

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**
CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

“Diseño, desarrollo y optimización de soporte para Smartphone y tablet”

Presentado por:

D. Sergio Úbeda Pla

Dirigido por:

Dr. Teodomiro Boronat Vitoria

D. Luis Quiles Carrillo

Junio 2019

RESUMEN

“Diseño, desarrollo y optimización de soporte para smartphone y tablet”

El principal problema de la industria de la transformación de materiales poliméricos termoplásticos, en concreto para piezas realizadas por moldeo por inyección, es el alto coste de la fabricación del molde. Este coste es consecuencia de la dificultad del diseño, a los materiales utilizados, a los tiempos de mecanizado y el posterior ajuste y puesta en marcha en máquina. Este proceso requiere una alta inversión en recursos, tiempo y dinero.

Una posible solución a este problema es la utilización de la fabricación aditiva que permite obtener las mismas piezas reduciendo considerablemente la inversión inicial, el tiempo de desarrollo y además aporta una alta flexibilidad de fabricación. Todo esto está provocando una alta tasa de adopción de esta tecnología. La fabricación aditiva proporciona una gran facilidad de obtener físicamente las ideas y proyectos y ofrece a las personas formas de abordar soluciones que de otro modo habrían sido imposibles de imaginar. La utilización de la fabricación aditiva en muchos campos está en auge, y cada vez se obtienen mejores resultados y características. Con este planteamiento se ha desarrollado el trabajo, con el objetivo de desarrollar un soporte para móvil/tablet.

La primera etapa del proyecto consiste en analizar las funciones estéticas y mecánicas de los soportes propuestos, para ello se ha realizado un modelizado en formato 3D utilizando el programa Solidworks. A continuación, se ha realizado un análisis de la fabricación por deposición de fundido para optimizar el proceso, y por último se han fabricado los prototipos propuestos.

Una vez se ha realizado el análisis y fabricación de los soportes, se ha elaborado un estudio económico. De esta manera se analiza la viabilidad económica de la fabricación de los soportes mediante técnicas de fabricación aditiva y se compara los costes de fabricación por inyección.

El Trabajo Final de Grado conecta diversas disciplinas en el ámbito de la Ingeniería Mecánica: prediseño y optimización de diseños mediante estudio de estados tensionales y dimensionamiento final, estudio de fabricación y pre-análisis de costes

Palabras clave: Fabricación aditiva, soporte smartphone/tablet, elementos finitos, diseño 3D, deposición fundida.

SUMMARY

“Design, development and optimization of support for smartphone and tablet”

The main problem with the industry of the transformation of thermoplastic polymeric materials, in particular for parts made by injection moulding, is the high cost of manufacturing the mould. This cost is a consequence of the difficulty of the design, the materials used, the machining times and the subsequent adjustment and start-up of the machine. This process requires a high investment in resources, time and money.

A possible solution to this problem is the use of additive manufacturing that allows the same parts to be obtained considerably reducing the initial investment, development time and also provides high manufacturing flexibility. All this is causing a high rate of adoption of this technology. Additive manufacturing provides a great ease of physically obtaining ideas and projects and offers people ways to approach solutions that would otherwise have been impossible to imagine. The use of additive manufacturing in many fields is increasing, and better results and features are being obtained. With this approach the work has been developed, with the aim of developing a support for mobile/tablet.

The first stage of the project consists of analysing the aesthetic and mechanical functions of the proposed supports. For this purpose, 3D modeling has been carried out using the Solidworks software. An analysis of the production by melt deposition was then carried out in order to optimise the process and finally, the proposed prototypes were produced.

Once the analysis and manufacture of the supports has been carried out, an economic study has been done. In this way, the economic viability of the manufacture of the supports is analysed using additive manufacturing techniques and the costs of manufacturing by injection moulding are compared.

The Final Degree Work connects several disciplines in the field of Mechanical Engineering: pre-design and optimization of designs through study of stress states and final sizing, study of manufacturing and pre-analysis of costs.

Keywords: Additive manufacturing, smartphone/tablet support, finite elements, 3D design, cast deposition.

RESUM

“Disseny, desenvolupament i optimització de suport per a telèfon intel·ligent i tablet”

El principal problema de la indústria de la transformació de materials polimèrics termoplàstics, en concret per a peces realitzades per modeles per injecció, és l'alt cost de la fabricació del motlle. Aquest cost és conseqüència de la dificultat del disseny, als materials utilitzats, als temps de mecanitzat i el posterior ajust i posada en marxa en màquina. Aquest procés requereix una alta inversió en recursos, temps i diners.

Una possible solució a aquest problema és la utilització de la fabricació additiva que permet obtenir les mateixes peces reduint considerablement la inversió inicial, el temps de desenvolupament i a més aporta una alta flexibilitat de fabricació. Tot això està provocant una alta taxa d'adopció d'aquesta tecnologia. La fabricació additiva proporciona una gran facilitat d'obtenir físicament les idees i projectes i ofereix a les persones formes d'abordar solucions que d'una altra manera haurien sigut impossibles d'imaginar. La utilització de la fabricació additiva en molts camps està en auge, i cada vegada s'obtenen millors resultats i característiques. Amb aquest plantejament s'ha desenvolupat el treball, amb l'objectiu de desenvolupar un suport per a mòbil/tablet.

La primera etapa del projecte consisteix a analitzar les funcions estètiques i mecàniques dels suports proposats, per a això s'ha realitzat un modelitzat en format 3D utilitzat el programa *Solidworks. A continuació, s'ha realitzat una anàlisi de la fabricació per deposició de fosa per a optimitzar el procés, i finalment s'han fabricat els prototips proposats.

Una vegada s'ha realitzat l'anàlisi i fabricació dels suports, s'ha elaborat un estudi econòmic. D'aquesta manera s'analitza la viabilitat econòmica de la fabricació dels suports mitjançant tècniques de fabricació additiva i es compara els costos de fabricació per injecció.

El Treball Final de Grau connecta diverses disciplines en l'àmbit de l'Enginyeria Mecànica: predisseny i optimització de dissenys mitjançant estudi d'estats tensionals i dimensionament final, estudi de fabricació i pre-anàlisi de costos.

Paraules clau: Fabricació additiva, suport telèfon intel·ligent/tablet, elements finits, deposició fosa.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1. HISTORIA DE LA FABRICACIÓN ADITIVA.....	1
I.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES	2
I.3. TECNOLOGÍA Y MATERIALES.....	3
I.3.1 Tecnologías	3
I.3.2 Materiales	11
I.3.2.1. Poliméricos	11
I.3.2.2. Metales	12
I.3.2.3. Cerámicos.....	12
I.4. ACTIVIDADES Y FUTURAS APLICACIONES	12
I.4.1. Futuras aplicaciones.....	12
I.4.2. Futuras tecnologías.....	15
II. OBJETIVOS.....	17
III. DESARROLLO DEL PROYECTO	19
III.1. IMPRESIÓN POR DEPOSICIÓN DE FUNDIDO.....	19
III.1.1. Fases.....	19
III.1.2. Tecnología.....	20
III.1.3. Material.....	21
III.1.3.1. ABS.....	22
III.1.3.2. PLA	23
III.1.3.3. Propiedades.....	23
III.1.4. Aplicaciones informáticas	25
III.1.5. Modelo impresora.....	26
III.2. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....	26
III.2.1. Diseño inicial prototipo 1	26

III.2.2. Diseño inicial prototipo 2	30
III.2.3. Diseño inicial prototipo 3	33
III.3. NORMATIVA APLICABLE.	36
III.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.....	37
III.5. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	37
III.6. SIMULACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS (FEM).....	38
III.6.1. Modelo FEM proyecto.	38
III.6.1.1. Aplicación de estados tensionales.....	38
III.6.1.2. Aplicación de materiales.....	42
III.6.1.3. Aplicación de las restricciones.....	44
III.6.1.3. Aplicación de mallado.....	45
III.6.2. Análisis de estados tensionales y deformaciones.....	47
III.6.2.1. Prototipo 1.....	47
III.6.2.2. Prototipo 2 Rediseñado	50
III.6.2.3. Prototipo 3 Rediseñado	54
III.6.3. Trazado de Factor de Seguridad.....	58
III.7. DISEÑO FINAL PROTOTIPOS.....	59
III.7.1. Prototipo 1	59
III.7.2. Prototipo 2	60
III.7.3. Prototipo 3	64
III.8. FABRICACIÓN.....	65
III.8.1. Posiciones de impresión.....	65
III.8.1.1. Prototipo 1.....	65
III.8.1.2. Prototipo 2 rediseñado.....	66
III.8.1.3. Prototipo 3 rediseñado.....	67
III.8.2. Parámetros de Impresión	67
III.8.2.1. Calidad.....	67

III.8.2.2. Perímetro	68
III.8.2.3. Relleno	68
III.8.2.4. Material	68
III.8.2.5. Velocidad	69
III.8.2.6. Desplazamiento	69
III.8.2.7. Refrigeración.....	69
III.8.2.8. Soporte	69
III.8.3. Puesta en marcha	70
III.8.3.1. BCN3D Sigmax.....	70
III.8.3.1. Stratasys Dimension 1200	75
III.9. ESTUDIO ECONÓMICO	77
III.9.1. Coste Unidad prototipos Sigmax	77
III.9.1.1. Prototipo 1.....	78
III.9.1.2. Prototipo 2 rediseñado.....	78
III.9.1.3. Prototipo 3 rediseñado.....	78
III.9.2. Coste Unidad prototipos Stratasys Dimension 1200	79
III.9.2.1. Prototipo 1.....	79
III.9.2.2. Prototipo 2 rediseñado.....	80
III.9.2.3. Prototipo 3 rediseñado.....	80
III.9.3. Comparativa Costes inyección/Impresión 3D.....	80
III.10. CONCLUSIONES.....	81
AGRADECIMIENTOS	83
IV. APÉNDICES	85
IV.1 Referencias.....	85
IV.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS IMPRESORAS	87
IV.3. NORMATIVA.....	91
IV.4. PLANOS ACOTADOS.	92

ABREVIATURAS

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
ASA	Acrylonitrile Styrene Acrylate
BJ	Binder jetting
CAD	Computer Aided Design
DLP	Digital Light Processing
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
FDM	Fused Deposition Modeling
FEM	Finite element method
HDPE	High Density Polyethylene
HIPS	High Impact Polystyrene
LMD	Laser Metal Deposition
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi-jet Modeling
PA	Polyamide
PC	Polycarbonate
PEI	Polyetherimide
PET	Polyethylene Terephthalate
POM	Polyoxymethylene
PLA	Polyactic Acid

PP	Polypropylene
PS	Polystyrene
TPE	Thermoplastic Elastomers
PVA	Polyvinyl Acetate
SLA	Stereolithography Apparatus
SLS	Selective Laser Sintering
STL	Standard Triangle Language
UV	Ultraviolet

LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. Tecnología de impresión FDM.	4
Figura I.2. Tecnología de impresión LOM.	5
Figura I.3. Tecnología de impresión SLA.	6
Figura I.4. Tecnología de impresión DLP.	7
Figura I.5. Tecnología de impresión MJM.	7
Figura I.6. Tecnología de impresión SLS.	8
Figura I.7. Tecnología de impresión EBM.	9
Figura I.8. Tecnología de impresión DMLS.	9
Figura I.9. Tecnología de impresión LMD.	10
Figura I.10. Tecnología de impresión BJ.	11
Figura I.11. Airbus A-50 XWB.	13
Figura I.12. a) Imagen edificio de 5 plantas en China, b) Oficinas en Dubái.	14
Figura I.13. Proceso de impresión 3D de corazón funcional con células humanas.	15
Figura I.14. Imagen del nuevo proceso de impresión 3D.	16
Figura III.1. Impresión por deposición de fundido (FDM).	21
Figura III.2. Imagen de la estructura del ABS.	22
Figura III.3. Imagen de la estructura del PLA.	23
Figura III.4. a) Definición de las dimensiones de la base del soporte, b) vista de la base del soporte antes de aplicar la herramienta extruir de 15 mm en dirección perpendicular a la base.	27
Figura III.5. Imagen de la figura después de aplicar la función redondeo.	27
Figura III.6. Operación extruir corte a lo largo de toda la base del soporte.	28

Figura III.7. Imagen del croquis del pilar realizado en la vista lateral.....	28
Figura III.8. a) Definición de las dimensiones del croquis donde se ubica la Tablet, b) extrusión de la base donde se coloca la Tablet.	29
Figura III.9. Aplicación de la operación corte barrido para el cable del cargador.	29
Figura III.10. Dimensionamiento de la base del prototipo 2.	30
Figura III.11. Vista del croquis del pilar.	31
Figura III.12. Vista del croquis del cuerpo del soporte donde va ubicada la Tablet antes de realizar la operación extruir de 110 mm.	31
Figura III.13. Imagen del soporte una vez realizado el corte.	32
Figura III.14. Vista del soporte una vez realizados los redondeos de 10 mm de radio.	33
Figura III.15. a) Vista del plano paralelo al plano alzado, b) operación recubrir en SolidWorks.	33
Figura III.16. a) Croquización del pilar del soporte, b) Vista del pilar después de haber aplicado una extrusión de 5 mm.	34
Figura III.17. a) Dimensionamiento de la parte superior del soporte, b) Imagen preliminar antes de aplicar una extrusión de 2,5 mm.	35
Figura III.18. a) Vista preliminar de la extrusión de 90 mm, b) Croquis de la pestaña que sujeta la Tablet.	35
Figura III.19. Diseño final del prototipo 3 una vez realizados los corte con la operación extrir – corte.	36
Figura III.20. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 1.	39
Figura III.21. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 2.	40
Figura III.22. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 2 rediseñado.	41
Figura III.23. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 3.	42
Figura III.25. Propiedades del ABS.	43

Figura III.25. Propiedades del PLA.	44
Figura III.26. Aplicación geometría fija.	45
Figura III.27. Densidad de malla.	46
Figura III.28. Aplicación de malla.	46
Figura III.29. Máxima tensión alcanzada en el prototipo 1 con el empleo de ABS.	47
Figura III.30. Máximo desplazamiento producido en el prototipo 1 con ABS.	48
Figura III.31. Máxima tensión alcanzada en el prototipo 1 fabricado con PLA.	49
Figura III.32. Máximo desplazamiento producido en el prototipo 1 con material PLA.	50
Figura III.33. Máximas tensiones producidas en el prototipo 2 rediseñado con ABS. .	51
Figura III.34. Máximos desplazamiento obtenidos en el prototipo 2 rediseñado con ABS.	52
Figura III.35. Máximas tensiones alcanzadas en el prototipo 2 rediseñado con PLA. .	53
Figura III.36. Máximos desplazamientos alcanzados en el prototipo 2 rediseñado con PLA.....	54
Figura III.37. Máxima tensión alcanzada en el prototipo 3 con la aplicación de ABS. .	55
Figura III.38. Desplazamientos producidos en el prototipo 3 con la aplicación de ABS.	56
Figura III.39. Tensiones máximas alcanzadas en el prototipo 3 con la aplicación de PLA.	57
Figura III.40. Desplazamientos producidos en el prototipo 3 con la aplicación de PLA.	58
Figura III.41. .Zona de ubicación del soporte para la impresión del prototipo 1.....	60
Figura III.42. Error de simulación.	61
Figura III.43. Máxima tensión producida en el prototipo 2.	61

Figura III.44. Máximos desplazamientos alcanzados en el prototipo 2.	62
Figura III.45. Zona de ubicación de los elementos de soporte para la impresión del prototipo 2.	63
Figura III.46. Rediseño final prototipo 2.	63
Figura III.47. Zonas que requieren un soporte adicional para la impresión del prototipo 3.	64
Figura III.48. a) Imagen de la zona del cuello del prototipo 2 antes de realizar la modificación, b) Imagen después de haber realizado la modificación.	65
Figura III.49. Posicionamiento de impresión del prototipo 1.	66
Figura III.50. Posicionamiento de impresión del prototipo 2 rediseñado.....	66
Figura III.51. Posicionamiento de impresión del prototipo 3 rediseñado.....	67
Figura III.52. Regulación parámetros de calidad y perímetro.	71
Figura III.53. Regulación parámetros relleno y material.....	72
Figura III.54. Regulación parámetros de velocidad, desplazamiento y refrigeración...	73
Figura III.55. Regulación parámetros soporte, adherencia de la placa de impresión y experimental.	74
Figura III.56. Regulación parámetros de impresión software CatalystEx.....	76
Figura III.57. Detalles paquete prototipo 2 rediseñado.	76

LISTADO DE TABLAS

Tabla II.1. Diagrama de flujo realización proyecto.....	18
Tabla III.1. Tabla comparativa de temperaturas de impresión entre ABS-PLA.	24
Tabla III.2. Tabla comparativa de características de impresión entre ABS-PLA.	25
Tabla III.3. Propiedades mecánicas más relevantes de los materiales utilizados.	37
Tabla III.4. Tabla comparativa del factor de seguridad para los diferentes prototipos con ABS y PLA.....	58
Tabla III.5. Tabla comparativa detalles impresión 3D Cura.	75
Tabla III.6. Tabla comparativa detalles impresión 3D CatalystEX.	77

I. INTRODUCCIÓN

I.1. HISTORIA DE LA FABRICACIÓN ADITIVA

La fabricación aditiva, también llamada impresión 3D, se define como el proceso mediante el cual un archivo 3D diseñado por ordenador se convierte en un objeto físico tridimensional, a partir de la deposición de capas sucesivas hasta que la pieza está totalmente finalizada (Wohlers & Gornet, 2014). El material utilizado para la impresión puede ser plástico, resina, metal, papel, cerámico, etc.

Para iniciar el proceso de fabricación aditiva será clave la utilización de un software CAD, en este caso SolidWorks, mediante el cual se creará un archivo 3D. Seguidamente, el archivo 3D se convertirá en formato STL y se dividirá en capas mediante un software denominado “slicer”, utilizando concretamente en este trabajo el software “Cura”. Este programa permitirá regular los parámetros de la impresión que posteriormente serán interpretados por la impresora 3D (Mejia Flores, 2014).

La historia de la impresión 3D se remonta al año 1976, cuando se inventó la primera máquina impresora de inyección con tinta. A partir de este momento, la máquina empezó a evolucionar y tiempo después el desarrollo simultáneo de nuevas tecnologías permitió pasar de la inyección con tinta a la inyección con materiales. Con el tiempo la impresión 3D sufrió cambios importantes, siendo algunos de los más relevantes descritos a continuación (Wohlers & Gornet, 2014):

- 1983, Charles Hull, invención de la estereolitografía (SLA).
- 1987, Carl Deckard, creación del sinterizado selectivo por láser (SLS).
- 1987, Larry Hornbeck, invención del procesamiento digital de luz (DLP).
- 1988, Scott Crump, diseño del primer modelado por deposición de fundido (FDM).
- 1993, El MIT, desarrollo de la impresión 3D por inyección.

I. Introducción

- 2002, instituto de medicina Regenerativa de la universidad de Wake Forrest, impresión 3D del primer órgano completamente funcional.
- 2006, creación de la primera máquina capaz de imprimir con diferentes materiales.
- 2007, comercialización del primer sistema de 3D.
- 2011, diseño de una impresora 3D capaz de imprimir con alimentos y primera fabricación de un avión no tripulado mediante una impresora 3D, universidad de Southampton.
- 2013, Roboland, primera prótesis de mano impresa en 3D.
- 2014, NASA, diseño de la primera impresora 3D capaz de imprimir objetos con la ausencia de la gravedad.

I.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES

En general, la impresión 3D presenta una gran serie de ventajas, pero también es importante nombrar las limitaciones de la misma. A continuación se detallan las ventajas y limitaciones más relevantes de este tipo de impresión (Gómez Reyes, 2017).

Ventajas

- Gran versatilidad para realizar toda clase de objetos.
- Rápido prototipado.
- Bajos costes.
- Posibilidad de personalizar todos los productos.
- Creación de nuevos puesto de trabajo.
- Gran variedad de materiales posibles para emplear.

- Respetuoso con el medio ambiente.

Limitaciones

- Disminución de los puestos de trabajo.
- Gran vulnerabilidad de los derechos de autor.
- Uso para fines poco éticos (fabricación de armas).
- Limitación del tamaño de los productos.
- Alto coste de las impresoras 3D.

I.3. TECNOLOGÍA Y MATERIALES

I.3.1 Tecnologías

A continuación se describen las diferentes tecnologías existentes en el campo de la impresión 3D (Choi & Kim, 2015):

- **Modelado por deposición fundida (Fused Deposition Modeling - FDM):**
Esta tecnología es la más utilizada en impresoras 3D de escritorio. El funcionamiento de esta se basa en fundir un filamento termoplástico, succionado por la cabeza de extrusión (extrusor) y extruido en las coordenadas X e Y. La pieza se va formando capa a capa en la superficie de impresión, que es la que se desplaza en la dirección Z (hacia abajo), hasta que la pieza está totalmente fabricada. Las impresoras 3D de FDM están compuestas por: una placa, una bobina de filamento y un extrusor. Esta técnica requiere el empleo de soportes para la impresión de piezas complejas y los materiales más utilizados en esta tecnología son el PLS y ABS.

