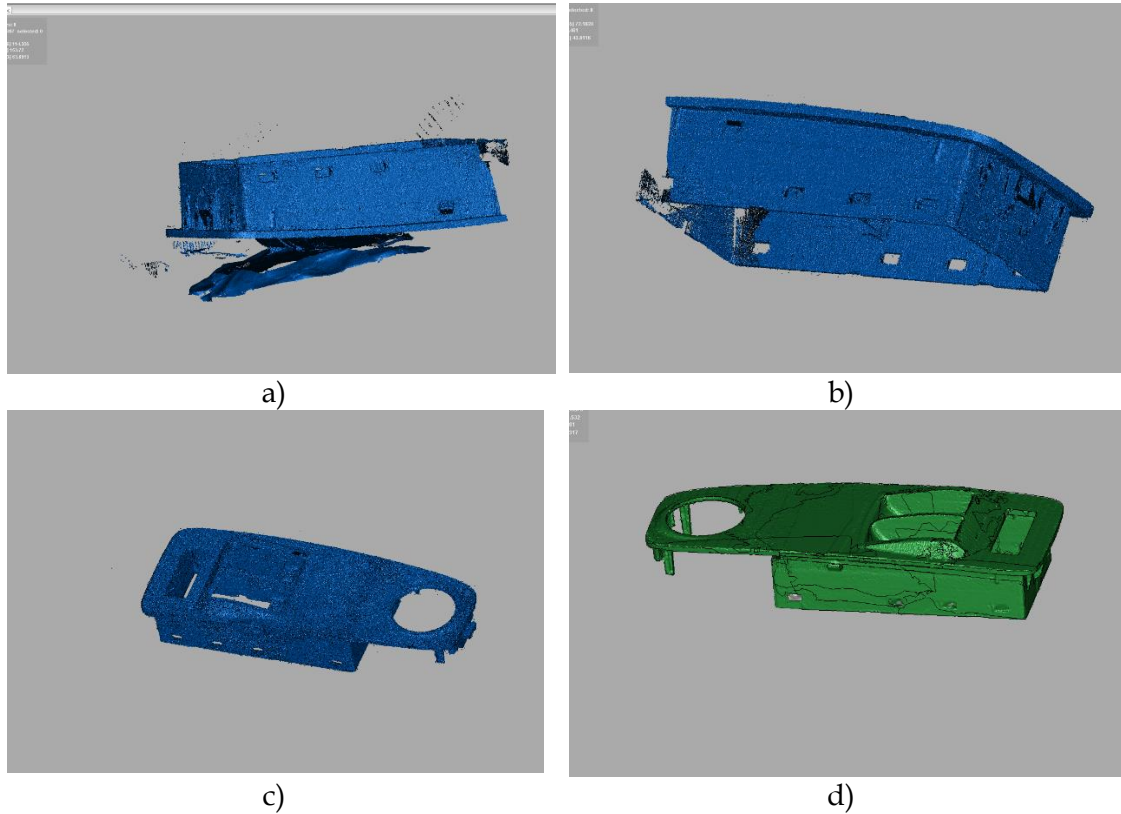


Figura III.24. a) Captura de un escaneo con ruido, b) Captura de un escaneo sin ruido, c) Captura una vez se han alineado todos los escaneos, d) Captura de la pieza después de realizar el mallado fabricada con la impresora Dimension.

También se realiza el mismo proceso de escaneo para el soporte realizado con la impresora Prusa y la impresora DaVinci. Abajo se muestra el mallado final obtenido.

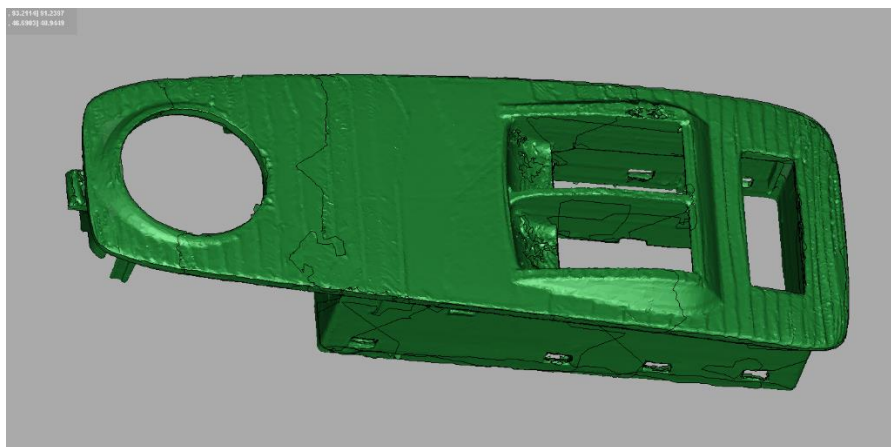


Figura III.25. Captura del mallado del soporte realizado por la impresora Prusa

### III. Desarrollo proyecto

---

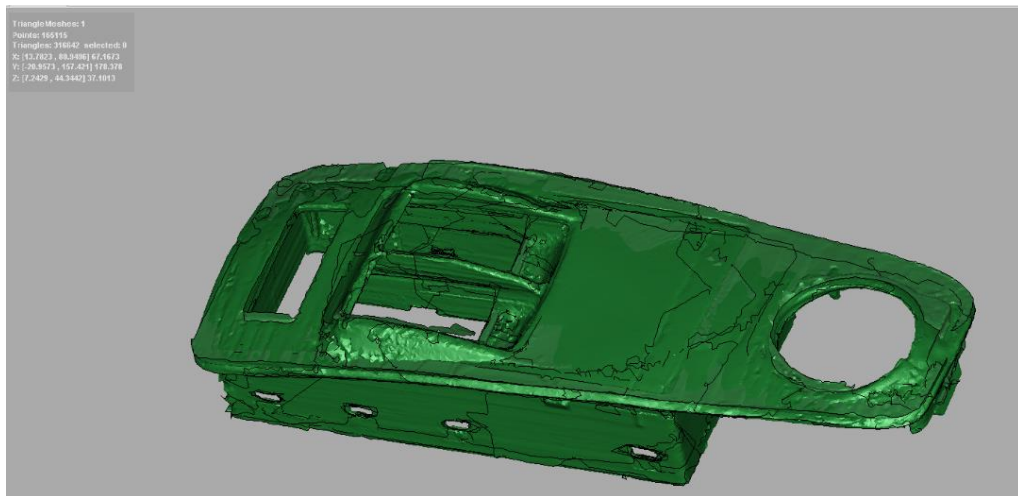


Figura III.26. Mallado del soporte de los mandos del elevavinas realizado por la impresora DaVinci

Después de alinear todos los escaneos, si vemos que aún hay algo de ruido, podemos seleccionar el escaneo del que proviene para eliminarlo y conseguir un mejor resultado.

El paso siguiente por realizar después de crear la malla es cerrar algunos posibles agujeros que se hayan quedado abiertos o abrir aquellos pequeños agujeros que al realizar el mallado se hayan cerrado. Este paso se realiza en todos los escaneos.

Estos archivos obtenidos son los que usaran más tarde para compararlos con el archivo original.

#### III.5.2. TAPA FILTRO DE ACEITE

Para la realización del escaneo de la tapa del filtro de aceite surgieron algunos problemas, ya que el escáner no era capaz de captar la parte interior de la pieza. Por lo tanto, es una limitación que tenemos en esta pieza por las características del escáner del que disponemos en la universidad y solo analizaremos la parte exterior de la tapa.

Otro problema que surgió es escáner la rosca, ya que la base de la rosca el escáner no es capaz de captarla de forma completa y al crear el mallado no crea la rosca al completo. Por lo tanto, en algunas mallas la rosca no estará de forma correcta.

### III. Desarrollo proyecto

---

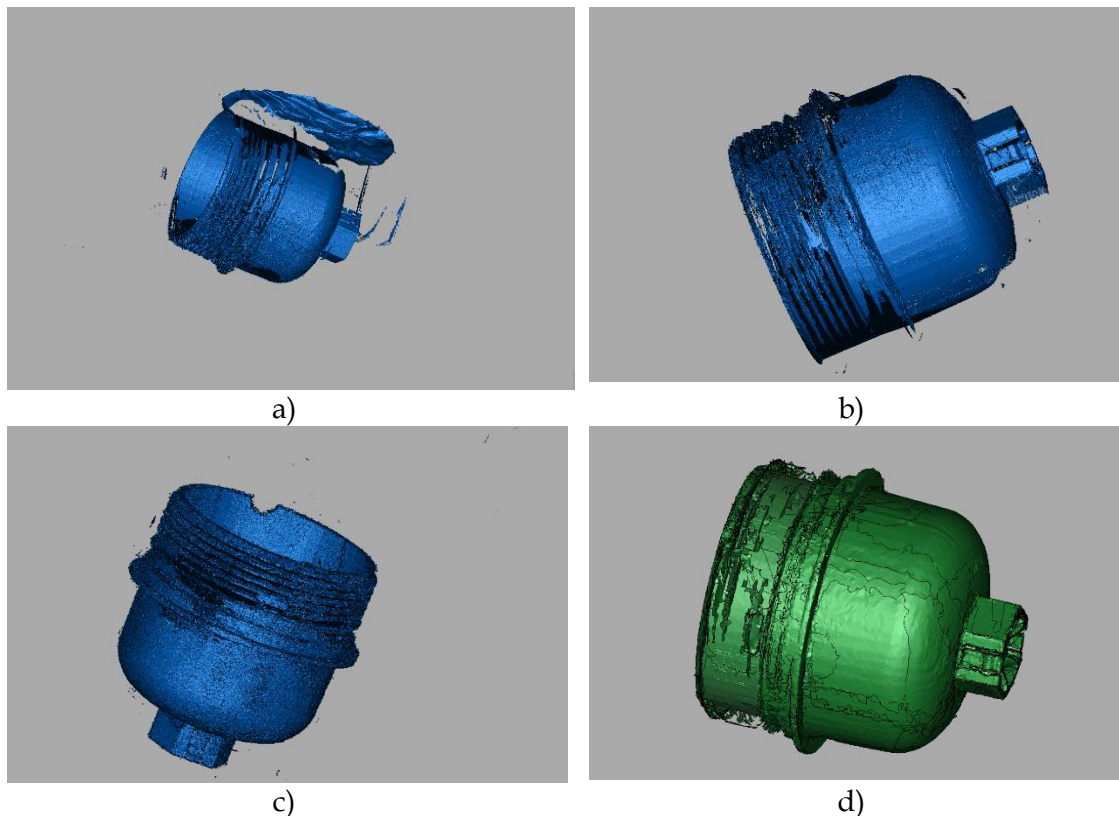


Figura III.27. a) Captura de un escaneo con ruido, b) Captura de un escaneo sin ruido, c) Captura después de realizar el alienado de todos los escaneos, d) Captura de la pieza realizado con la impresora Dimension después de realizar el mallado.

Arriba se muestra un pequeño proceso de cómo se obtiene el mallado de la pieza realizada por la impresora Dimension.

Como se ha dicho anteriormente, por la altura de la pieza y las dimensiones del escáner, solo realizamos el escaneo de la parte exterior tal y como se muestras en la figura III.26.

También se realizada el escaneo de las piezas realizas por las otras dos impresoras, la impresora DaVinci y la impresora 3D Prusa. Abajo, en las siguientes dos figuras, se muestra el mallado final, obtenido a través del programa Optical RevEng, de cada una de las piezas.