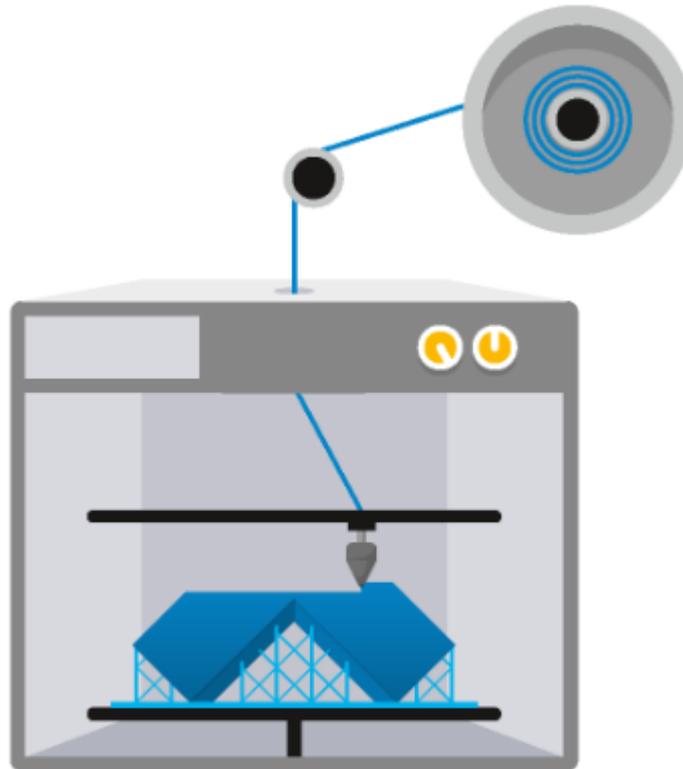


Figura I.1. Tecnología de impresión FDM.

- **Fabricación mediante laminado de objetos (Laminated Object Manufacturing - LOM):** Esta técnica emplea el uso de capas de plástico, papel o laminados metálicos recubiertos con adhesivos. Estos se funden aplicándoles calor y presión. Seguidamente son cortados con una cuchilla o con un láser controlado por ordenador.

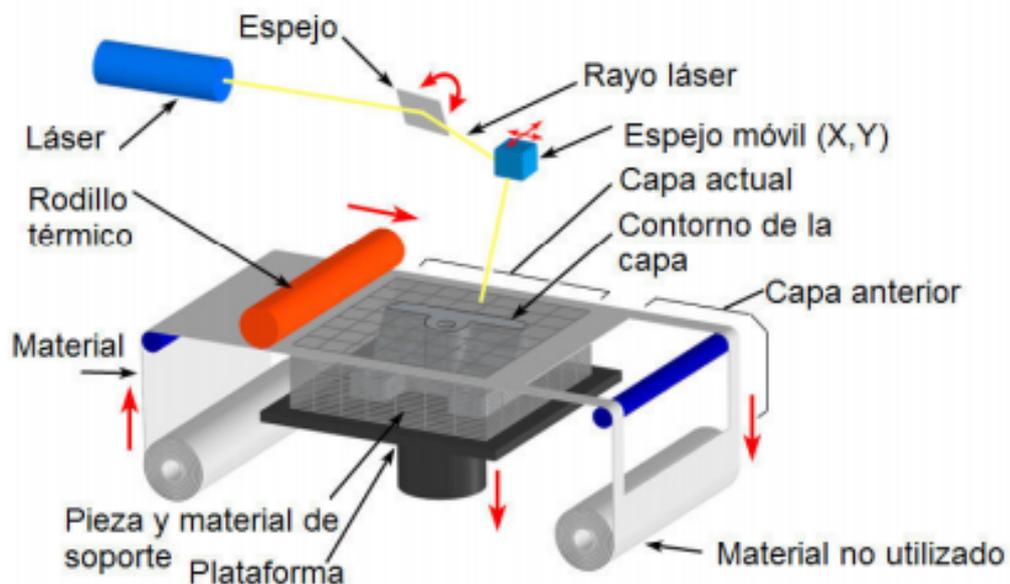


Figura I.2. Tecnología de impresión LOM.

- **Estereolitografía (Stereolithography Apparatus - SLA):** Esta es la tecnología más antigua de impresión 3D. Se basa en el principio de fotopolimerización, exponiendo la resina líquida fotosensible a un rayo láser UV, para que esta endurezca y solidifique. Una vez el láser ha recorrido toda la primera capa y esta comienza a solidificarse, la plataforma de impresión situada en el tanque líquido, baja otra capa y así sucesivamente hasta tener la pieza totalmente formada. Cuando la pieza está terminada, se inicia el ciclo de limpieza con un disolvente para quitar el exceso de resina sin solidificar. Esta tecnología utiliza el empleo de soportes para imprimir piezas complejas y se compone de una bandeja de resina, una plataforma móvil (eje Z), un láser UV, un sistema de raspado (eje X), una óptica de enfoque y un espejo galvanométrico (eje X e Y).

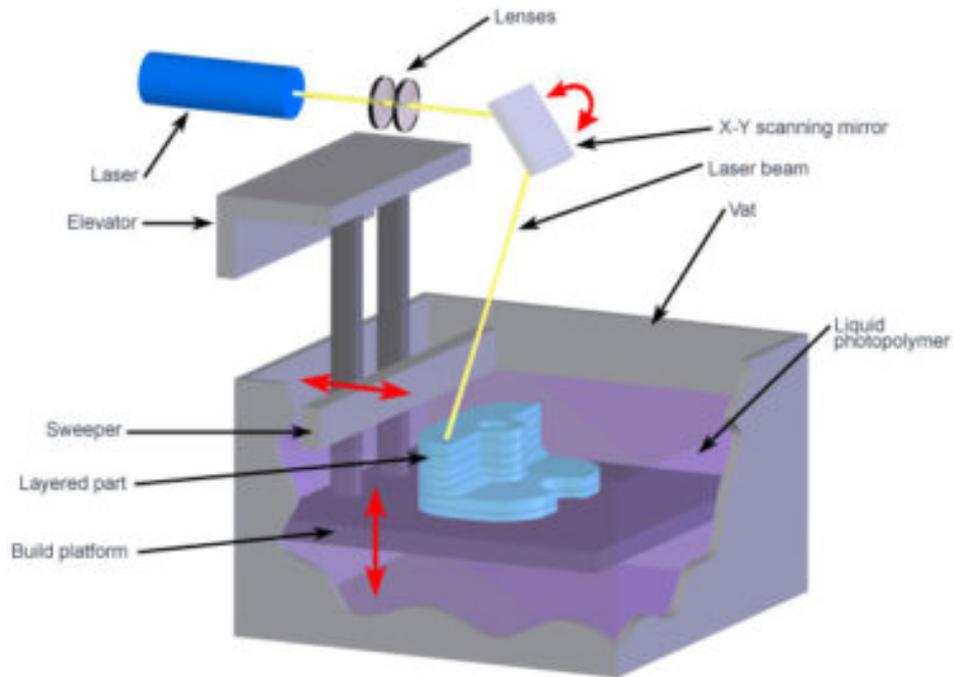


Figura I.3. Tecnología de impresión SLA.

- **Procesamiento digital de luz (Digital Light Processing - DLP):** Proceso similar al SLA. Su principal diferencia reside en la fuente de luz utilizada, ya que el DLP utiliza una fuente de luz convencional y el SLA emplea un rayo Láser UV. Esta tecnología usa fotorresinas líquidas que empiezan a curarse a través de una red eléctrica de microespejos controlados por ordenador. Estos se sitúan en un molde encima de un chip semiconductor. Los microespejos se pueden orientar adelante, reflejando un pixel brillante, y hacia atrás, transformando el pixel en oscuro.

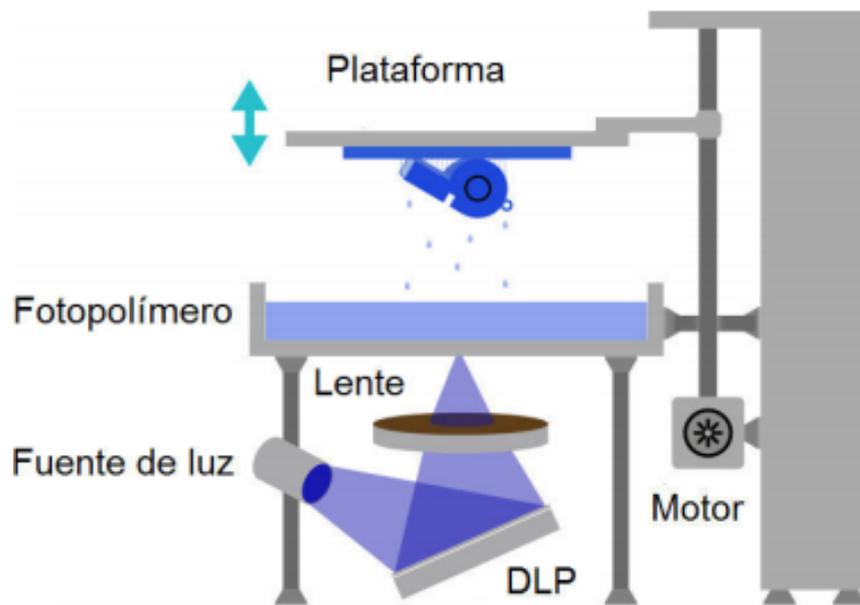


Figura I.4. Tecnología de impresión DLP.

- **Modelado Multi-jet (Multi-jet Modeling - MJM):** En esta tecnología se emplean cuatro o más cabezas inyectoras de material fotopolimérico. Esta impresora trabaja transversalmente, depositando pequeñas gotas de material fotopolimérico que es solidificado a través de la luz UV gracias al empleo de una lámpara de luz UV.

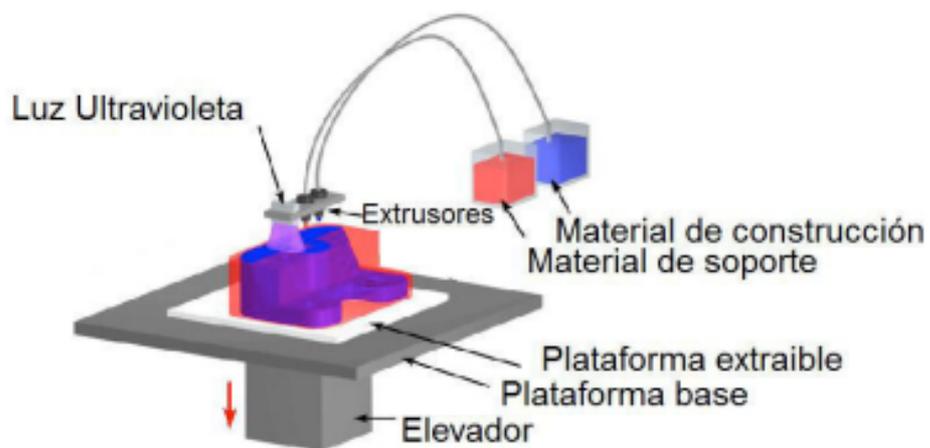


Figura I.5. Tecnología de impresión MJM.

- **Sinterizado selectivo por láser (Selective Laser Sintering - SLS):** Es un proceso muy parecido al SLA, aunque la principal diferencia reside en que esta tecnología utiliza material en polvo en lugar de resina líquida. Este proceso deposita una capa de polvo en una cuba calentada hasta una temperatura un poco inferior a la temperatura de fusión del material. A continuación, con el empleo de un láser de CO₂ se sinteriza el polvo en los puntos seleccionados para que de esta manera las partículas de material se fundan y solidifiquen.

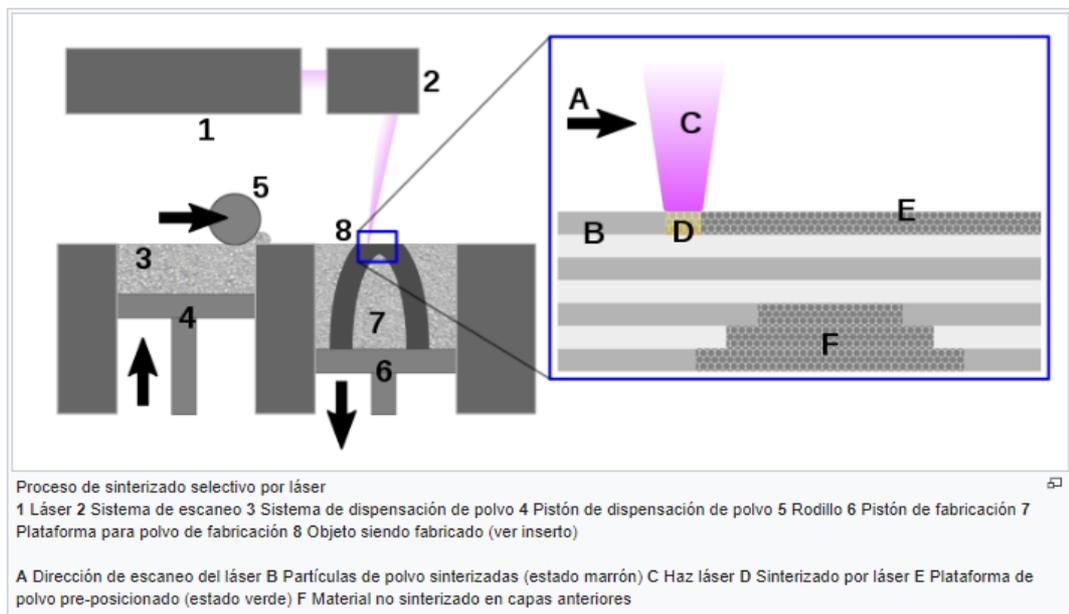


Figura I.6. Tecnología de impresión SLS.

- **Fusión por haz de electrones (Electron Beam Melting - EBM):** Tecnología que usa un haz de electrones controlados por ordenador. Esta técnica de impresión 3D, se realiza aplicando una temperatura cercana a los 1000 °C además de una alta presión de vacío para así fundir el polvo metálico.

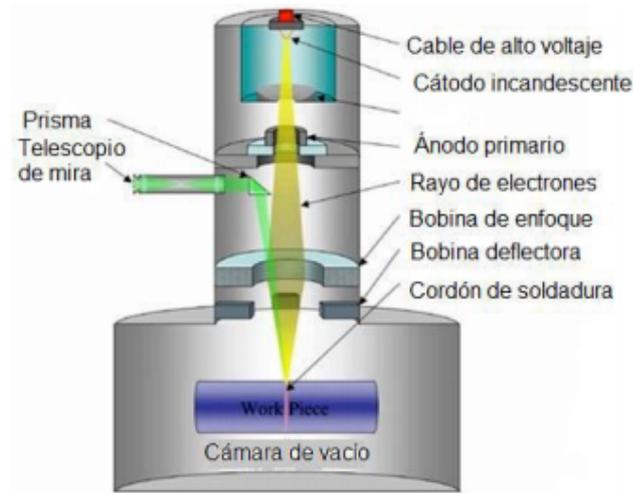


Figura I.7. Tecnología de impresión EBM.

- **Sinterizado directo de metal por láser (Direct Metal Laser Sintering - DMLS):** Esta tecnología proyecta un rayo láser de fibra de iterbio hacia una plataforma donde un rodillo extiende una capa de material en forma de polvo, para así crear puntos de soldadura en el polvo e ir creando la pieza capa por capa. Una vez está creada la primera capa, la plataforma desciende y se crea la siguiente capa y así sucesivamente hasta tener la pieza totalmente terminada.

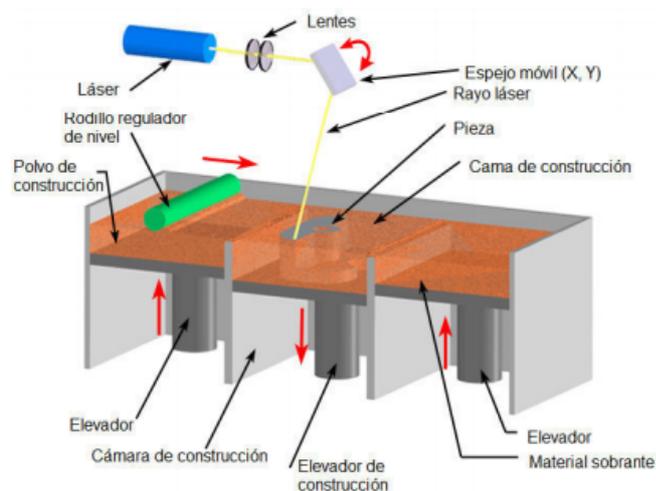


Figura I.8. Tecnología de impresión DMLS.

- **Deposición láser de metal (Laser Metal Deposition – LMD):** A diferencia de las demás tecnologías de impresión 3D, en esta tecnología el material no se encuentra extendido en una plataforma o en una cuba, sino que el material metálico en forma de polvo se inyecta justo sobre la fuente de energía que en este caso es un rayo láser. El material se funde a causa de la aplicación de calor del láser y como consecuencia se va formando la pieza capa por capa.

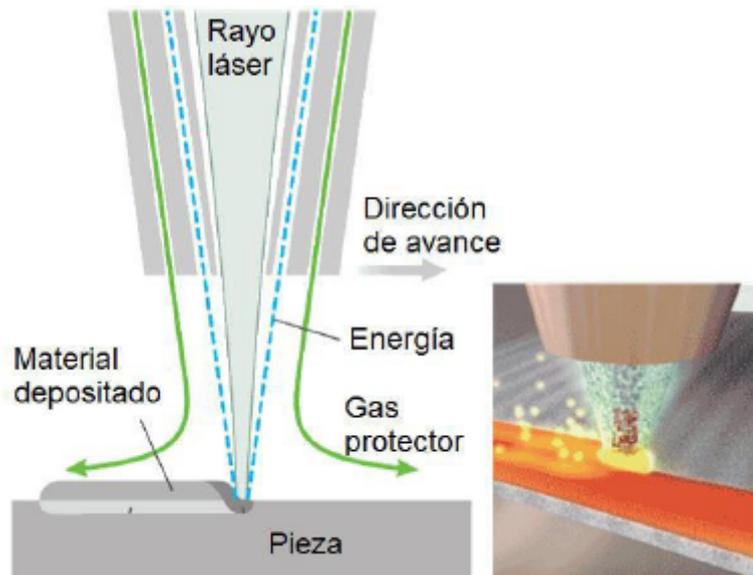


Figura I.9. Tecnología de impresión LMD.

- **(Binder jetting – BJ):** Esta tecnología emplea dos tipos de materiales, uno de ellos es material en base el cual se encuentra en forma de polvo y el otro es un aglutinante. La función del aglutinante es unir y solidificar las partículas de polvo para así ir creando las diferentes capas que componen la pieza. El cabezal de la máquina se desplaza horizontalmente en los ejes X e Y mientras va alternando las capas del material base y el aglutinante. Una vez creada una capa, la plataforma se desplaza hacia abajo (eje Z) para ir creando las diferentes capas que componen la pieza.

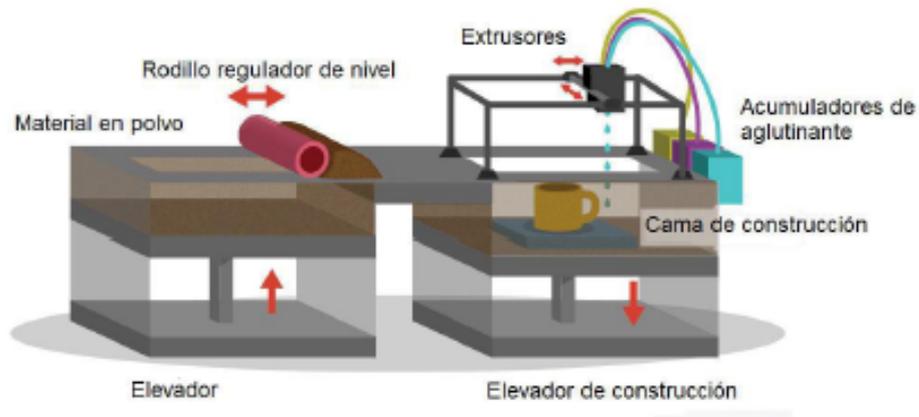


Figura I.10. Tecnología de impresión BJT.

I.3.2 Materiales

Dentro de la impresión 3D, se pueden emplear distintas familias de materiales. Como son los polímeros, metales y cerámicos según (Berchon & Luyt, 2016). Algunos de los materiales más empleados para la impresión 3D son:

I.3.2.1. Poliméricos

- ABS
- PLA
- ASA
- PET
- PC
- PP
- PA
- Nylon
- TPE
- PVA
- HDPE
- HIPS
- POM
- ULTEM 9085

I.3.2.2. Metales

- Aluminio
- Acero de utillaje
- Titanio
- Oro/Platino
- Acero inoxidable
- Cobre
- Bronce

I.3.2.3. Cerámicos

- Grafito
- Yeso
- Silice
- Circonio

I.4. ACTIVIDADES Y FUTURAS APLICACIONES

I.4.1. Futuras aplicaciones

En la actualidad, la tecnología 3D ha ampliado sus horizontes a muchos sectores diferentes. Algunos de los sectores más importantes donde se ha implantado la tecnología 3D, son los siguientes.

Sector Aeronáutico

La impresión 3D, tienen un amplio abanico de aplicaciones dentro del sector aeronáutico. Las diferentes aplicaciones de la impresión 3D dentro del sector aeronáutico van desde la fabricación de un asiento de pasajeros a la fabricación del fuselaje de un motor con material metálico hasta la fabricación de un Dron con más del 80% de sus piezas creadas en impresión 3D. El futuro de la impresión 3D dentro de este sector es lograr conseguir que el 75% de las aeronaves, tanto militares como comerciales vuelen con motores, fuselaje y todo tipo de componentes impresos en 3D (Acevedo Vallejo, 2016). Un ejemplo de la creciente incorporación de esta tecnología al

sector aeronáutico es en el avión comercial de Airbus A350 XWB. el cual se puede ver en la figura I.11, el cual ya cuenta con más de mil tipos de piezas diferentes fabricadas mediante impresión FDM con material ULTEM 9085 (PEI).