### III. Desarrollo proyecto

---

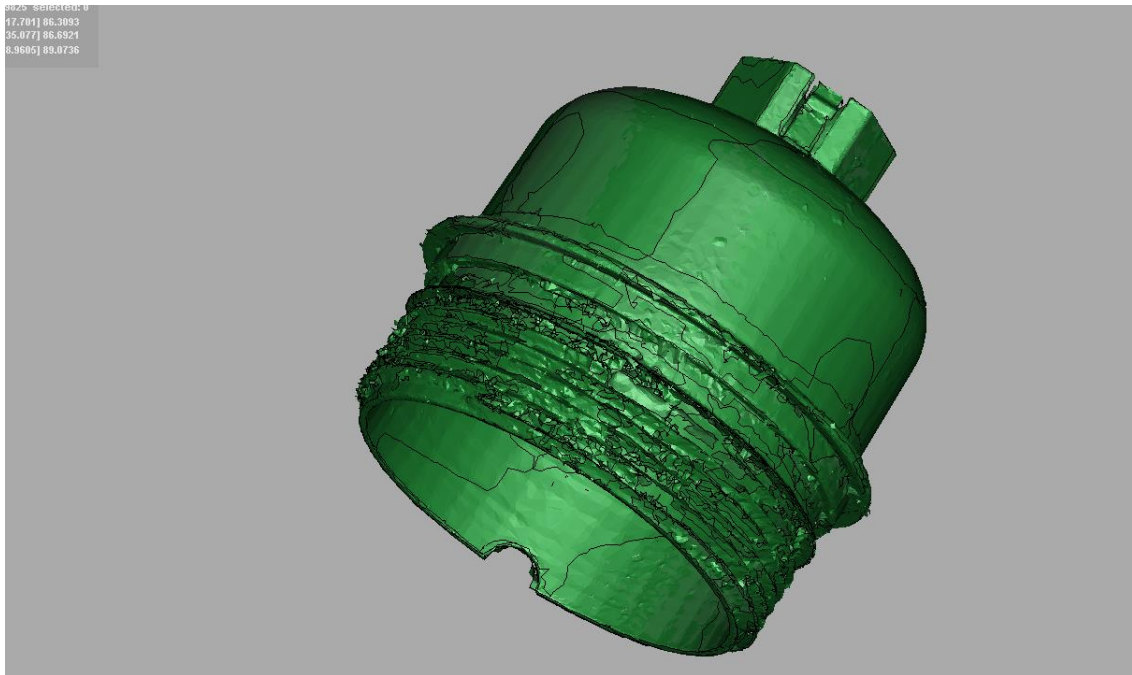


Figura III.28. Mallado del filtro aceite realizado por la impresora 3D Prusa

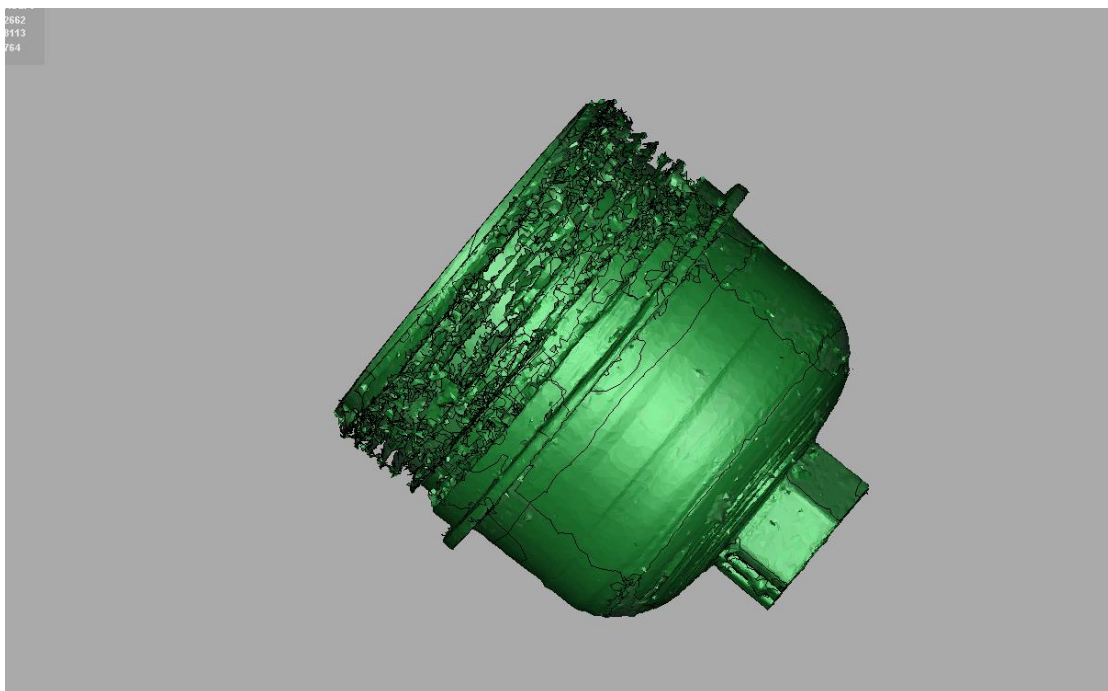


Figura III.29. Mallado del filtro de aceite fabricado por la impresora DaVinci.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.5.3. CARCASA CONMUTADOR LUCES

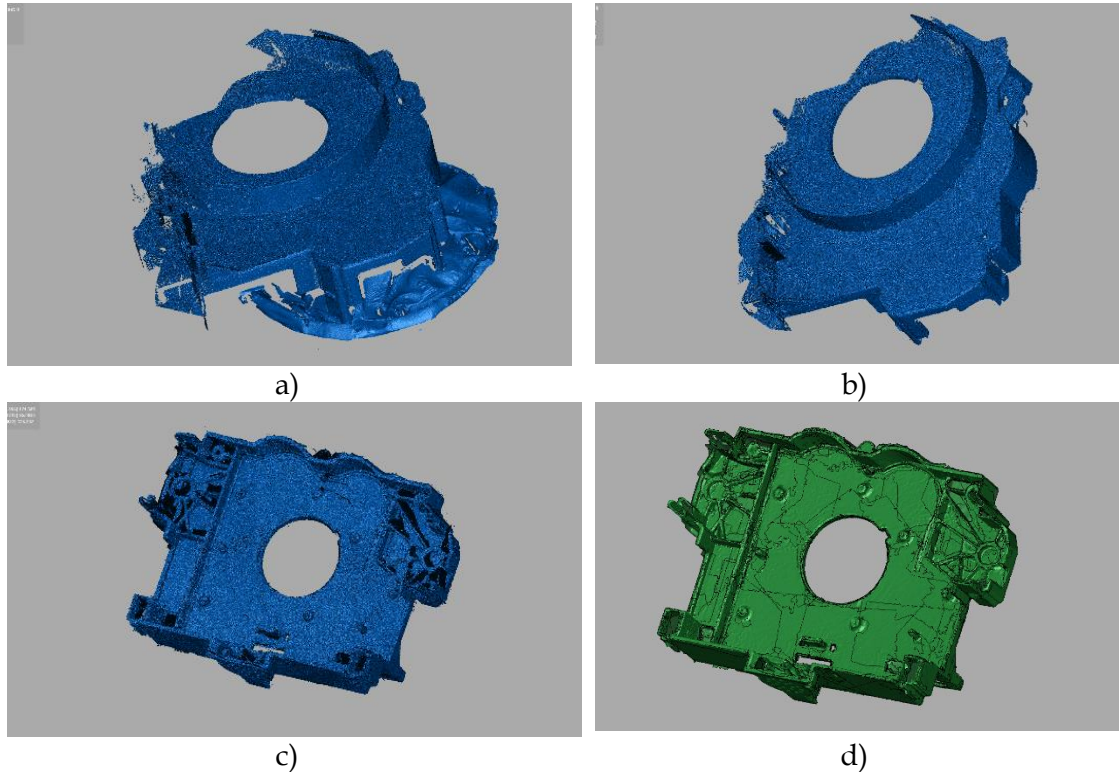


Figura III.30. a) Captura de un escaneo con ruido, b) Captura de un escaneo sin ruido, c) Captura una vez se han alineado todos los escaneos, d) Captura de la pieza después de realizar el mallado de la pieza fabricada por la impresora 3d Dimension

Un problema al escáner la carcasa del conmutador de luces es el gran número de detalles, sobre todo aquellos que se encuentran en el interior de alguno de ellos y el escáner no es capaz de captar. Como, por ejemplo, dentro de los conectores. Aunque la mayoría de ellos se pueden solucionar utilizando la herramienta de cerrar agujeros una vez se ha realizado el mallado, incluso corrigiéndolos a la hora de realizar la comparación, nos podemos encontrar algunos fallos debidos a que no es la superficie original de la pieza.

También se realiza el escaneo de la pieza impresora por la impresora DaVinci y por la impresora Prusa I3 siguiendo el mismo proceso y obteniendo el siguiente mallado.

### III. Desarrollo proyecto

---

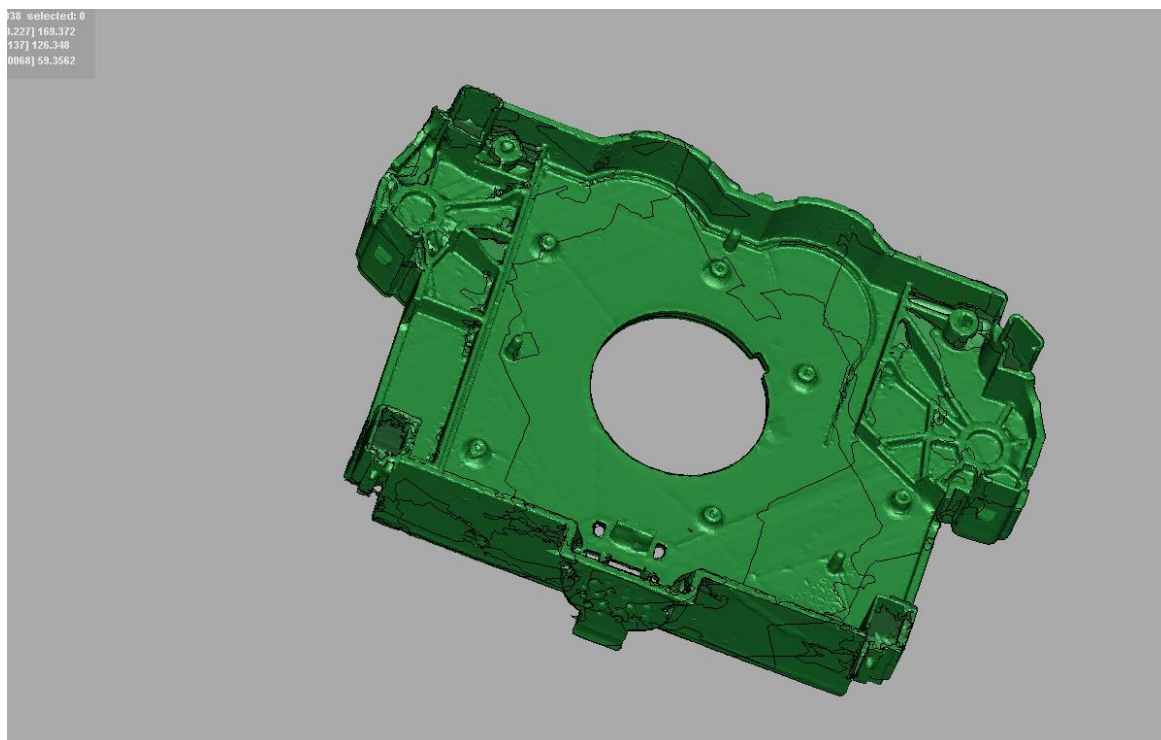


Figura III.31. Mallado de la pieza realizada por la impresora Prusa

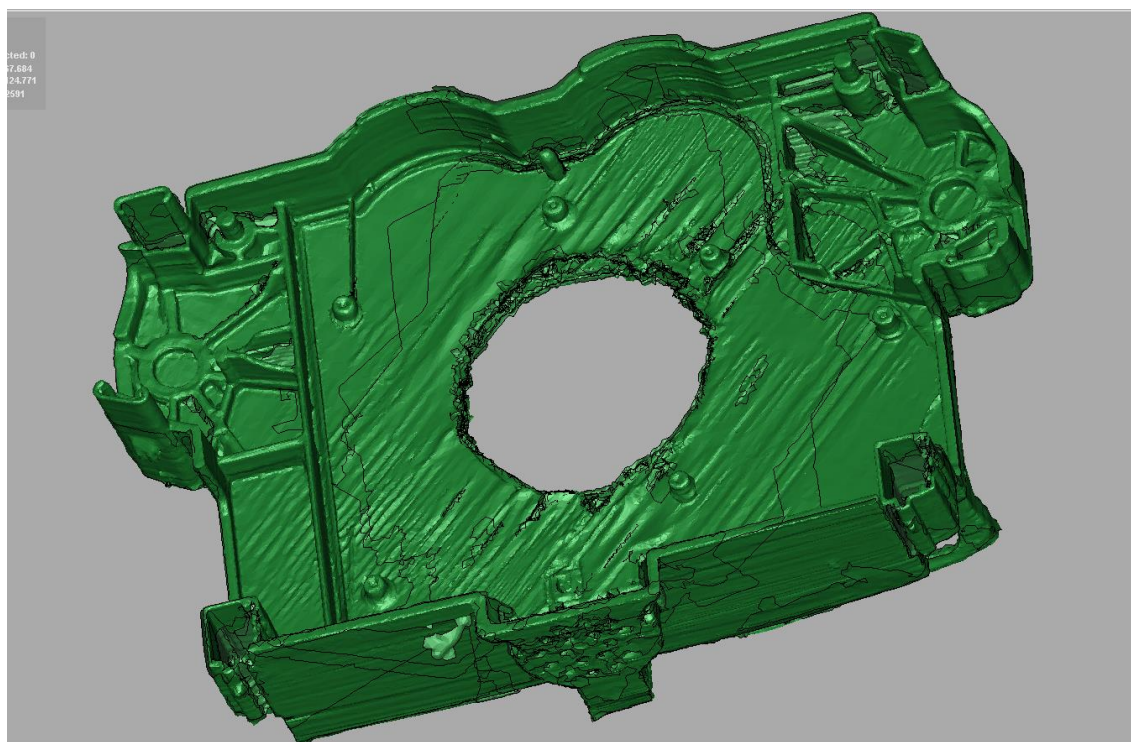


Figura III.32. Mallado de la pieza fabricada por la impresora DaVinci

### **III. Desarrollo proyecto**

---



### III. Desarrollo proyecto

## III.6. COMPARACIÓN DE LAS PIEZAS MEDIANTE CLOUDCOMPARE

Para la comparación de las piezas impresas con las piezas dibujadas en CAD, se utiliza un programa llamado CloudCompare, es un software gratuito al alcance de todos.

Para la comparación solo se ha planteado la desviación dimensional. Ya que las tolerancias aceptadas dependerían de cada pieza y su ensamblaje, y en este trabajo no se ha planteado. Por eso tampoco se han puesto tolerancias en los planos.

Para poder realizar esto tenemos que tener las dos piezas en \*.stl, la pieza original la tenemos en \*.stl ya que SolidWorks permite guardar en este tipo de formato y la pieza impresa, hemos conseguido el formato \*.stl al realizar el escaneo y exportarlo.