Figura I.11. Airbus A-50 XWB.

Sector de Construcción

La impresión 3D está revolucionando el sector de la construcción ya que existen un tipo de impresora 3D capaz de imprimir con hormigón la cual es capaz de construir una casa en 3D. Aunque aún está en desarrollo esta tecnología para en el futuro se espera poder llegar a imprimir casa y edificios con el empleo de la tecnología 3D. Esta técnica, ya ha sido llevada a cabo para la construcción de casa e oficinas (Golonka & Putanowicz, 2016). Algunos ejemplos son, unas oficinas construidas en Dubái con tan solo 17 días o un edificio de 5 plantas construido en China mediante impresión 3D. En la figura I.12



a)



b)

Figura I.12. a) Imagen edificio de 5 plantas en China, b) Oficinas en Dubái.

Sector Médico

En este sector la impresión 3D está creciendo a un nivel frenético. En el cual se está empezando a implantar en seres humanos mandíbulas, orejas, prótesis, etc. Tal es el punto de la implantación de la impresión 3D en este sector que la universidad de Tel Aviv en Israel un grupo de investigadores han producido el primer corazón vivo que palpita, ha sido creado a partir de células y biomateriales procedentes del propio paciente. Aunque este hallazgo aún está en desarrollo es uno de los avances más importantes en la actualidad ya que en un futuro puede haber en hospitales impresoras 3D capaces de imprimir órganos funcionales capaces de ser implantados en pacientes (University, 2019). En la figura I.13 se muestra el corazón impreso con la tecnología 3D.

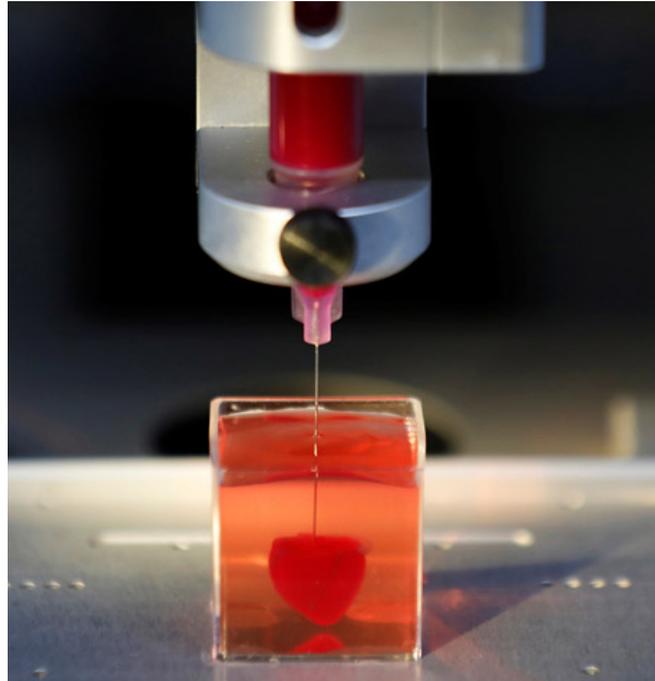


Figura I.13. Proceso de impresión 3D de corazón funcional con células humanas.

I.4.2. Futuras tecnologías

En la actualidad se están desarrollando una serie de nuevas e importantes tecnologías de impresión 3D. Una de las tecnologías más relevantes e importantes es la siguiente.

La universidad de Michigan ha descubierto un nuevo método de impresión 3D. Este método se ha llevado a cabo por los profesores Timothy Scott y Mark Burns. Este nuevo método de impresión 3D es 100 más rápido que los modelos convencionales.

Este nuevo método de impresión, se basa en el empleo de dos tipos de luz para solidificar la resina. De esta manera, se puede contralar de manera precisa en qué lugar se endurece la resina y en cual se mantiene en estado líquido. Se puede hacer un bajorrelieve 3D en un solo disparo en lugar de hacer una serie de líneas 1D o secciones transversales 2D como hacen los métodos tradicionales. Las principales ventajas que presenta este método son, producir objetos mucho más duraderos, mejorar la integridad estructural de la impresión 3D de filamentos y reducir notablemente los tiempos de producción. Este nuevo método puede modelar los dos tipos de luz para endurecer la

I. Introducción

resina en prácticamente cualquier lugar 3D que se encuentre cercano a la ventana de iluminación (Scott & Burns, 2019). En la figura I.14 se observa una imagen de esta nueva tecnología de impresión 3D.

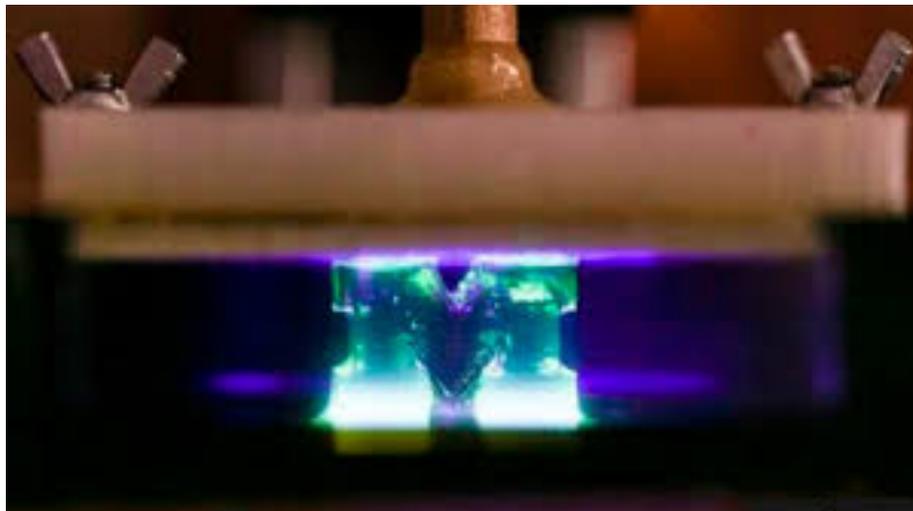


Figura I.14. Imagen del nuevo proceso de impresión 3D.

II. OBJETIVOS

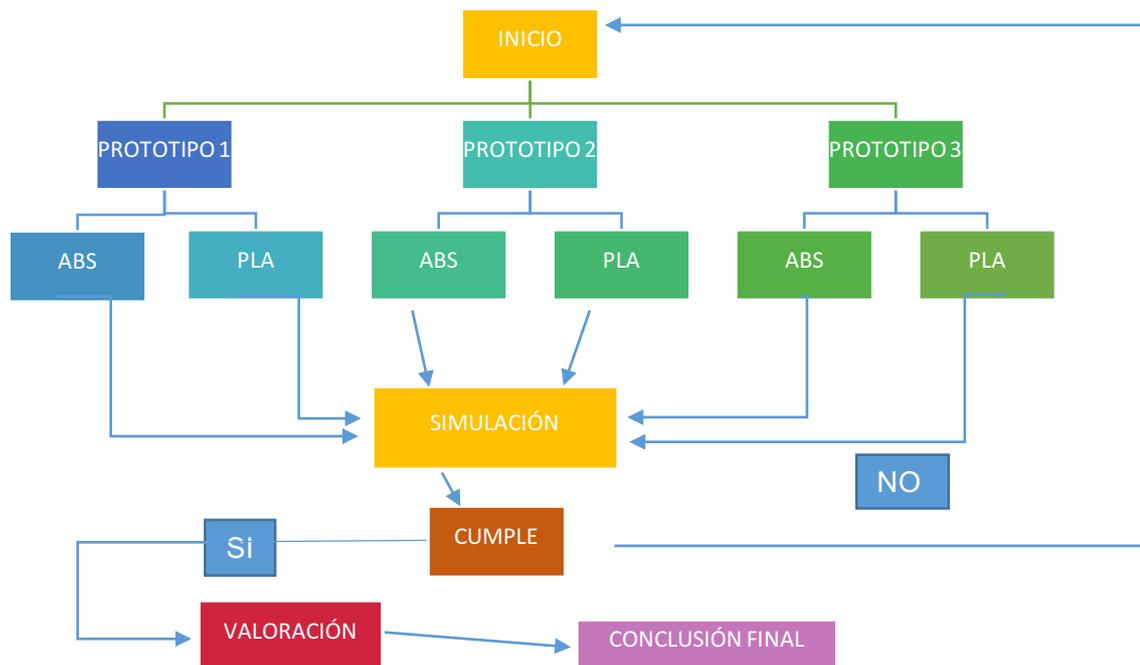
El objetivo general de este proyecto es diseñar, analizar y fabricar un soporte para Tablet/móvil, mediante la utilización de un software de diseño específico (SolidWorks), el cual será fabricado con ABS y PLA mediante el empleo de dos impresoras 3D (SigmaX y stratasys Dimension 1200). Para la consecución de este objetivo, será necesario desarrollar los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar diferentes prototipos de soporte para Tablet/móvil.
- Estudiar las características de los materiales que se utilizarán para el análisis y la fabricación del soporte.
- Analizar y simular los elementos finitos mediante la utilización del software SolidWorks, aplicando el material seleccionado anteriormente.
- Estudiar los resultados obtenidos posteriormente a la simulación del análisis, centrándose en los estados tensionales, deformaciones, factor de seguridad y desplazamientos a los que está sometido el soporte.
- Rediseñar los prototipos en base a los resultados del análisis de elementos finitos, en caso de que no se ajuste al factor de seguridad o desplazamiento máximo.
- Conocer el funcionamiento de “Cura”, software para la impresión 3D, con la finalidad de ajustar y controlar los parámetros óptimos para cada material.
- Iniciar el proceso de fabricación del soporte para Tablet/móvil.
- Realizar el estudio económico de la producción del soporte para Tablet/móvil.

II. Objetivos

Por consiguiente, se procederá a la realización de un diagrama de flujo en el que se expone el procedimiento que seguirá la realización del presente proyecto.

Tabla II.1. Diagrama de flujo realización proyecto.





III. DESARROLLO DEL PROYECTO

III.1. IMPRESIÓN POR DEPOSICIÓN DE FUNDIDO

III.1.1. Fases

Las diferentes fases que se deben llevar a cabo para la realización del soporte son las siguientes (Novakova-Marcincinova, Novak-Marcincin, Barna, & Torok, 2012).

El primero de los pasos es realizar una brainstorm (lluvia de ideas) para la obtención de los diseños más novedosos, rompedores y creativos. Para lograr el objetivo de esta fase, se tienen que conseguir los diseños de los prototipos de forma virtual. Existen tres posibilidades para conseguir lograr este objetivo.