La comparación se va a realizar con las tres piezas que se está trabajando.

### III.6.1 SOPORTE INTERRUPTOR ELEVALUNAS

El primer paso por realizar es introducir los dos archivos en el programa y por defecto, como vemos en la imagen inferior izquierda, se colocan de forma desalineada. Por lo tanto, antes de compararlas las alinearemos dando puntos de referencia comunes, como se muestra en la imagen inferior derecha. Después de alinearlo por puntos, se puede realizar un alineado automático para ajustar más la alineación.

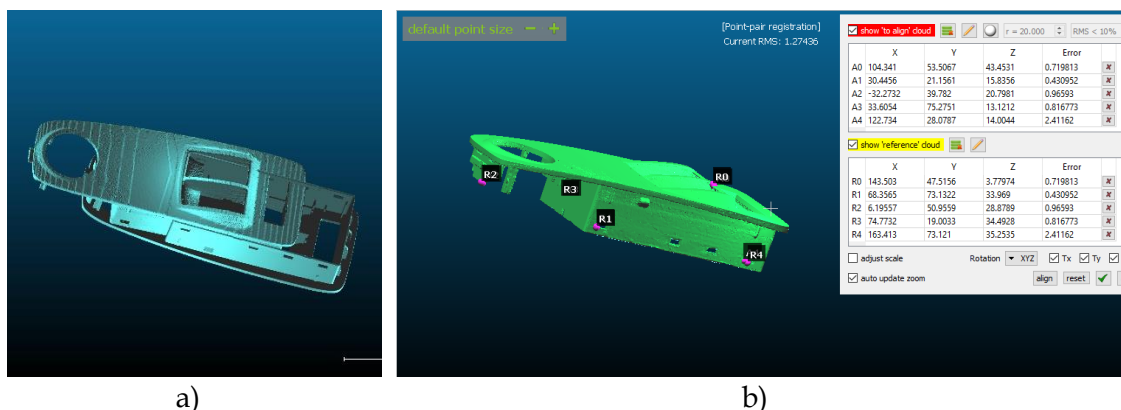


Figura III.33. a) Mando elevallunas desalineado al introducirlo en CloudCompare, b) Captura de CloudCompare con el cuadro de puntos de referencia para el alineado de las dos piezas.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### IMPRESORA DIMENSION SST 1200 ES

Una vez lo tenemos alineado ya podemos hacer la comparación de la pieza realizada por la impresora Dimension, después de ejecutarla y ajustar la escala de colores, el resultado obtenido es el siguiente.

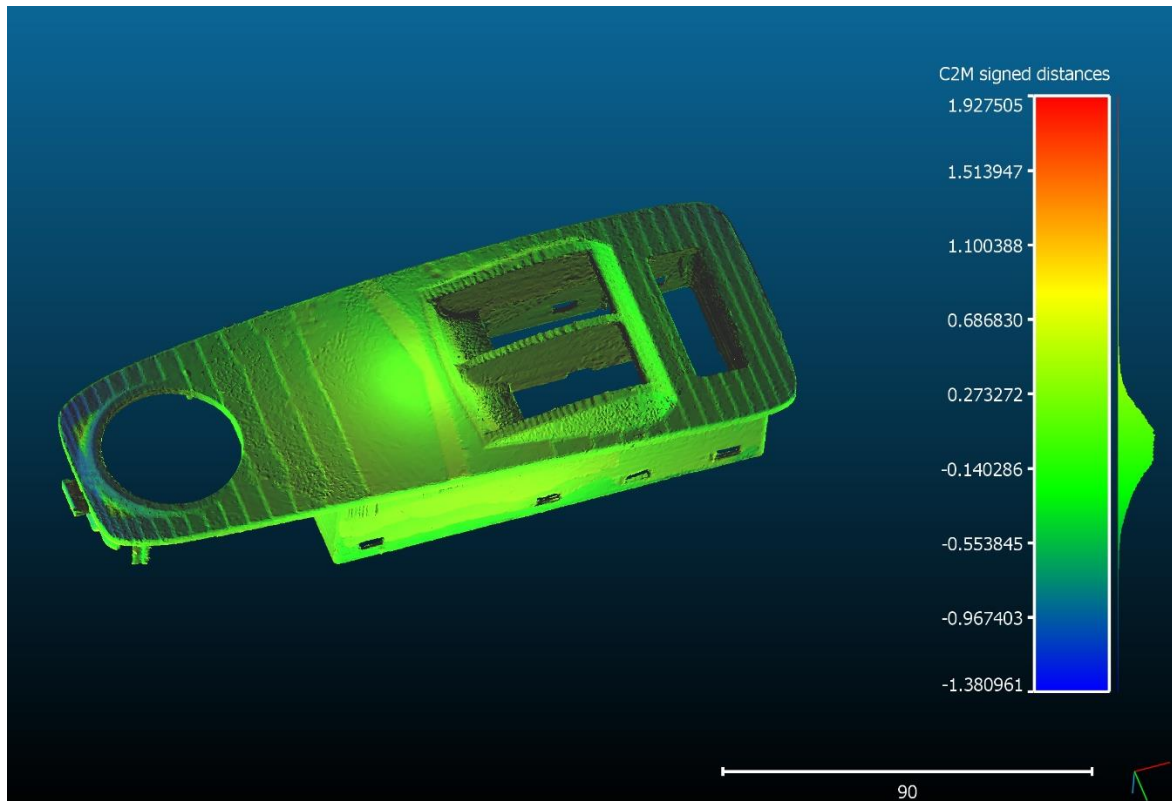


Figura III.34. Resultado de la comparación mediante CloudCompare del soporte del mando del elevallunas realizado por la impresora Dimension.

Como se puede ver en la parte delantera, tenemos una alineación negativa, ya que lo muestra de color azul. Esto significa que en ese lugar la pieza impresa está más alta que la pieza dibujada en SolidWorks.

El resto de la pieza mayormente la obtenemos de color verde, tanto por la parte superior como por la parte inferior. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la distancia marcada como azul es muy pequeña, podemos decir que la pieza impresa y la pieza dibujada son prácticamente iguales.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### IMPRESORA PRUSA I3 DUAL

Para la pieza fabricada con la impresora Prusa, hacemos el mismo proceso de alineado y ajuste de la escala de la distancia y obtenemos el siguiente resultado.

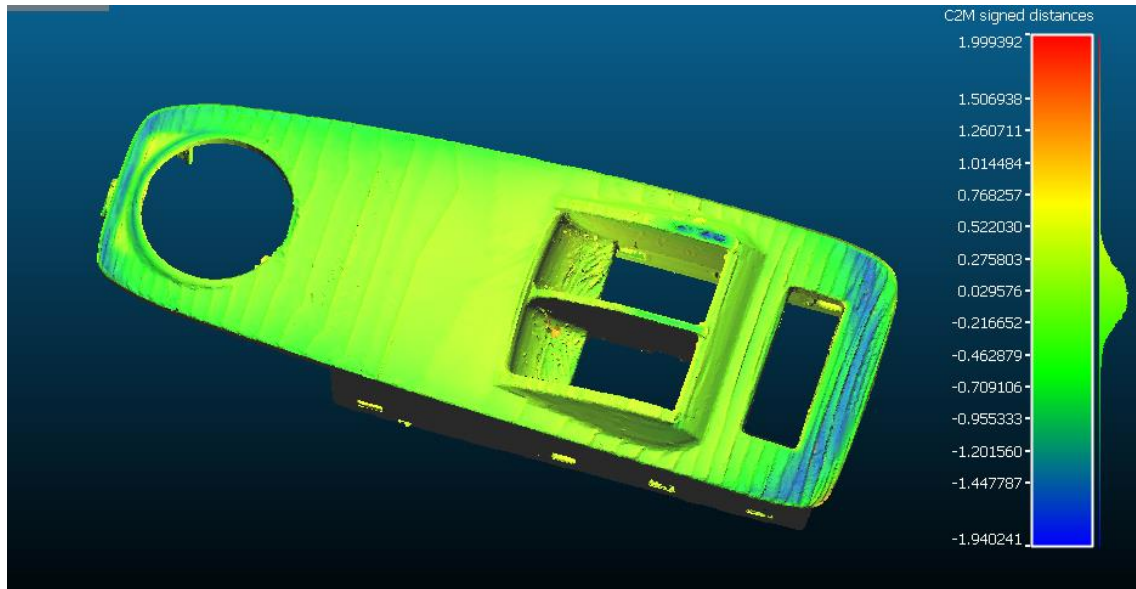


Figura III.35. Captura del programa RevEng con la comparación del soporte del mando de interruptor realizado por la impresora Prusa I3

Solo se muestra la parte superior de la pieza porque la pieza por la parte inferior no muestra ninguna distancia y por la tanto está bien.

En cambio, por la parte superior, como se ve en la imagen superior, en la parte delantera y trasera se muestra de color azul, lo que nos indica que, en esas zonas, de la pieza realizada por la impresora, están un poco más elevadas que la original. Este error puede ser debido al pequeño escalón que se ha creado por el error en el diseño original en el programa SolidWorks.

También se muestra otro error en la parte donde van los mandos del elevallunas, este error es debido a un fallo en la impresión, ya que es donde se empezaba a crear la pieza y al quitarla de la base no se ha quedado de la forma deseada. Este error lo podríamos corregir haciendo algunos ajustes en la impresora.

### III. Desarrollo proyecto

#### IMPRESORA XYZ DAVINCI 1.0.

Realizamos el mismo proceso de alineado y obtenemos unos resultados de distancia que se muestra a continuación.

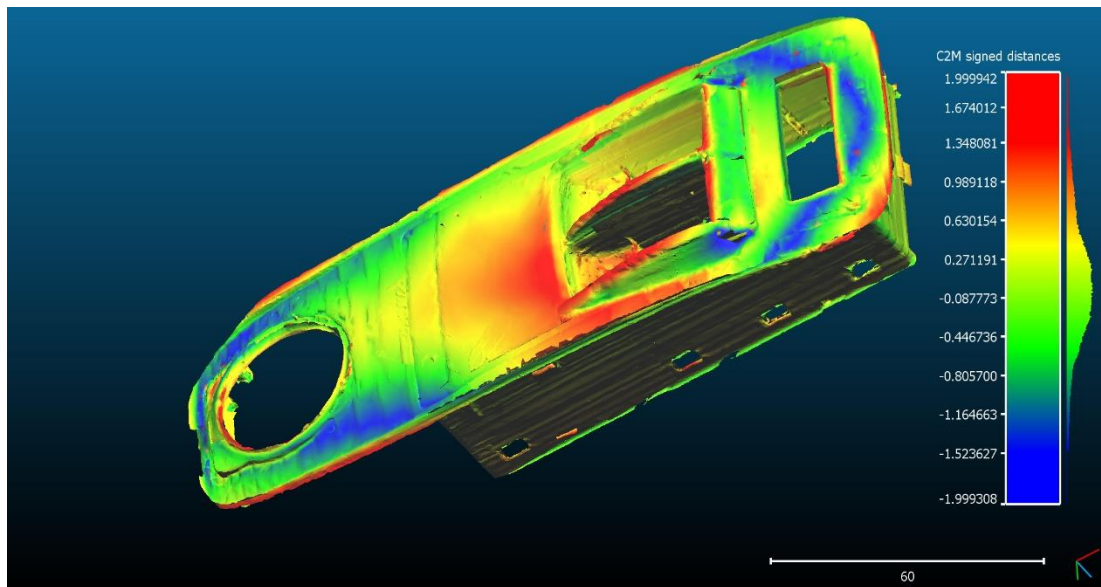


Figura III.36. Vista superior del resultado de la comparación de la pieza realizada mediante la impresora DaVinci

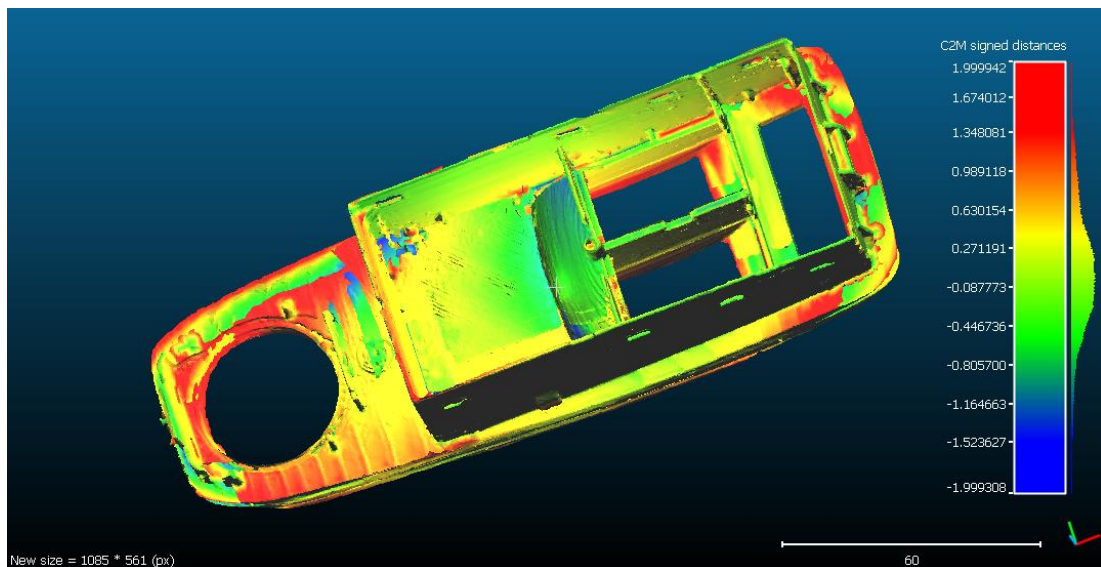


Figura III.37. Vista inferior del resultado de la comparación de la pieza realizada mediante la impresora DaVinci

### III. Desarrollo proyecto

---

Al igual que observamos de forma visual, vemos que hay mucha distancia, tanto negativa como positiva. Sobre todo, en la parte central y en la parte trasera izquierda por la parte superior y por la parte inferior tanto la parte delantera como la parte trasera presentan grandes distancias.

Después de analizar la pieza podemos decir que no cumpliría con el objetivo deseado ya que no es capaz de realizar la pieza de forma correcta.

#### III.6.2. CARCASA CONMUTADOR LUCES

##### IMPRESORA DIMENSION SST 1200 ES

Para la comparación de la carcasa del conmutador seguimos los mismos pasos descritos anteriormente con la carcasa del elevallunas, introducimos las dos piezas y las alineamos, para después realizar la comparación y obtener el siguiente resultado.

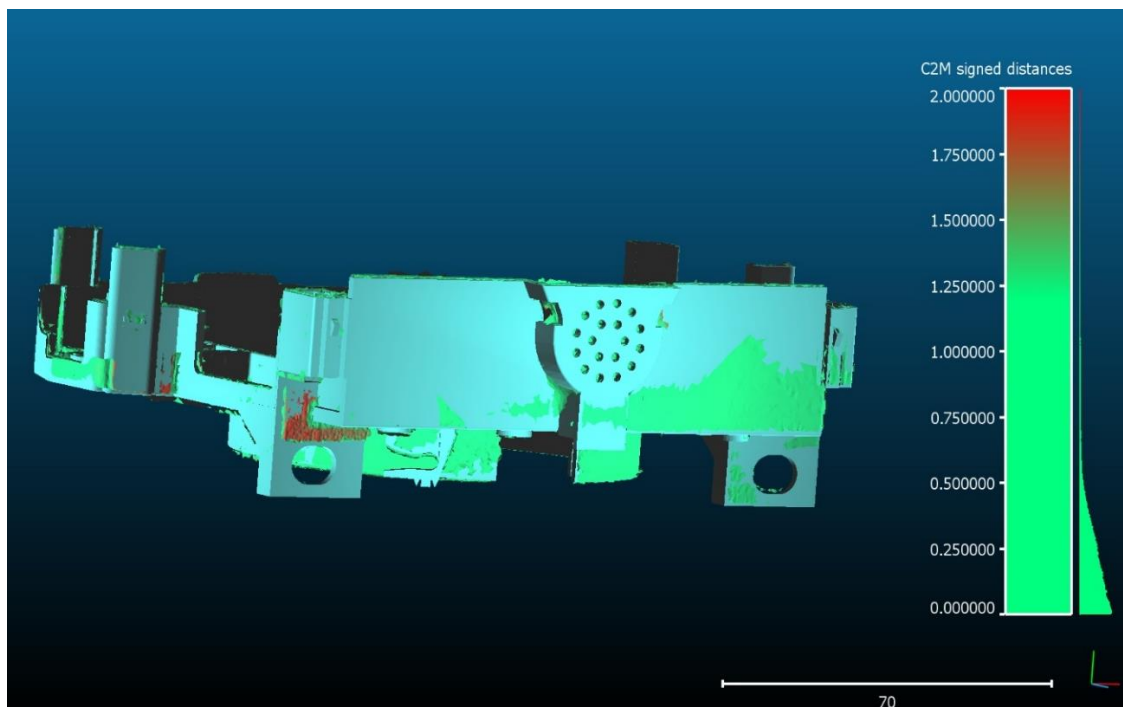


Figura III.38. Resultado final de la comparación de ambas piezas de la carcasa del conmutador de luces

Como vemos en la imagen III.38., el único punto donde se observa alguna distancia considerable es en la parte inferior izquierda, donde se muestra en color rojo.

### III. Desarrollo proyecto

Pero observando las imágenes de los archivos y la pieza, esa distancia mostrada por el programa es debida a un error en el escaneo. Por lo tanto, las dos piezas son muy similares ya que no se aprecian grandes distancias entre ellas dos y sería totalmente válida para ser usada.

#### IMPRESORA PRUSA I3 DUAL

Para la comparación seguimos los mismos pasos que anteriormente.

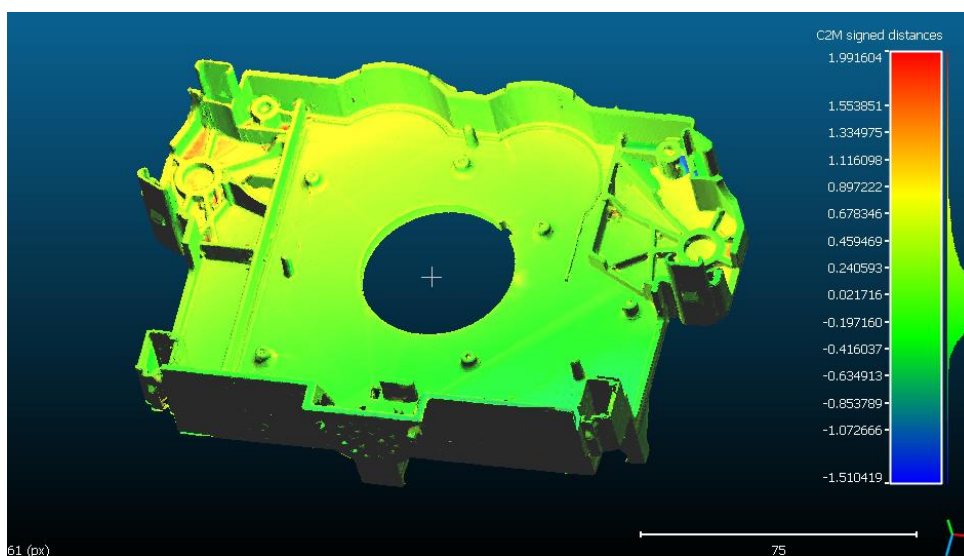


Figura III.39. Vista superior de la comparación de la carcasa del conmutador realizada por la impresora Prusa

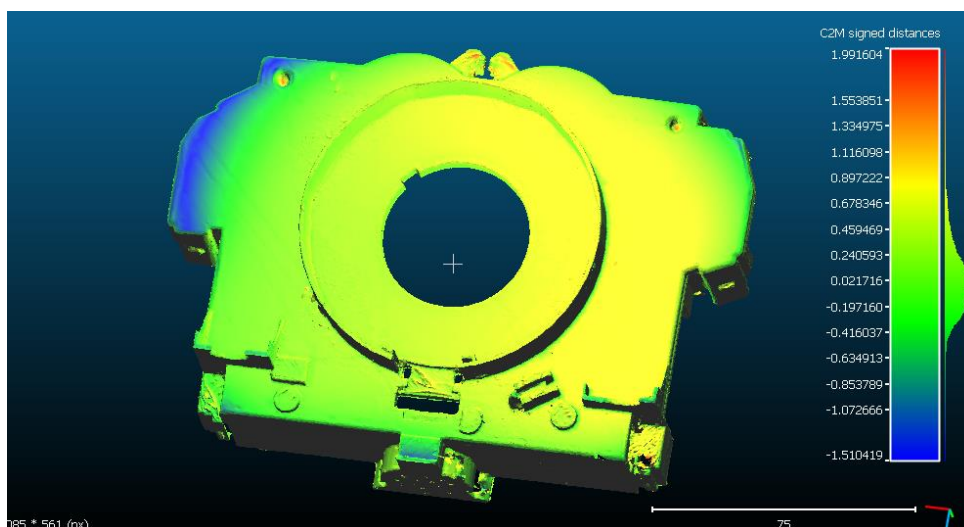


Figura III.40. Vista inferior de la comparación del conmutador realizado por la impresora Prusa

### III. Desarrollo proyecto

En un primer análisis visual a esta pieza no se habían visto errores en la impresión más allá de los soportes faltantes, pero al realizar la comparación podemos observar como por la parte inferior a la izquierda está más alto, al mostrarlo en azul, y con una segunda comprobación visual corroboramos que esa parte está impresa de manera incorrecta.

Y por la parte superior también nos muestra distancias destacables, de color rojo, lo que nos indica que esa parte no está impresa bien y que está más baja de lo que debería de estar.

#### IMPRESORA XYZ DAVINCI 1.0.

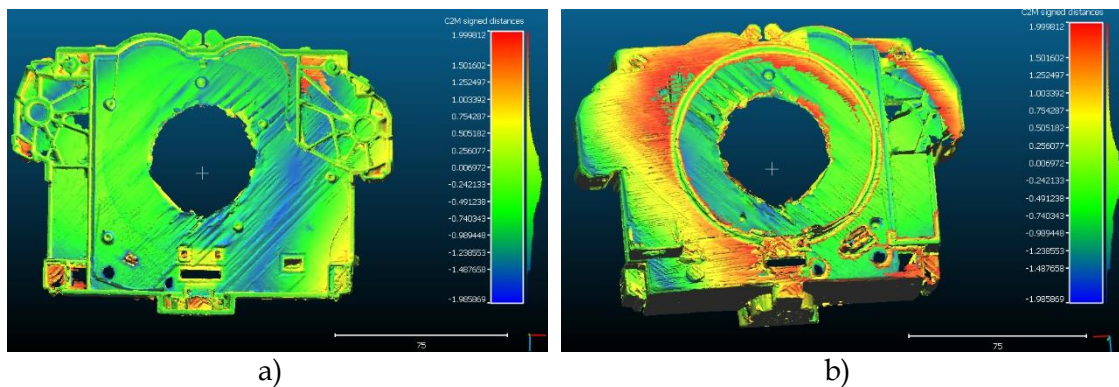


Figura III.41. a) Vista superior de la comparación de la carcasa de conmutador realizada por la impresora DaVinci b) Vista inferior de la comparación de la carcasa de conmutador fabricada por la impresora DaVinci.

Como se había dicho anteriormente en el análisis visual, esta pieza ha salido en muy mal estado, y lo podemos comprobar en la comparación median CloudCompare. Tanto en la parte superior, vemos la base azul y algunos detalles en rojo, que no indica que no está todo plano, como en la parte inferior, donde la mayor parte de la pieza está en rojo y observamos que falta la mayoría de los elementos.

#### III.6.3. TAPA FILTRO DE ACEITE

Como se nombro anteriormente, en esta pieza se va a realizar la comparación solamente de la parte exterior ya que el escáner no permitía escanear la parte interior.

El proceso de comparación es igual al realizada con las otras piezas, introducimos las dos piezas en el programa, las alineamos manual y automáticamente y finamente las

### III. Desarrollo proyecto

---

comparamos mostrando como resultado la distancia entre una pieza y otra tomando como referencia la pieza diseñada en SolidWorks.

#### IMPRESORA DIMENSION SST 1200 ES

El resultado obtenido de la comparación de la tapa del filtro de aceite realizada por la impresora Dimension se muestra en la figura de abajo.

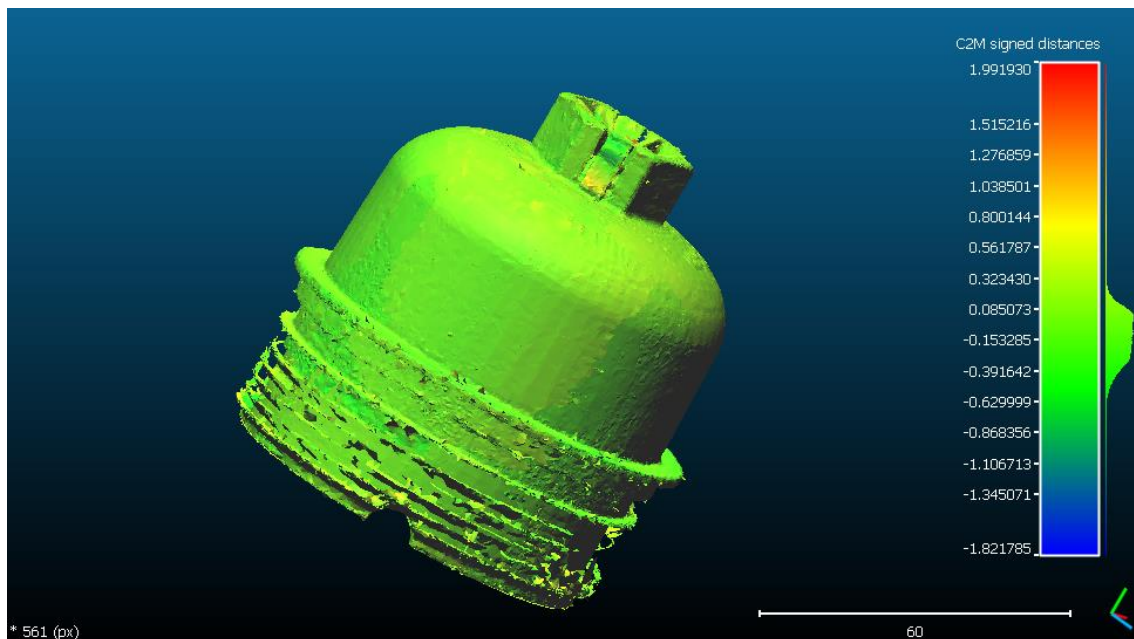


Figura III.42. Resultado de la comparación de la tapa del filtro de aceite realizada por la impresora Dimension

Como se había nombrado antes y podemos observar en la figura III.40. el escáner no ha sido de captar la rosca el completo, por lo tanto, no podemos realizar la comparación de la rosca, pero si del resto de la pieza.