- Diseño del prototipo mediante la ayuda de software CAD.
- Diseño mediante la ayuda de un escáner.
- Descarga de prototipo de internet.

Concretamente, en este proyecto los diseños de los diferentes prototipos se han realizado con un software CAD (SolidWorks).

Seguidamente, se ha procedido a transformar el archivo CAD obtenido con SolidWorks en un archivo STL. Por consiguiente, se le aplica un mallado a la pieza en formato por triángulos, los cuales se ajustan a la geometría de la pieza. A mayor número de triángulos por los que esté formada la pieza mayor será la precisión pero, también será mayor el tamaño del archivo. Si el archivo STL tiene un tamaño excesivo la configuración del G-code puede resultar un poco pesada a la hora de calcular los resultados.

El archivo STL hay que repasarlo para verificar que no haya errores que provoquen defectos en la impresión.

La siguiente fase es la creación del G-code mediante el empleo de un software de laminación (Cura). El cual divide la pieza en diferentes capas a partir del archivo STL.

III. Desarrollo del Proyecto

Debido a la compleja geometría de algunos prototipos, es necesaria la creación de elementos de soporte para la correcta realización final de la pieza. Estos elementos de soporte se requieren cuando existen ángulos en la pieza mayores de 45° los cuales quedan en voladizo.

Toda la información necesaria para llevar a cabo la impresión de la pieza (comandos, espesor de capas, velocidad, etc.), será proporcionada por el archivo G-code a la impresora.

La última fase del proceso, es la ejecución de la impresión 3D del prototipo.

En este proyecto en concreto, se van a utilizar dos modelos diferentes de impresoras 3D. Por un lado, se cuenta con el modelo Stratasys Dimension 1200 para la fabricación los prototipos con material ABS, y por otro lado, se va a emplear el modelo de impresora SigmaX para imprimirlos con material PLA.

III.1.2. Tecnología

Este proyecto se va a realizar con la tecnología de impresión 3D de moldeo por deposición fundida (FDM).

Esta tecnología fue desarrollada por Scott Crump como se ha dicho anteriormente, la cual utiliza una bobina de material termoplástico. El material en forma de filamento se encuentra en estado sólido. El funcionamiento de esta tecnología es muy sencillo ya que hace pasar el filamento de material termoplástico a través del extrusor, el cual va succionando del material y fundiéndolo a la vez que lo va depositando en las coordenadas X e Y de manera precisa en forma de hilos finos para de esta manera ir creando la pieza capa a capa hasta la finalización de la misma. Una vez creada la primera capa, en la superficie de impresión, esta se va desplazando hacia abajo (eje Z). Las diferentes capas de material por las que está compuesta la pieza se unen entre si ya que el material se encuentra fundido. Una vez aplicado el material, este se va solidificando a medida que se va enfriando por la diferencia de temperatura para la obtención de la pieza final totalmente sólida.

Las impresoras 3D con tecnología FDM están compuestas por tres elementos que son, la placa de impresión, bobina de filamento termoplástico y extrusor

Estas impresoras pueden estar compuestas por más de una boquilla extrusora, para poder imprimir la pieza con diferentes colores o para la creación de elementos de soporte, en caso de que la geometría de la pieza los requiriese. Normalmente, si la pieza requiere soportes adicionales para su realización, estos se hacen con un material diferente al de la pieza, ya que si se usa el mismo material para realizar los soportes que la pieza, cuando se proceda a la eliminación de estos soportes, esto puede generar marcas o rugosidades en la zona donde se estaban ubicados los soportes. Los dos materiales más comunes empleados en esta tecnología de impresión son el PLA y el ABS (Novakova-Marcincinova, Novak-Marcincin, Barna, & Torok, 2012).

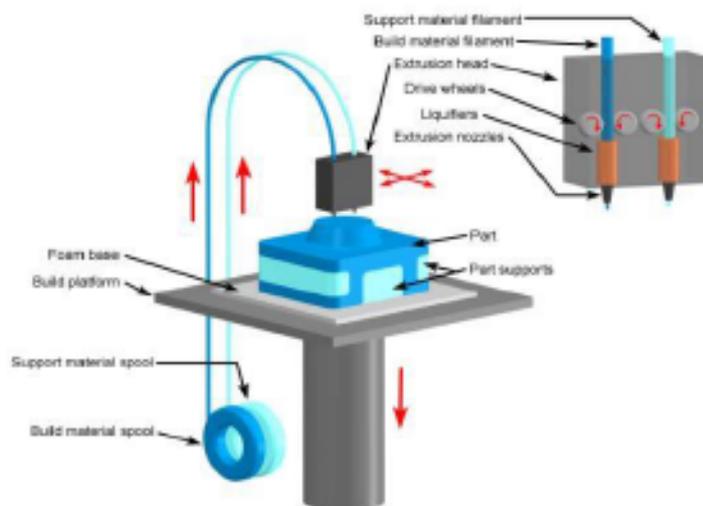


Figura III.1. Impresión por deposición de fundido (FDM).

III.1.3. Material.

La tecnología de impresión FDM puede emplear una gran variedad de materiales termoplásticos. Aunque los dos materiales más utilizados en esta tecnología sean el PLA y el ABS, también puede utilizar PET, PS, ASA, Nylon, PVA, etc.

En la fabricación de este proyecto se van a emplear como materiales el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) y el Ácido polifacético (PLA).

III.1.3.1. ABS

El ABS es un material de la familia de los termoplásticos. Como su nombre indica, el ABS se obtiene a partir de tres monómeros. Estos monómeros son: acrilonitrilo, butadieno y estireno (Martínez Sanz, 2015).

Cada monómero le aporta unas propiedades diferentes al ABS. Las propiedades que le aporta cada monómero en particular son.

- El Acrilonitrilo proporciona al ABS resistencia térmica, resistencia química, resistencia a la fatiga, dureza y rigidez.
- El Butadieno le proporciona ductilidad a baja temperatura, resistencia al impacto y resistencia a la fusión.
- El estireno proporciona facilidad de procesado (fluidez), brillo, dureza y rigidez.

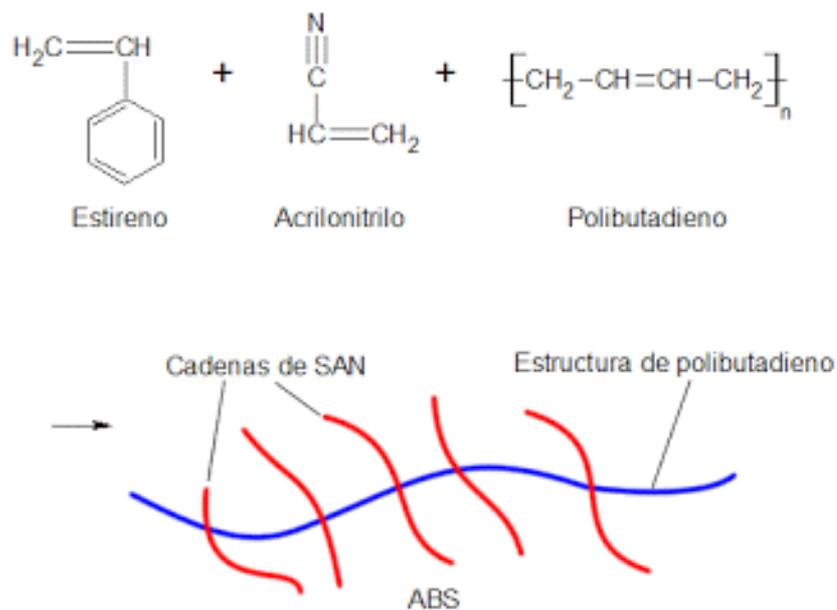
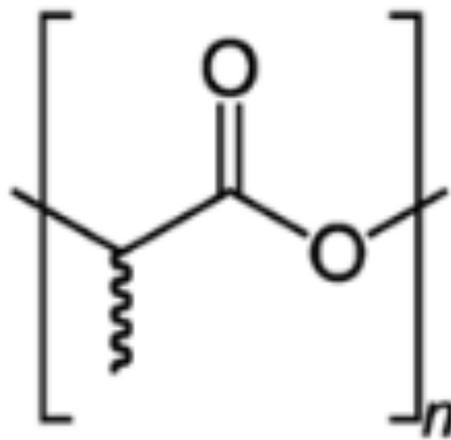


Figura III.2. Imagen de la estructura del ABS.

III.1.3.2. PLA

El ácido poliláctico es un biopolímero de la familia de los termoplásticos cuya molécula precursora es el ácido láctico. El ácido poliláctico deriva de fuentes vegetales renovables, como el almidón y el azúcar. Este polímero se obtiene a partir de dos etapas consecutivas. La primera de ellas es la síntesis de ácido láctico y la segunda la polimerización. Las principales características que presenta este material biodegradable es su alto módulo de elasticidad y alta dureza (Auras, Lim, M. Selker, & Tsuji, 2010). En la figura III.3 se muestra la estructura química del PLA.



Ácido poliláctico

Figura III.3. Imagen de la estructura del PLA.

III.1.3.3. Propiedades

En primer lugar, se muestra una tabla comparativa de las temperaturas de trabajo para la impresión 3D en el ABS y el PLA.

Tabla III.1. Tabla comparativa de temperaturas de impresión entre ABS-PLA.

Temperatura	PLA	ABS
Temperatura de la cama caliente	20-60°C (opcional)	80-110°C (obligatorio)
Temperatura de transición vítrea	57°C	104°C
Temperatura de fusión	150- 160°C	N/A*
Temperatura de impresión	180- 230°C	210-250°C

En la tabla anterior se puede observar que el ABS no tiene temperatura de fusión exacta, ya que esto ocurre porque es una sustancia puramente amorfa. Aunque siempre pasa de estado sólido a estado líquido mucho antes de alcanzar la temperatura de impresión recomendada.

EL ABS, en comparación con el PLA es un material más sensible a los cambios de temperatura, ya que tiene un alto coeficiente de dilatación térmica y esto conlleva a que el material tiende a enfriarse rápidamente. Por este motivo, cuando se está operando con ABS se pueden producir grietas y deformaciones en la pieza final obtenida si se produce un rápido enfriamiento del material. Por esta razón, cuando se está imprimiendo con ABS se requiere de una cama caliente de impresión. También es recomendable que el área de impresión sea cerrada para así evitar cambios bruscos de temperatura y que la temperatura de enfriamiento sea lo más homogénea posible.

Una de las precauciones a tener en cuenta a la hora de trabajar con ABS, es la emisión de humos y gases nocivos que este emite. Por esta razón, cuando se trabaja con ABS, la zona donde se está trabajando debe ser un área abierta o con ventilación para evitar la acumulación de gases nocivos.