Al igual que las otras piezas realizadas por la impresora Dimension, el resultado obtenido es muy bueno, toda la pieza esta de color verde, lo que indica que es como la pieza original. En la rosca obtenemos algunos puntos amarillos que indican algún desviamiento que es debido a que no ha sido de captarla correctamente en el escaneo.

Complementando la comparación con el análisis visual, la pieza ha obtenido el resultado deseado.



### III. Desarrollo proyecto

#### IMPRESORA PRUSA I3 DUAL

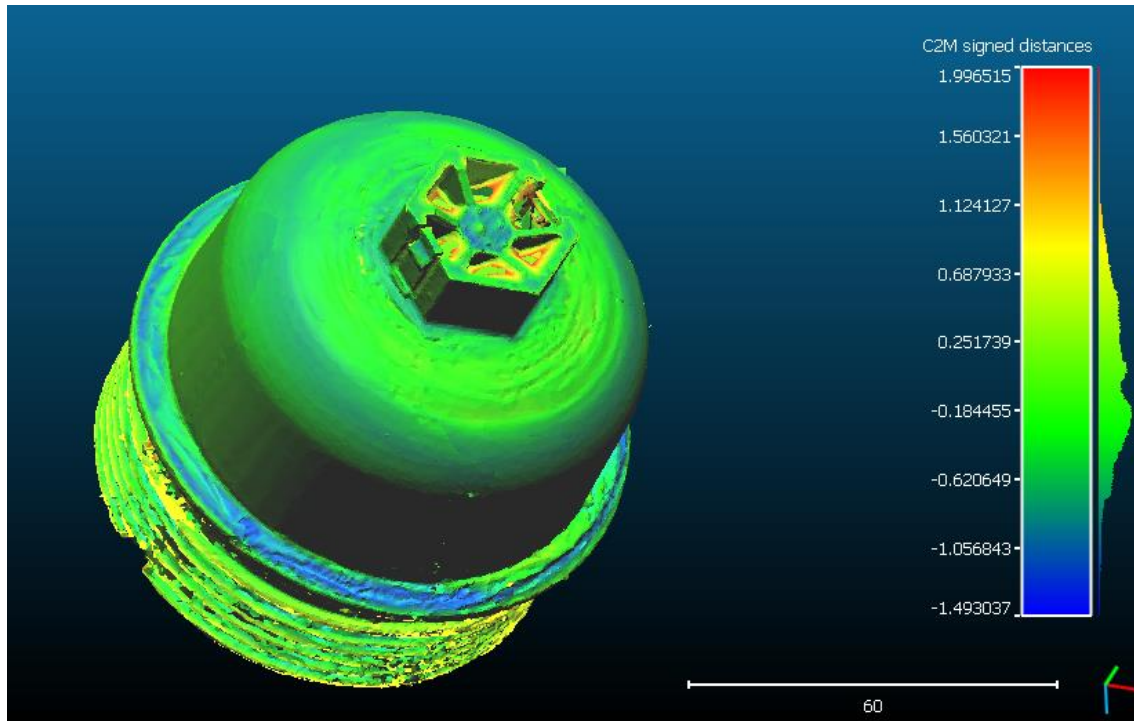


Figura III.43. Resultado de la tapa del filtro aceite realizado por la impresora Prusa después de realizar la comparación mediante el programa CloudCompare.

Podemos observar que las mayores distancias se encuentran en la parte superior, la parte de la tuerca, pero esas distancias las descartamos ya que son errores del escaneo. Y las siguientes distancias las encontramos en el primer escalón, como ya se observaba de forma visual, al eliminar los soportes ese escalón no se ha quedado de forma correcta y contiene muchas imperfecciones.

Y, por último, en la rosca se muestran pequeñas distancias, mostradas de color amarillo, debido a que no se ha podido escáner de forma correcta. Por lo tanto, la completamos con el análisis visual y la rosca ha obtenido un buen resultado, pero se han quedado restos de soporte que deberían ser eliminadas con el post-procesado costoso y preciso con una lima y el cual llevaría demasiado tiempo.

Por el gran tiempo de post-procesado que llevaría la pieza no sería apta para su utilización en el vehículo.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### IMPRESORA XYZ DAVINCI 1.0.

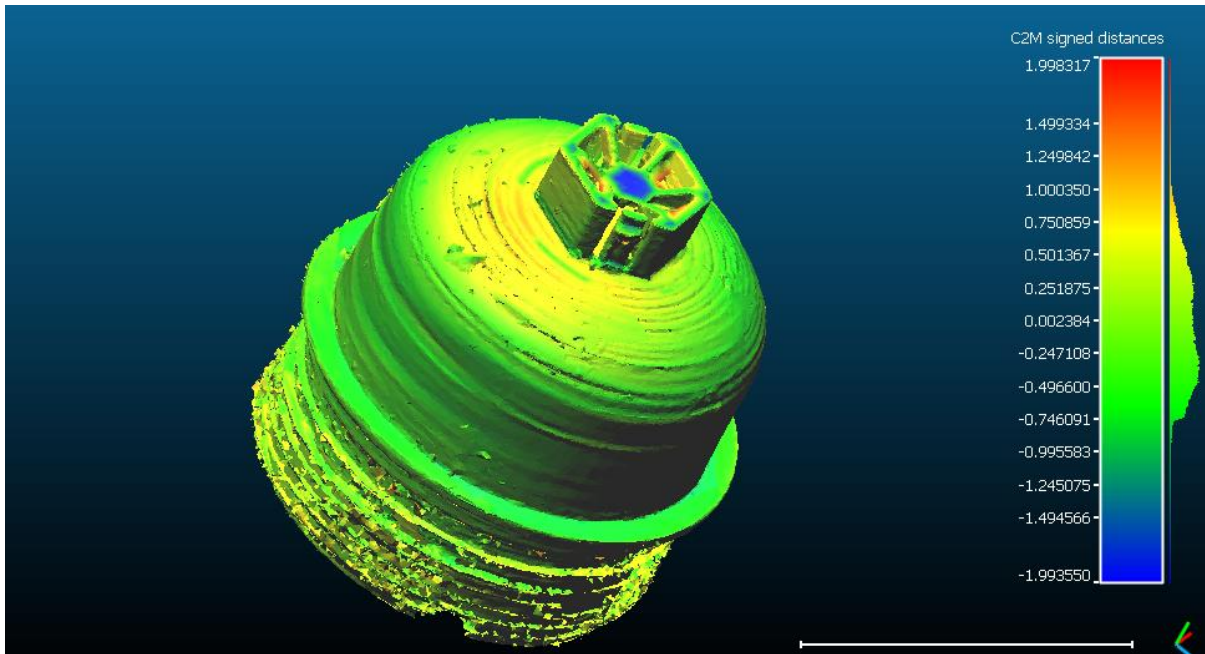


Figura III.44. Comparación del soporte del filtro de aceite realizado por la impresora DaVinci

Y la última pieza a comparar, es la carcasa del filtro de aceite fabricada por la impresora DaVinci, la impresora de un extrusor.

Observamos en la imagen superior que la parte intermedia esta verde, lo que nos indica que esta correcta, pero la parte superior, donde apoya la tuerca se encuentra de color amarillo con sombras rojas, lo que nos dice que es zona está más hundida que el resto. Puede ser debido a las pequeñas grietas que han salido

Otra parte que se muestra incorrecta es la parte central de la tuerca, que se muestra de color azul, indicando que está más baja que la original, puede ser por la reducción de material al eliminar los soportes.

La rosca tenemos el mismo problema que los casos anteriores, el escáner no ha sido capaz de captarla correctamente, por eso no se analiza esa zona en la comparación.

Combinando este análisis con el análisis visual, la pieza no es apta para su utilización, ya que tiene errores de dimensiones y es muy endeble y no soportaría los esfuerzos necesarios.

## **III. Desarrollo proyecto**

---

### **III.7. ESTUDIO ECONOMICO.**

El estudio económico se va a realizar de la carcasa del conmutador de luces, ya que es la pieza más compleja de realizar mediante la impresión 3D y también de gran complejidad en la realización de su molde para la inyección.

Vistos los resultados de las impresiones con diferentes impresoras 3D, se va a tomar la pieza realizada con la impresora Dimension SST 1200ES, al ser la única con la que alcanzamos un acabado favorable para su uso.

Para saber el número de piezas que podríamos fabricar con una impresora 3D antes que con una máquina de inyección para que sea más económico, el estudio económico se va a centrar en calcular el precio por pieza en cada caso. Solamente con el precio no nos podríamos basar para el estudio ya que hay otro gran factor muy importante, como es el tiempo en producir las piezas. Así que, el estudio se centrará en la comparación del precio por pieza y el tiempo en ser fabricadas un número determinado de piezas con una máquina de inyección y una impresora 3D.

#### **III.7.1. COSTE Y TIEMPO MÁQUINA DE INYECCIÓN**

Para el cálculo de los costes de una máquina de inyección el primer valor a definir es el coste de la máquina de inyección, para nuestro caso tomaremos una máquina de gama media capaz de realizar la pieza y que tiene un valor de 40.000€.

La forma de tener este valor en cuenta es sabiendo el coste de amortización que producirá la maquina por hora. Para ello tomaremos un periodo de amortización de 10 años, lo que obtenemos un coste de la maquina por hora de 0,46 €/h.

El siguiente coste por calcular es el coste del molde, para saber el tiempo exacto que se tardaría en diseñar y mecanizar el molde correctamente se necesitaría fabricarlo, para saber un valor aproximado del tiempo que tardaría lo consultamos a diferentes empresas dedicadas a la fabricación de moldes y al ser una pieza con una geometría muy compleja el tiempo de diseño y mecanizado del molde sería aproximadamente de 5 semanas, 840 horas a un precio de operario de 35 €/h aproximadamente sería un total

### III. Desarrollo proyecto

de 29.400 €. A este coste debemos de sumarle el coste de los materiales, que serían alrededor de 3.000 € y también tenemos que tener en cuenta el coste de su montaje y ajuste, que aproximadamente son 4 días, aunque para saber el tiempo exacto deberíamos de montarlo ya que pueden surgir inconvenientes que podrían retrasar el ajuste, a 35 €/h son 3.360 €. Sumando las tres cantidades, el coste del molde sería de 32.760 €

Otro factor para tener en cuenta es el coste del material en cada pieza, el material del que está realizada la pieza es PBT-GF30, consultamos el precio de este material en el software Ces EduPack y es de 2,5 €/Kg, es decir 0,025 €/g, la pieza utilizada 96 g más el 10%, 9,6 g, en el bebedero. Por lo tanto, un coste de 0,26 € por pieza en material.

**Composition overview**

Compositional summary ⓘ

(O2CC6H4CO2(CH2)4)n, glass filler

Material family	ⓘ	Plastic (thermoplastic, semi-crystalline)
Base material	ⓘ	PBT (Polybutylene terephthalate)
% filler (by weight)	ⓘ	30 %
Filler/reinforcement	ⓘ	Glass
Filler/reinforcement form	ⓘ	Short fiber (<5mm)
Polymer code	ⓘ	PBT-GF30

**Composition detail (polymers and natural materials)**

Polymer	ⓘ	70	%
Glass (fiber)	ⓘ	30	%

**Price**

Price	ⓘ	* 2,49	- 2,61	EUR/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 3,68e3	- 4,01e3	EUR/m^3

Figura III.45. Captura del programa Ces EduPack de donde se obtiene el precio del material PBT-GF30

Necesitamos saber el tiempo que tarda en inyectarse cada pieza, la mejor forma de realizar este paso sería comprobándolo en la máquina de inyección, pero como esto no es posible se realiza mediante una simulación de inyección el programa SolidWorks mediante el complemento SolidWorks Plastics.

Fijándonos en la pieza original, obtenemos los puntos de inyección y el valor aproximado de la salida del bebedero. Introducimos estos datos en el programa junto con el material y ajustando la temperatura de inyección para conseguir una buena inyección y obtenemos un valor de 1,42 s por pieza, como se ve en la figura III.45.

### III. Desarrollo proyecto

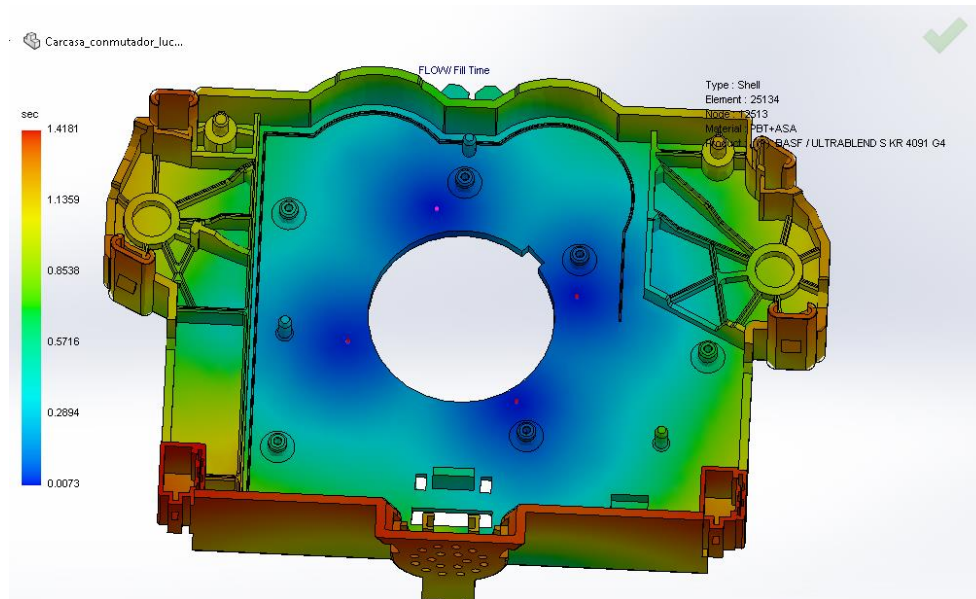


Figura III.46. Análisis de inyección del conmutador de luces

Para tener en cuenta el coste que nos produce la máquina por imprimir una pieza, debemos de saber el precio por hora de la máquina. Para ello tendremos solo en cuenta el factor de consumo eléctrico, aunque para ser más exactos deberíamos de tener en cuenta muchos más factores. El consumo eléctrico aproximado de una máquina de inyección es de 63 Kw/h y consultando la tarifa eléctrica, el precio medio es de 0,13 €/Kw h, es decir un gasto de 8,19 €/h.

Teniendo en cuenta que una pieza tarda en inyectarse 1,42 s, el coste por inyectar la pieza es 0,003 €. Por lo tanto, el precio por pieza sería la suma del coste del material más el precio de inyección. El precio por pieza es de 0,27 €.

Por último, solo faltaría calcular el precio por pieza con la amortización del molde y de la máquina. Como se ha dicho anteriormente el periodo de amortización de la máquina son 10 años y el periodo de amortización del molde es en función del número de piezas a fabricar. La fórmula aplicar en función del número de piezas es:

$$\text{Precio por pieza con amortización} = P_{\text{pieza}} + \frac{C_{\text{molde}}}{N_{\text{piezas}}} + (C_{\text{maq./h}} \cdot t_{\text{iny.}})$$

$$\text{Precio por pieza con amortización} = 0,27 + \frac{32.760}{N_{\text{piezas}}} + \left(0,46 \cdot \frac{1,42}{3600}\right)$$

### III. Desarrollo proyecto

Para saber el tiempo que tardamos en obtener las piezas tenemos en cuenta a partir de que tenemos la pieza diseñada y mandamos la orden de comenzar a realizar el molde, entonces contamos las 840 h de diseño y mecanizado del molde, las 96 h de ajuste y pruebas del molde y el tiempo de inyectar las piezas. Por lo tanto, utilizaremos la fórmula:

$$T_{\text{Obtencion piezas}} = \frac{T_{\text{diseño y mecanizado (h)}} + T_{\text{montaje y ajuste (h)}} + T_{\text{inyeccion (h)}} \cdot N \text{ piezas}}{24}$$

$$\text{Tiempo obtencion piezas (dias)} = \frac{840 + 96 + \frac{N \text{ piezas} \cdot 1,42}{3600}}{24}$$

Tabla III.2. Tabla resumen del coste de inyección y tiempo de fabricación para 808 piezas

COSTE POR INYECCIÓN			
Coste maquina			40.000,00 €
Coste maquina por hora, amortización en 10 años			0,46 €
<b>Coste molde</b>			
	Horas	€/h	32.760,00 €
Diseño y mecanizado del molde	840	35	29.400,00 €
Montaje y ajuste	96	35	3.360,00 €
Materiales molde			3.000,00 €
<b>Coste de inyección</b>			
Material por pieza	g	€/g	Coste
Material pieza	96	0,0025	0,24 €
Material bebedero	9,6	0,0025	0,02 €
Tiempo pieza (s)	1,42		
Precio h por maquina (precio luz)			8,19 €
Precio por tiempo inyección			0,003 €
Precio por pieza			<b>0,27 €</b>
<b>Precio por pieza con amortización del molde y la máquina</b>			<b>40,81 €</b>
<b>Tiempo obtencion piezas por inyección</b>			
	Horas	Días	
Tiempo en inyectar las piezas	0,32	0,01	
Tiempo realización molde	840	35	
Tiempo ajuste y pruebas molde	96	4	
Tiempo Total	936,32	<b>39,01</b>	

## III. Desarrollo proyecto

---

### III.7.2. COSTE Y TIEMPO IMPRESIÓN 3D

El primero por saber es precio de la impresora 3D. Consultándolo con la universidad, la impresora 3D Dimension SST 1200ES tiene un precio de 17.000 €. Al igual que con la máquina de inyección, calculamos el coste de amortización por hora, la amortizaremos en 5 años. Supone un coste de 0,39 €/h por impresora.

Para la impresión 3D no necesitamos molde, así que solo tendremos el coste de ajuste de la impresora, que es aproximadamente de 1 h, a 35 €/h es un coste de 35 €.

El coste de material se divide en dos partes al ser una impresora con doble extrusor, tenemos el material de la pieza (ABS) y el material de soporte (HIPS). El precio por Kg tanto del ABS como del HIPS es de 180 €, es decir, 0,18 €/g. Consultando los datos en el registro de la impresora, obtenemos un gasto de 23,63 metros de ABS y 23,9 metros de HIPS. Como necesitamos saber los gramos, consultamos su densidad (1,19 g/cm<sup>3</sup>) en el software Ces EduPack y lo pasamos a gramos. Serían 67,63 g la pieza y 68,4 el soporte. Lo que supone un gasto total por material de 24,49€.

Para calcular el precio por hora de la impresora, consultamos la entrada de un blog donde han medido el consumo que hace una impresora 3D al fabricar una pieza (Parts, 2015). Obtiene los amperios medidos en una impresión de 2 horas, 0,87 A, con un voltaje de 220 V, multiplicando estos valores con la intensidad al cuadrado, se obtiene una potencia de 0,1167 Kw, con una tarifa de 0,13 KW/h. Un gasto de 0,02 € cada 2 horas, pero aplicamos un factor de rendimiento eléctrico de 0,5. Por lo tanto, tenemos un coste de máquina por hora de 0,02 €.

Sabiendo que el tiempo en imprimir una pieza es de 7,61 horas, obtenemos un coste por impresión por pieza de 0,15 €.

Para saber el precio por pieza sumamos el coste del material más el coste de la máquina por impresión. Obtenemos un precio por pieza de 24,64 €.

Por último, queda calcular el precio por pieza teniendo en cuenta la amortización de la impresora 3D. Para ello, utilizamos la fórmula:

### III. Desarrollo proyecto

$$\text{Precio por pieza con amortizacion} = P_{\text{pieza}} + (C_{\text{maq./h}} \cdot t_{\text{impresión}(h)})$$

$$\text{Precio por pieza con amortizacion} = 24,64 + (0,39 \cdot 7.61)$$

Ya que la amortización es por años y por el número de piezas, el precio de fabricar una pieza siempre va a ser el mismo. Pero para poder comparar con una máquina de inyección, es necesario utilizar más de una impresora 3D, para disminuir el tiempo de impresión. Por lo tanto, añadimos un factor a la formula, el número de impresoras.

$$\text{Precio por pieza con amortizacion} = 24,64 + (N_{\text{impresoras}} \cdot 0,39 \cdot 7.61)$$

Para calcular el tiempo que tarda en obtener un número determinado de piezas tenemos que aplicar la siguiente formula:

$$\text{Tiempo obtencion piezas (Dias)} = \frac{T_{\text{ajuste}(h)} + (T_{\text{impresión}(h)} \cdot N \text{ piezas})}{24}$$

$$\text{Tiempo obtencion piezas (Dias)} = \frac{1 + (7.61 \cdot N \text{ piezas})}{24}$$

Tabla III.3. Tabla resumen del coste y tiempo de fabricación de 808 piezas y 4 impresoras 3D

COSTE POR IMPRESIÓN 3D			
Coste impresora 3D			17.000,00 €
Coste impresora 3D por hora, amortización en 5 años			0,39 €
<b>Coste ajuste impresora</b>			
	Horas	€/h	
Ajuste y puesta en marcha de la impresora	1	35	35,00 €
<b>Coste de impresión</b>			
Material por pieza	g	€/g	Coste
Material pieza (ABS)	67,63	0,18	12,17 €
Material soporte (HIPS)	68,4	0,18	12,31 €
Tiempo por pieza (h)	7,61		
Precio h impresora (precio luz)			0,02 €
Precio por tiempo impresión			0,15 €
Precio por pieza			<b>24,64 €</b>
<b>Precio por pieza con amortización de la máquina</b>			<b>36,45 €</b>



### III. Desarrollo proyecto

---

Tiempo obtencion piezas en función del número de impresoras			
	Impresoras	Horas	Días
Tiempo ajuste impresora		1	<b>0,04</b>
Tiempo Total = Tiempo en imprimir las piezas + tiempo de ajuste	1	6149,88	<b>256,25</b>
	2	3075,44	<b>128,14</b>
	3	2050,63	<b>85,44</b>
	4	1538,22	<b>64,09</b>
	5	1230,78	<b>51,28</b>
	6	1025,81	<b>42,74</b>
	7	879,41	<b>36,64</b>

En estas tablas podemos ver el resumen de todos los datos necesarios y aproximarnos a averiguar cuál sería el número de piezas que podríamos con la impresora 3D de forma más económica que con una máquina de inyección. Pero no podemos ver con claridad los dos datos necesarios, tiempo y coste por pieza.

Para ello, creamos una tabla en Excel donde están agrupados el coste y el tiempo comparando la máquina de inyección y las impresoras 3D.

Para saber el número de piezas aproximado sobre el que tenemos que trabajar, con las tablas anteriores, hacemos una aproximación y obtenemos entre 700 y 750 piezas, entonces esta tabla tendrás unos valores de piezas comprendidos entre esas dos cantidades.

Para saber el número de impresoras, probamos con diferentes números de impresoras hasta que vemos el tiempo y el coste de fabricar las piezas es menor que con la máquina de inyección.

A continuación, se muestra en la tabla III.4. los valores de comparación de la inyección con 6 y 7 impresoras para diferentes números de piezas, ya que son con ese número de impresoras las que deberíamos de utilizar. La comparación se realiza también se realiza con diferente número de impresoras, esos resultados se muestran en los apéndices.

### III. Desarrollo proyecto

Tabla III.4. Tabla comparativa del estudio económico de la máquina de inyección con 6 y 7 impresoras

Numero piezas	Inyección		6 impresoras		7 impresoras	
	Coste	Tiempo (días)	Impresión 3D		Impresión 3D	
			Coste	Tiempo(días)	Coste	Tiempo(días)
1	32.760,27 €	39,00	42,36 €	0,05	45,31 €	0,05
10	3.276,27 €	39,00	42,36 €	0,53	45,31 €	0,45
100	327,87 €	39,00	42,36 €	5,28	45,31 €	4,53
300	109,47 €	39,00	42,36 €	15,85	45,31 €	13,59
400	82,17 €	39,01	42,36 €	21,14	45,31 €	18,12
600	54,87 €	39,01	42,36 €	31,71	45,31 €	27,18
700	47,07 €	39,01	42,36 €	36,99	45,31 €	31,71
710	46,41 €	39,01	42,36 €	37,52	45,31 €	32,16
720	45,77 €	39,01	42,36 €	38,05	45,31 €	32,61
730	45,14 €	39,01	42,36 €	38,58	45,31 €	33,07
735	44,84 €	39,01	42,36 €	38,84	45,31 €	33,29
736	44,78 €	39,01	42,36 €	38,90	45,31 €	33,34
737	44,72 €	39,01	42,36 €	38,95	45,31 €	33,38
738	44,66 €	39,01	42,36 €	39,00	45,31 €	33,43
739	44,60 €	39,01	42,36 €	39,05	45,31 €	33,47
740	44,54 €	39,01	42,36 €	39,11	45,31 €	33,52
750	43,95 €	39,01	42,36 €	39,64	45,31 €	33,97
800	41,22 €	39,01	42,36 €	42,28	45,31 €	36,24
820	40,22 €	39,01	42,36 €	43,33	45,31 €	37,14

Analizando la tabla miramos para un tiempo aproximado de 39 días que es el tiempo que tarda en fabricar las piezas en la máquina de inyección. Para 7 impresoras tardaríamos menos, pero los costes de fabricación por pieza serían mayores y con 5 impresoras, el tiempo sería más. Por lo tanto, nos tenemos que quedar con 6 impresoras 3D, el número de piezas estaría entre 730 y 740 para conseguirlo con un menor coste en el mismo tiempo.

Siendo más exactos, observamos marcado de color rojo, podríamos hacer hasta 738 piezas en el mismo tiempo con un coste de pieza menor con 6 impresoras 3D

## **III. Desarrollo proyecto**

---

### **III.8. CONCLUSIONES**

Como ya sabíamos antes de realizar el trabajo, las impresoras 3D están siendo muy utilizadas en la creación de prototipos en el sector de la inyección del termoplástico y para ajustar las piezas a gusto del fabricante antes de realizar el molde. Pero hemos visto que podemos llegar a conseguir los mismos resultados de calidad de pieza con una impresora 3D que con una máquina de inyección.