Al ser materiales higroscópicos, el ABS y el PLA se debe de almacenar en sitios cerrados, frescos y secos, donde no haya humedad y con la mínima exposición al aire posible, haya que esto supondría la absorción de humedad y con lo cual afectaría de forma negativa en la calidad e impresión de la pieza final.

Tabla III.2. Tabla comparativa de características de impresión entre ABS-PLA.

Temperatura	PLA	ABS
Temperatura de impresión	180-230°C	210-250°C
Temperatura de cama caliente	20-60°C	80-110°C
Cama caliente	Opcional	Obligatorio
Ubicar en un recinto	Opcional	Recomendado
Boquilla atascada	En ocasiones	Nunca
Adhesión de la primera capa	Problemas menores	Problemas menores
Humos	Poco o nada	Malo e intenso
Absorción de la humedad	Sí	Sí

III.1.4. Aplicaciones informáticas

Las diferentes aplicaciones informáticas utilizadas para la realización de las diferentes fases del proyecto son las siguientes.

- **Fase de diseño:** los diferentes prototipos virtuales han sido diseñados con la ayuda del software de diseño CAD SolidWorks. Con este mismo software también se ha convertido el archivo CAD en STL.
- **Fase de verificación:** esta fase se ha realizado mediante el empleo del software de laminación (Cura). Este software permite la observación de posibles defectos en el modelo y en caso de que sea así repararlo.
- **Fase de creación del G-code:** en esta fase se configuran los diferentes parámetros necesarios para la impresión de la pieza. Cada material requiere de unos parámetros específicos para su impresión. La configuración de estos parámetros se realiza con el programa Cura para las piezas impresas con PLA en la SigmaX y con el CatalystEX para las piezas impresas con ABS en la impresora Stratasys Dimension 1200.

III.1.5. Modelo impresora

Para la impresión de los prototipos se ha empleado dos modelos diferentes de impresoras 3D. Estas impresoras se basan en la tecnología de impresión por deposición de fundido. Los modelos de impresoras 3D utilizados son los siguientes.

- **BCN3D Sigmax.**
- **Stratasys Dimension 1200.**

El modelo BCN3D Sigmax se va a utilizar para imprimir las piezas con PLA. En cambio, la impresora 3D Stratasys Dimension 1200 va a ser la encargada de imprimirlas con ABS.

Las características técnicas de estos dos modelos de impresoras se encuentran en el anexo II.

III.2. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

En primer lugar, se procede a la realización de 3 diseños iniciales de prototipos.

Los pasos que se han seguido para la realización de cada uno de los diseños iniciales son los siguientes.

III.2.1. Diseño inicial prototipo 1

-El primer paso es realizar el croquis de la base del soporte en el plano alzado como podemos apreciar en la figura III.4.a). Seguidamente, en la figura III.4 b) se aprecia la posterior extrusión de la base. En este caso la extrusión es de 15 mm.

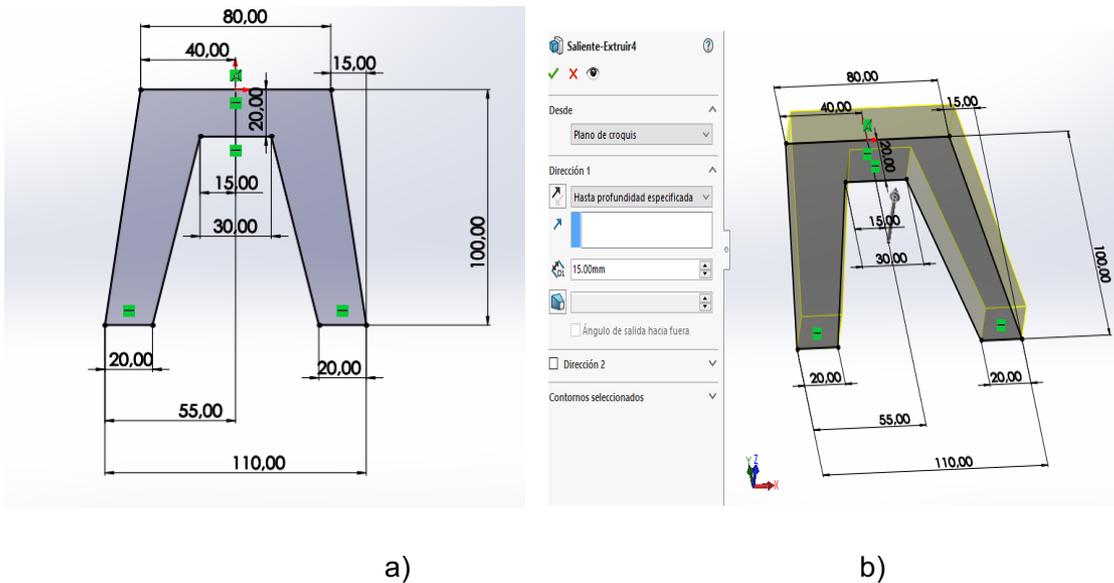


Figura III.4. a) Definición de las dimensiones de la base del soporte, b) vista de la base del soporte antes de aplicar la herramienta extruir de 15 mm en dirección perpendicular a la base.

- En el segundo paso, se ha utilizado la herramienta redondeo de SolidWorks en la cual se realiza un redondeo de los pies del soporte como se ve en la figura III.5.

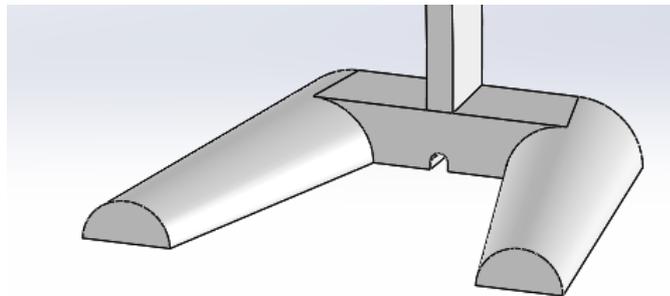


Figura III.5. Imagen de la figura después de aplicar la función redondeo.

-El tercer paso, es realizar un corte en la base del soporte para darle una inclinación de $2,75^\circ$ utilizando la herramienta de extruir corte. En la figura III.6 se observa el corte que se va a realizar con la herramienta extruir corte.

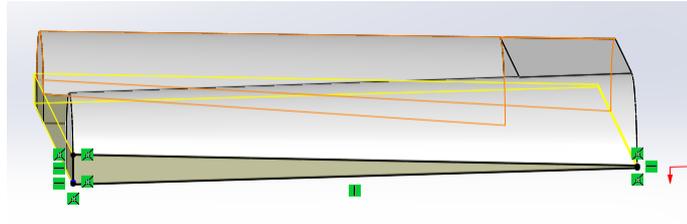


Figura III.6. Operación extruir corte a lo largo de toda la base del soporte.

-Una vez diseñada la base del soporte, el cuarto paso es el diseño del pilar y del alojamiento donde ira ubicada la Tablet/móvil. Para ello, hay que diseñar un croquis en el plano vista lateral con su posterior extrusión. En este caso, se observa la extrusión realizada en la figura III.7 con una extrusión de tipo plano medio de 6 mm.

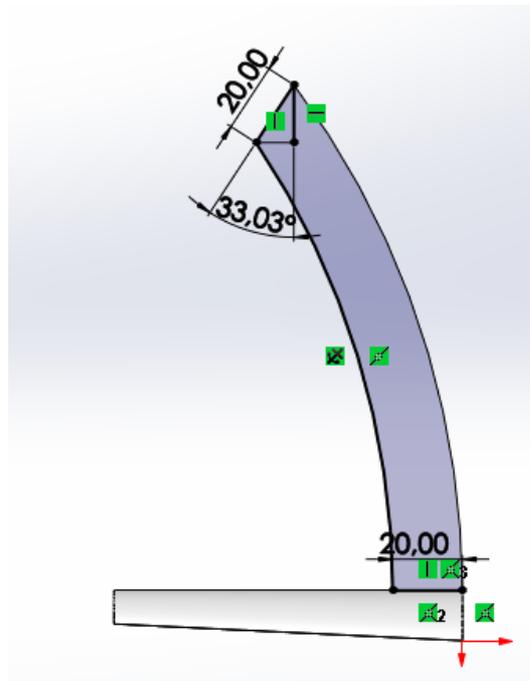


Figura III.7. Imagen del croquis del pilar realizado en la vista lateral.

-En el quinto paso, se diseña y extruie la parte del soporte donde se ubicará la Tablet/móvil, como se refleja en la figura III.8 a) e b). Primeramente se ha creado un plano paralelo a la cara superior del pilar para realización del croquis.

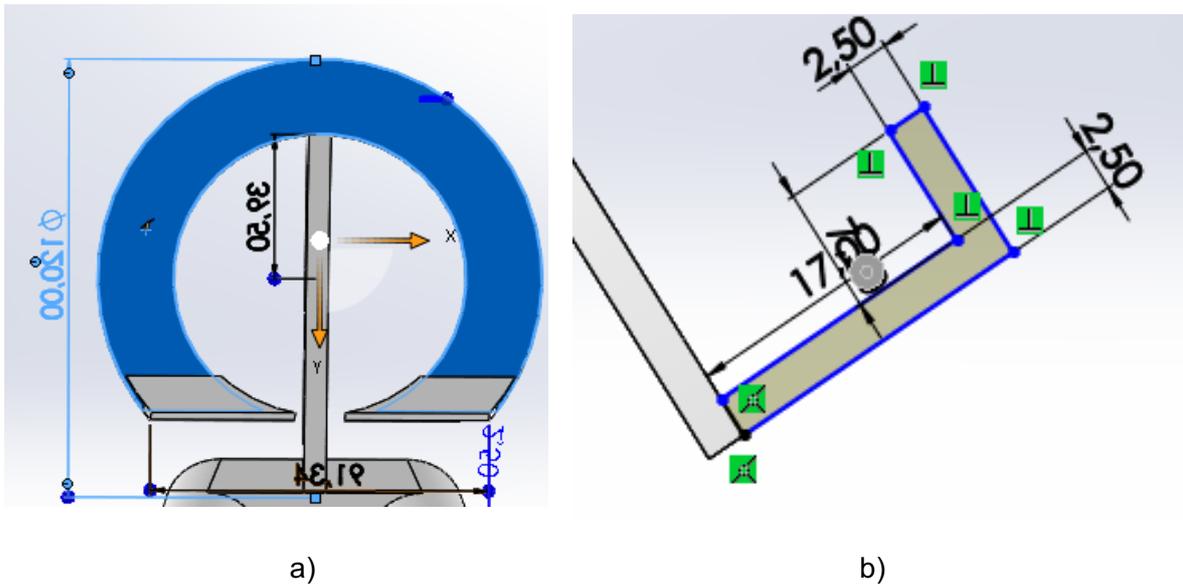


Figura III.8. a) Definición de las dimensiones del croquis donde se ubica la Tablet, b) extrusión de la base donde se coloca la Tablet.