La única impresora de las 3 utilizadas capaz de conseguir los mismos resultados ha sido la impresora Dimension SST 1200ES, la más cara de todas. Pero tiene un coste similar al coste de un molde o incluso menor en piezas muy complejas.

Como hemos visto el resultado de acabado superficial es muy bueno, pero este resultado se podría mejorar utilizando el mismo material y ajustando la impresora 3D de manera más precisa y teniendo el archivo digital original.

El otro factor que nos afectaba era el coste y el tiempo de fabricación, que como hemos visto en la realización del estudio económico, para pequeños lotes los podríamos fabricar sin problema en el mismo tiempo a pesar de tardar mucho más tiempo en fabricar una sola pieza, ya que para la impresora 3D el tiempo de preparación una vez tenemos el archivo digital es muy poco en comparación con la máquina de inyección que tenemos que crear el molde.

Una desventaja de la impresora 3D es ese pequeño cambio de calidad respecto a la máquina de inyección, pero con la máquina de inyección tenemos muy poca versatilidad. Versatilidad que conseguimos con las impresoras 3D, ya que cualquier cambio que queramos realizar en una pieza, solo tenemos que hacer el cambio en el archivo y fabricarla al instante con el cambio realizado. También podemos cambiar de pieza a fabricar de manera instantánea, mandando a imprimir otro archivo y en cambio con la máquina de inyección debemos de cambiar el molde, lo que lleva un gran gasto de tiempo de montaje y ajuste del nuevo molde.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

Después de cumplir los objetivos marcados y analizar detenidamente los resultados obtenidos se puede decir que aparte de para crear los prototipos, una impresora 3D es capaz de fabricar las piezas con una calidad muy similar a una máquina de inyección de plástico. Por lo tanto, podría llegar a sustituir a una máquina de inyección para lotes de fabricación pequeños.

Actualmente podría sustituir a una máquina de inyección para pequeños lotes, pero en un futuro se podrán llegar incluso a sustituir hasta para grandes lotes, ya que su mayor problema como hemos visto es el tiempo de inyección y la tecnología de la impresión 3D es una tecnología que está en evolución y lo está haciendo de una manera muy rápida y su tiempo de impresión se reducirá drásticamente con nuevas tecnologías.

## **IV. APÉNDICES**

# APÉNDICES



## IV. Apéndices

---

### IV.1. REFERENCIAS

Aula BQ, P. (22 de Septiembre de 2014). *MiBQyyo*. Obtenido de <http://www.mibqyyo.com/articulos/2014/09/22/asi-funciona-la-extrusion-en-las-impresoras-3d>

Austin, T. U. (6 de Diciembre de 2012). *utexas*. Obtenido de <https://www.me.utexas.edu/news/news/selective-laser-sintering-birth-of-an-industry>

BluePrinter3D. (28 de Noviembre de 2011). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=vVOtKSKyIvI>

CAPGC, C. d. (2016). *Notas de futuro 2/2016 Impresoras 3D*.

Collado Fernandez, V. (21 de Octubre de 2016). *Mejora del sistema de extrusión de un impresoras 3D*. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/98538/ColladoFernandezVictorTFG-BCN3D\\_Sigma.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/98538/ColladoFernandezVictorTFG-BCN3D_Sigma.pdf)

Colorfabb. (s.f.). *Colorfabb*. Obtenido de <http://colorfabb.com/specials>

CustomMade. (17 de Noviembre de 2014). *CustomMade*. Obtenido de <https://www.custommade.com/blog/power-of-3d-printing/>

Escobar, C. (23 de Marzo de 2013). *Impresoras 3D*. Obtenido de <https://impresoras3d.com/blogs/noticias/102825479-breve-historia-de-la-impresion-3d>

Filament2print. (s.f.). *Filament2print*. Obtenido de <https://filament2print.com/es/179-filamentos>

Impresoras3d. (s.f.). *Impresoras3d*. Obtenido de <https://impresoras3d.com/collections/filamento/pva>

## IV. Apéndices

---

Mariano. (17 de Febrero de 2013). *Blog dedicado a la Tecnología de los plasticos*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es/2013/02/impresion-3d.html>

MDF, I. i. (6 de Junio de 2011). *Youtube*. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=M\\_qSnjKN7f8](https://www.youtube.com/watch?v=M_qSnjKN7f8)

Orpi. (16 de Enero de 2015). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=7ExrQZ9Z7BM&t=58s>

Parts, P. (5 de Febrero de 2015). *Printed Parts*. Obtenido de <http://printedparts.blogspot.com.es/>

Piacente, P. J. (11 de Noviembre de 2009). *Tendencias21*. Obtenido de [http://www.tendencias21.net/Crean-un-haz-de-electrones-capaz-de-disenar-piezas-y-objetos-de-metal\\_a3813.html](http://www.tendencias21.net/Crean-un-haz-de-electrones-capaz-de-disenar-piezas-y-objetos-de-metal_a3813.html)

Sanchez, S. (30 de Abril de 2015). *3dnatives*. Obtenido de <http://www.3dnatives.com/es/fusion-por-haz-de-electrones-les-explicamos-todo/>

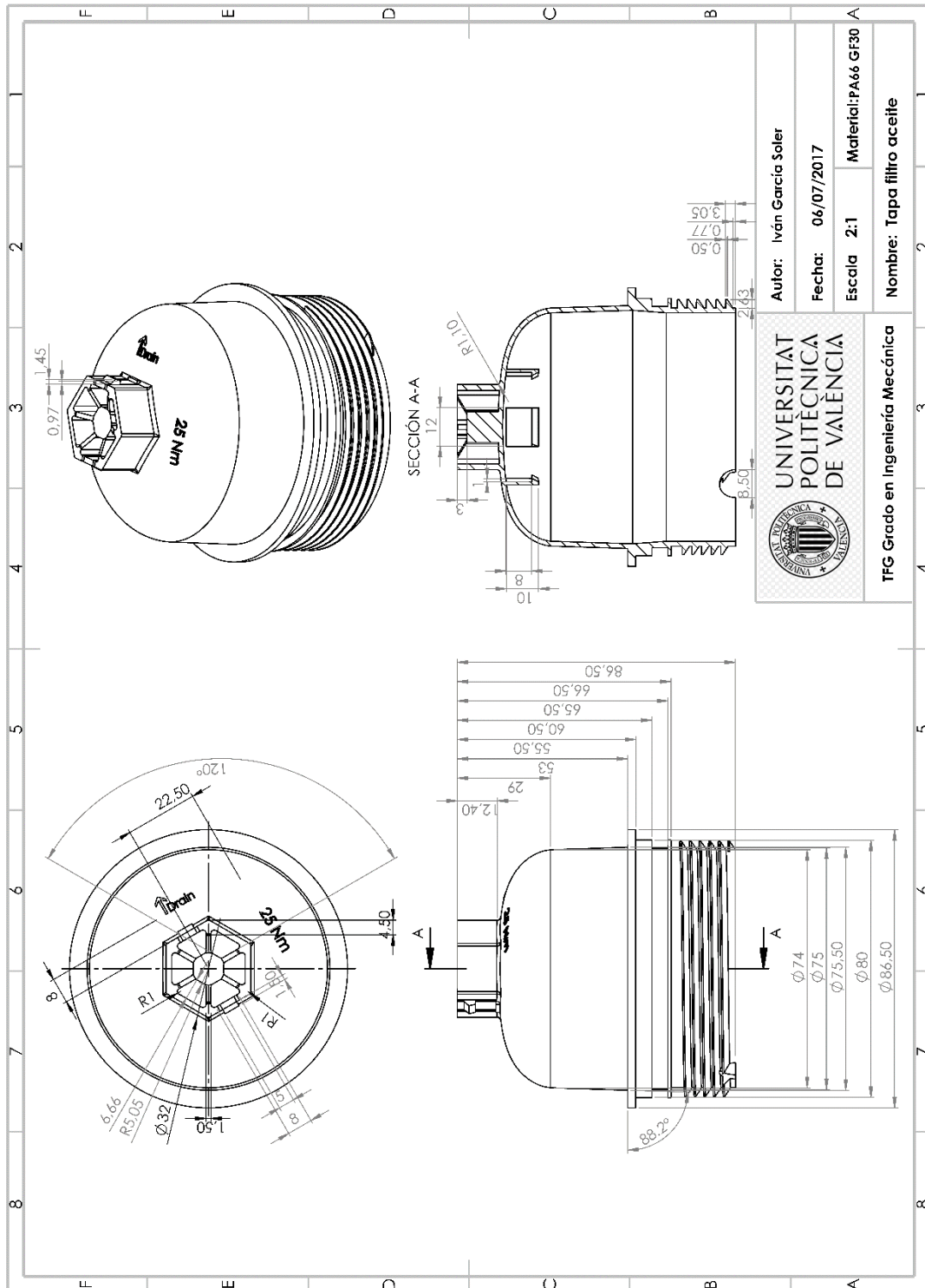
Stratasys. (2017). *Stratasys*. Obtenido de <https://www.stratasysdirect.com/solutions/direct-metal-laser-sintering/>

Wikipedia. (8 de Junio de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n\\_3D](https://es.wikipedia.org/wiki/Impresi%C3%B3n_3D)

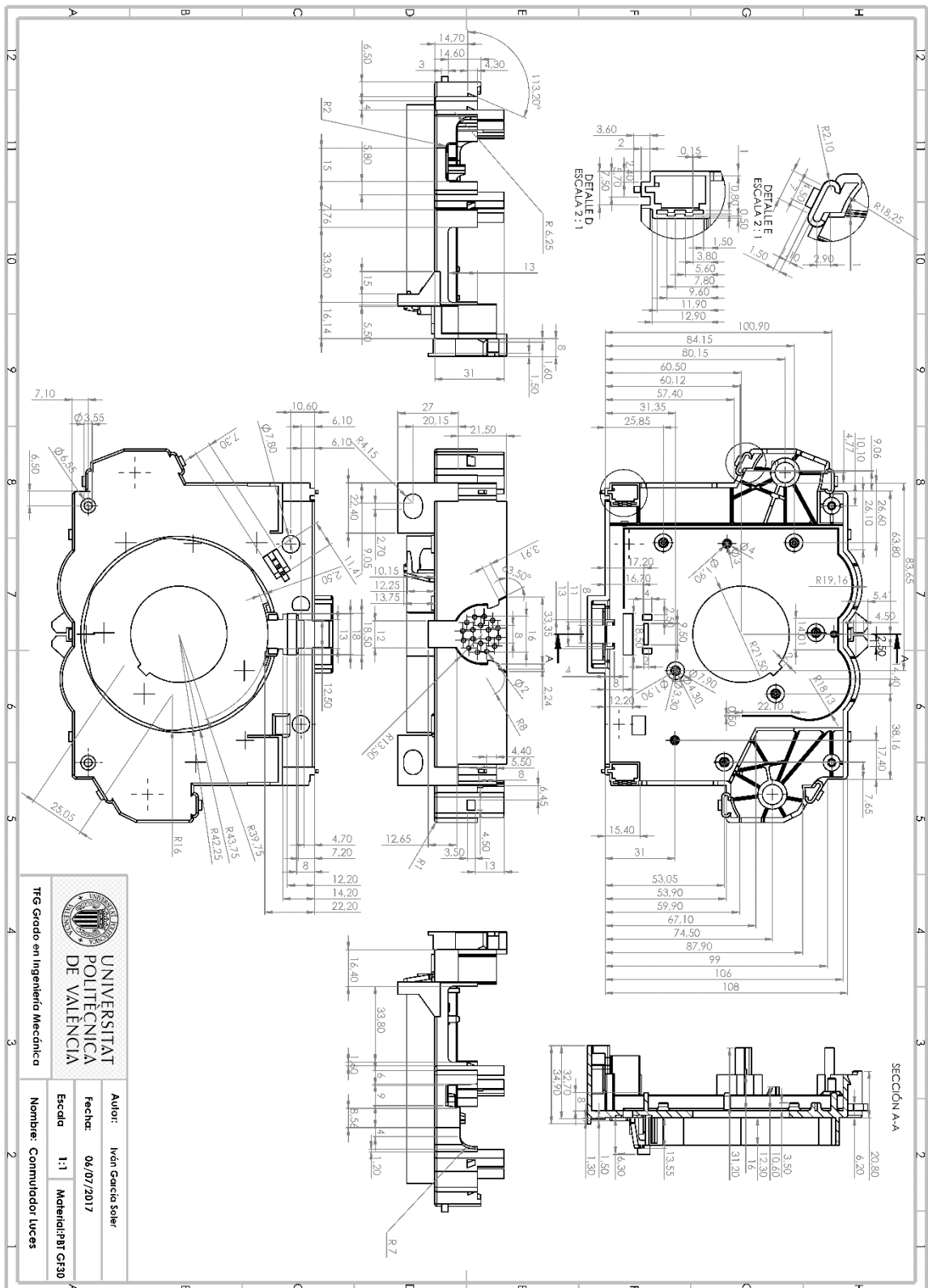


## IV. Apéndices

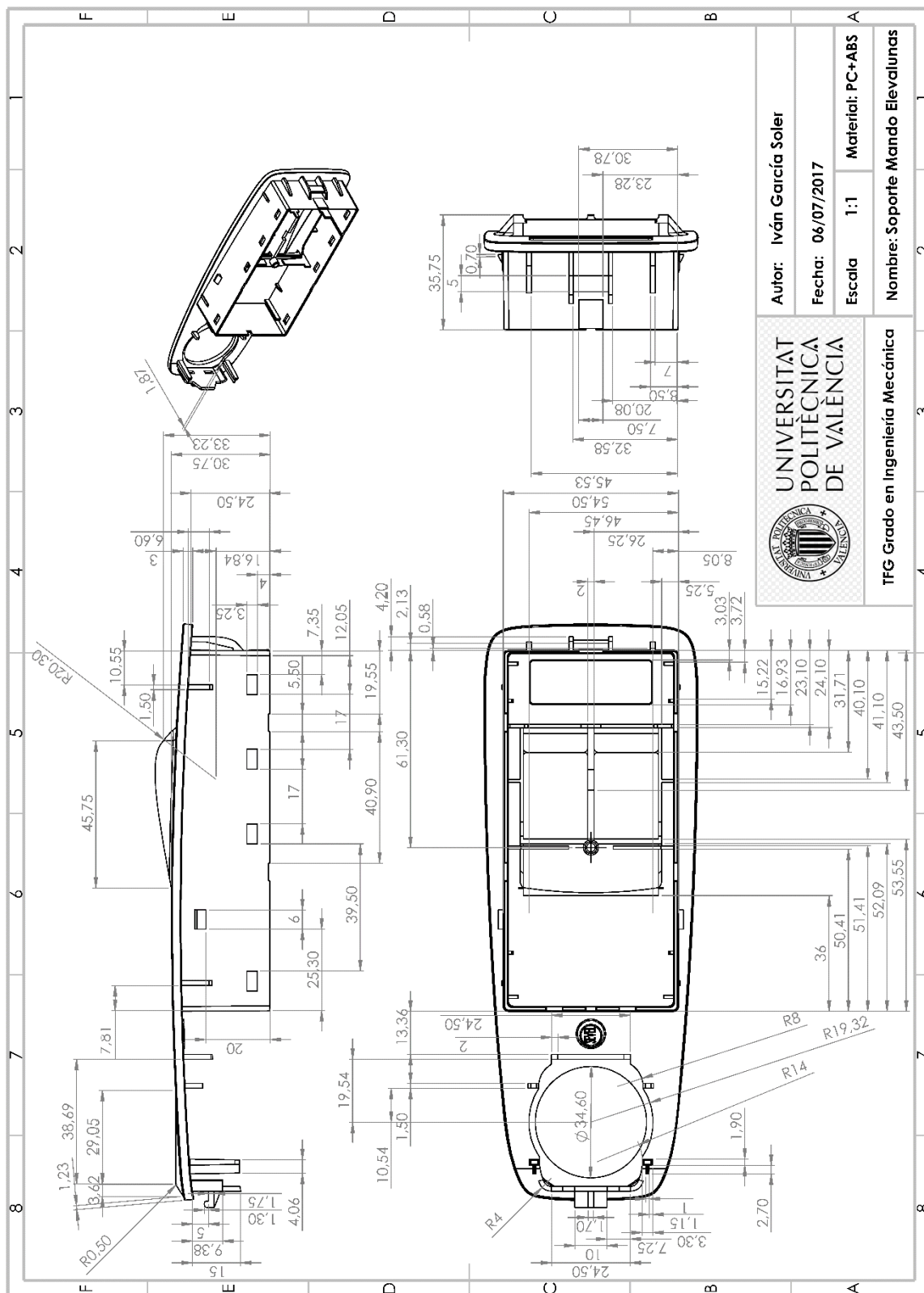
### IV.2. PLANOS ACOTADOS.




# IV. Apéndices



# IV. Apéndice



 <b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b>		Autor: Iván García Soler Fecha: 06/07/2017 Escala: 1:1 Material: PC+ABS
<b>TFG Grado en Ingeniería Mecánica</b>		Nombre: Soporte Mando Elevallunas

## **IV. Apéndices**

---

## IV. Apéndices

### IV.3. TABLAS ESTUDIO ECONÓMICO.

COSTE POR INYECCIÓN				COSTE POR IMPRESIÓN 3D				
<b>Coste máquina</b>		40.000,00 €		<b>Coste impresora</b>		17.000,00 €		
Coste máquina por hora, amortización en 10 años		0,46 €		Coste impresora por hora, amortización en 5 años		0,39 €		
<p>Número de piezas 737</p>				<p>Número impresoras 6</p>				
<b>Coste molde</b>		32.760,00 €		<b>Coste ajuste impresora</b>		35,00 €		
Diseño y mecanizado del molde	840	€/h	35	Ajuste y puesta en marcha de la impresora	1	€/h	35	
Montaje y ajuste	96		35					
Material molde			3.000,00 €					
<b>Coste de inyección</b>				<b>Coste de impresión</b>				
Material por pieza	g	€/g	Coste	Material por pieza	g	€/g	Coste	
Material pieza	96	0,0025	0,24 €	Material pieza (ABS)	67,63	0,18	12,17 €	
Material bebedero	9,6	0,0025	0,02 €	Material soporte (HIPS)	68,4	0,18	12,31 €	
Tiempo pieza (s)	1,42			Tiempo por pieza (h)	7,61			
Precio h por máquina (precio luz)			8,19 €	Precio h impresora (precio luz)			0,02 €	
Precio por tiempo inyección			0,003 €	Precio por tiempo impresión			0,15 €	
Precio por pieza			<b>0,27 €</b>	Precio por pieza			<b>24,64 €</b>	
<b>Precio por pieza con amortización del molde y la máquina</b>			<b>44,72 €</b>	<b>Precio por pieza con amortización de la máquina</b>				<b>42,36 €</b>
<b>Tiempo obtención piezas por inyección</b>				<b>Tiempo obtención piezas en función del número de impresoras</b>				
Tiempo en inyectar las piezas		0,29		Impresoras		Horas		
Tiempo realización molde		840		1		5609,57		
Tiempo ajuste y pruebas molde		96		2		2805,29		
Tiempo Total		936,29		3		1870,52		
				4		1403,14		
				5		1122,71		
				6		935,76		
				7		802,22		
						Días		
						0,04		
						233,73		
						116,89		
						77,94		
						58,46		
						46,78		
						38,99		
						33,43		
<p>Tiempo Total = Tiempo en imprimir las piezas + tiempo de ajuste</p>								

## IV. Apéndices

Numero pieza	Inyección		1 Impresora		2 impresoras		3 impresoras		4 impresoras	
	Coste	Tiempo (dias)	Coste	Tiempo(dias)	Coste	Tiempo(dias)	Coste	Tiempo(dias)	Coste	Tiempo(dias)
1	32.760,27 €	39,00	27,59 €	0,32	30,54 €	0,16	33,50 €	0,11	36,45 €	0,08
10	3.276,27 €	39,00	27,59 €	3,17	30,54 €	1,59	33,50 €	1,06	36,45 €	0,79
100	327,87 €	39,00	27,59 €	31,71	30,54 €	15,85	33,50 €	10,57	36,45 €	7,93
300	109,47 €	39,00	27,59 €	95,13	30,54 €	47,56	33,50 €	31,71	36,45 €	23,78
400	82,17 €	39,01	27,59 €	126,83	30,54 €	63,42	33,50 €	42,28	36,45 €	31,71
600	54,87 €	39,01	27,59 €	190,25	30,54 €	95,13	33,50 €	63,42	36,45 €	47,56
700	47,07 €	39,01	27,59 €	221,96	30,54 €	110,98	33,50 €	73,99	36,45 €	55,49
710	46,41 €	39,01	27,59 €	225,13	30,54 €	112,56	33,50 €	75,04	36,45 €	56,28
720	45,77 €	39,01	27,59 €	228,30	30,54 €	114,15	33,50 €	76,10	36,45 €	57,08
730	45,14 €	39,01	27,59 €	231,47	30,54 €	115,74	33,50 €	77,16	36,45 €	57,87
735	44,84 €	39,01	27,59 €	233,06	30,54 €	116,53	33,50 €	77,69	36,45 €	58,26
736	44,78 €	39,01	27,59 €	233,37	30,54 €	116,69	33,50 €	77,79	36,45 €	58,34
737	44,72 €	39,01	27,59 €	233,69	30,54 €	116,85	33,50 €	77,90	36,45 €	58,42
738	44,66 €	39,01	27,59 €	234,01	30,54 €	117,00	33,50 €	78,00	36,45 €	58,50
739	44,60 €	39,01	27,59 €	234,32	30,54 €	117,16	33,50 €	78,11	36,45 €	58,58
740	44,54 €	39,01	27,59 €	234,64	30,54 €	117,32	33,50 €	78,21	36,45 €	58,66
750	43,95 €	39,01	27,59 €	237,81	30,54 €	118,91	33,50 €	79,27	36,45 €	59,45
800	41,22 €	39,01	27,59 €	253,67	30,54 €	126,83	33,50 €	84,56	36,45 €	63,42
820	40,22 €	39,01	27,59 €	260,01	30,54 €	130,00	33,50 €	86,67	36,45 €	65,00

## IV. Apéndices

Numero pieza	Inyección		5 impresora				6 impresoras				7 impresoras				8 impresoras			
	Coste	Tiempo (días)	Impresión 3D		Impresión 3D		Impresión 3D		Impresión 3D		Impresión 3D		Impresión 3D		Impresión 3D			
			Coste	Tiempo(días)	Coste	Tiempo(días)	Coste	Tiempo(días)	Coste	Tiempo(días)	Coste	Tiempo(días)	Coste	Tiempo(días)	Coste	Tiempo(días)		
1	32.760,27 €	39,00	39,41 €	0,06	42,36 €	0,05	45,31 €	0,05	48,27 €	0,04	45,31 €	0,05	48,27 €	0,04	48,27 €	0,04		
10	3.276,27 €	39,00	39,41 €	0,63	42,36 €	0,53	45,31 €	0,45	48,27 €	0,40	45,31 €	0,45	48,27 €	0,40	48,27 €	0,40		
100	327,87 €	39,00	39,41 €	6,34	42,36 €	5,28	45,31 €	4,53	48,27 €	3,96	45,31 €	4,53	48,27 €	3,96	48,27 €	3,96		
300	109,47 €	39,00	39,41 €	19,03	42,36 €	15,85	45,31 €	13,59	48,27 €	11,89	45,31 €	13,59	48,27 €	11,89	48,27 €	11,89		
400	82,17 €	39,01	39,41 €	25,37	42,36 €	21,14	45,31 €	18,12	48,27 €	15,85	45,31 €	18,12	48,27 €	15,85	48,27 €	15,85		
600	54,87 €	39,01	39,41 €	38,05	42,36 €	31,71	45,31 €	27,18	48,27 €	23,78	45,31 €	27,18	48,27 €	23,78	48,27 €	23,78		
700	47,07 €	39,01	39,41 €	44,39	42,36 €	36,99	45,31 €	31,71	48,27 €	27,74	45,31 €	31,71	48,27 €	27,74	48,27 €	27,74		
710	46,41 €	39,01	39,41 €	45,03	42,36 €	37,52	45,31 €	32,16	48,27 €	28,14	45,31 €	32,16	48,27 €	28,14	48,27 €	28,14		
720	45,77 €	39,01	39,41 €	45,66	42,36 €	38,05	45,31 €	32,61	48,27 €	28,54	45,31 €	32,61	48,27 €	28,54	48,27 €	28,54		
730	45,14 €	39,01	39,41 €	46,29	42,36 €	38,58	45,31 €	33,07	48,27 €	28,93	45,31 €	33,07	48,27 €	28,93	48,27 €	28,93		
735	44,84 €	39,01	39,41 €	46,61	42,36 €	38,84	45,31 €	33,29	48,27 €	29,13	45,31 €	33,29	48,27 €	29,13	48,27 €	29,13		
736	44,78 €	39,01	39,41 €	46,67	42,36 €	38,90	45,31 €	33,34	48,27 €	29,17	45,31 €	33,34	48,27 €	29,17	48,27 €	29,17		
737	44,72 €	39,01	39,41 €	46,74	42,36 €	38,95	45,31 €	33,38	48,27 €	29,21	45,31 €	33,38	48,27 €	29,21	48,27 €	29,21		
738	44,66 €	39,01	39,41 €	46,80	42,36 €	39,00	45,31 €	33,43	48,27 €	29,25	45,31 €	33,43	48,27 €	29,25	48,27 €	29,25		
739	44,60 €	39,01	39,41 €	46,86	42,36 €	39,05	45,31 €	33,47	48,27 €	29,29	45,31 €	33,47	48,27 €	29,29	48,27 €	29,29		
740	44,54 €	39,01	39,41 €	46,93	42,36 €	39,11	45,31 €	33,52	48,27 €	29,33	45,31 €	33,52	48,27 €	29,33	48,27 €	29,33		
750	43,95 €	39,01	39,41 €	47,56	42,36 €	39,64	45,31 €	33,97	48,27 €	29,73	45,31 €	33,97	48,27 €	29,73	48,27 €	29,73		
800	41,22 €	39,01	39,41 €	50,73	42,36 €	42,28	45,31 €	36,24	48,27 €	31,71	45,31 €	36,24	48,27 €	31,71	48,27 €	31,71		
820	40,22 €	39,01	39,41 €	52,00	42,36 €	43,33	45,31 €	37,14	48,27 €	32,50	45,31 €	37,14	48,27 €	32,50	48,27 €	32,50		