-El último paso, es la realización de un agujero pasante de 4 milímetros de diámetro en la base del soporte, con la utilización de la herramienta corte barrido, para poder colocar el cable del cargador de la Tablet/móvil. En la figura III.9 se aprecia esta operación.

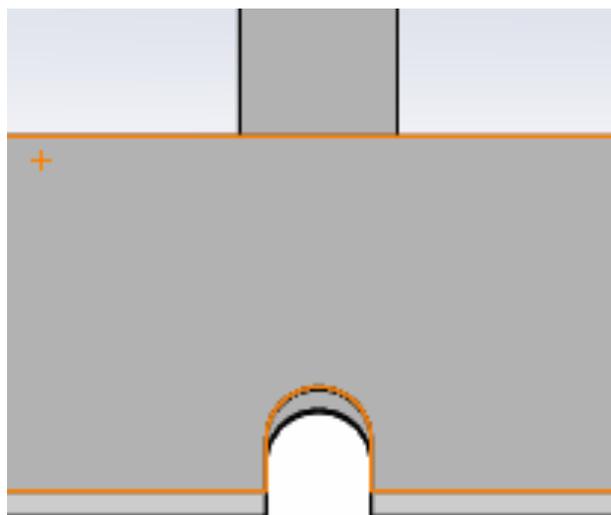


Figura III.9. Aplicación de la operación corte barrido para el cable del cargador.

III.2.2. Diseño inicial prototipo 2

- El Primer paso realizado para el diseño inicial del prototipo 2, es el diseño del croquis de la base y su posterior extrusión de 3 mm en el plano alzado. Este paso se observa en la figura III.10.

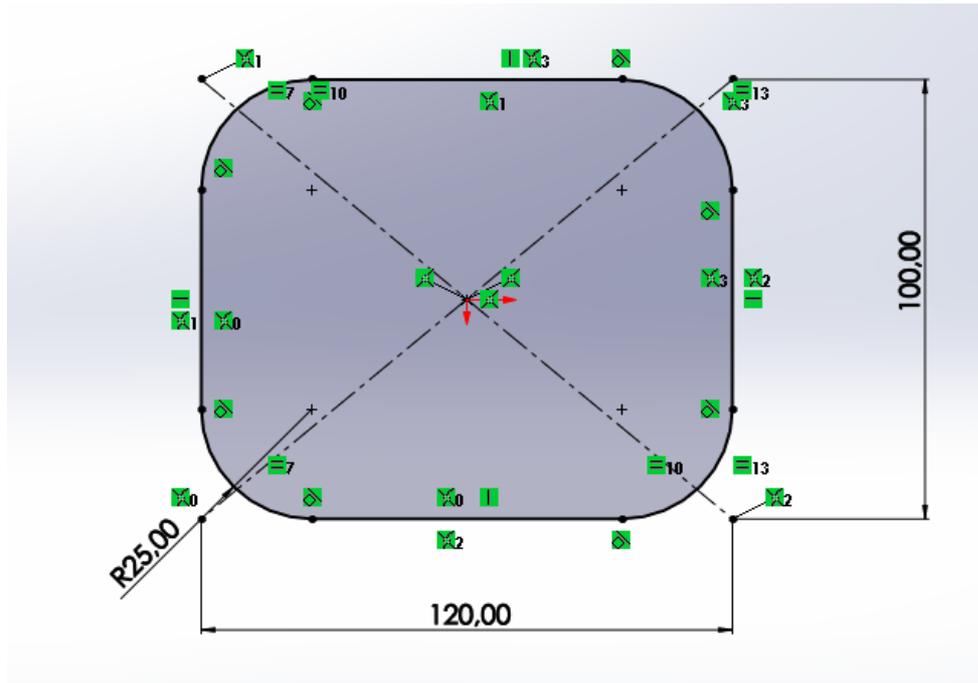


Figura III.10. Dimensionamiento de la base del prototipo 2.

-El segundo paso, se ve reflejado en la figura III.11 el cual fue el dimensionamiento del pilar del soporte con su posterior extrusión de 50 mm.

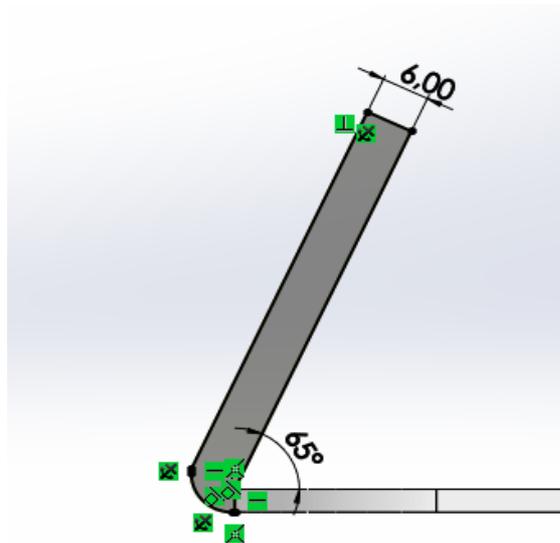


Figura III.11. Vista del croquis del pilar.

-En el tercer paso, se diseña el croquis donde se ubicará la Tablet en el soporte con su posterior extrusión de 110 mm. Este paso se aprecia en la figura III.12.

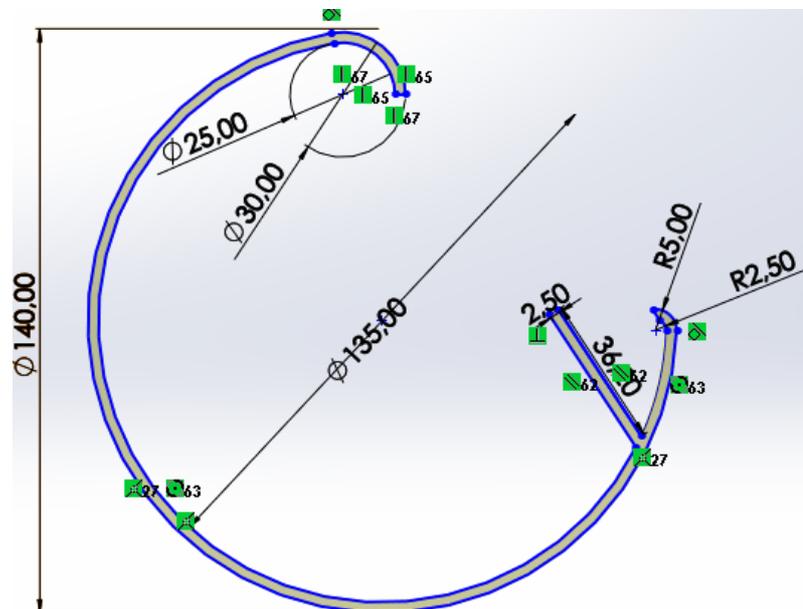


Figura III.12. Vista del croquis del cuerpo del soporte donde va ubicada la Tablet antes de realizar la operación extruir de 110 mm.

-El cuarto paso, en el diseño inicial del prototipo 2, es hacer un corte de -100 mm en la dirección Z e Y con la herramienta corte – extruir de SolidWorks. En la figura III.13 se puede ver la imagen del corte una vez realizado el mismo.

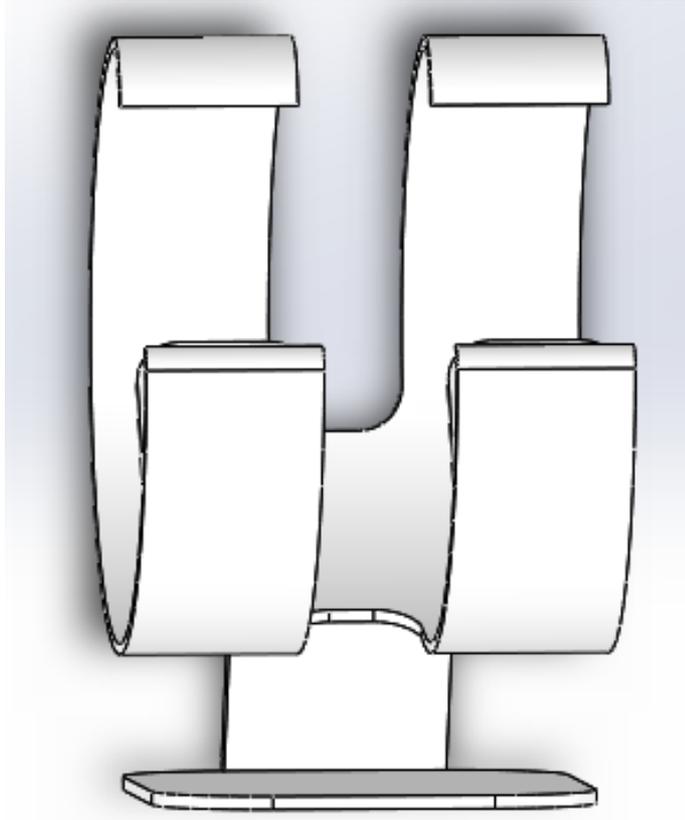


Figura III.13. Imagen del soporte una vez realizado el corte.

-El último paso realizado de este prototipo, es la aplicación de unos redondeos de 10 mm de radio. Ver figura III.14.

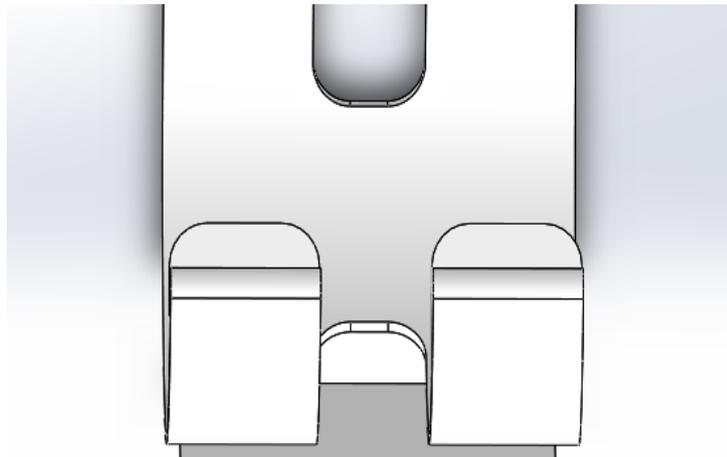


Figura III.14. Vista del soporte una vez realizados los redondeos de 10 mm de radio.

III.2.3. Diseño inicial prototipo 3

-El primer paso realizado para el diseño inicial del prototipo 3, es el dimensionamiento de la base. Para ello se realizan dos croquis, uno de ellos en el plano alzado y el otro en un plano paralelo a este con una distancia de 10 mm. Con el empleo de la operación recubrir en SolidWorks se han unido los dos croquis para la creación de la base. En la figura III.15 a) se observa la creación del plano paralelo al alzado con una distancia de 10 mm, b) se puede observar la aplicación de la herramienta recubrir.

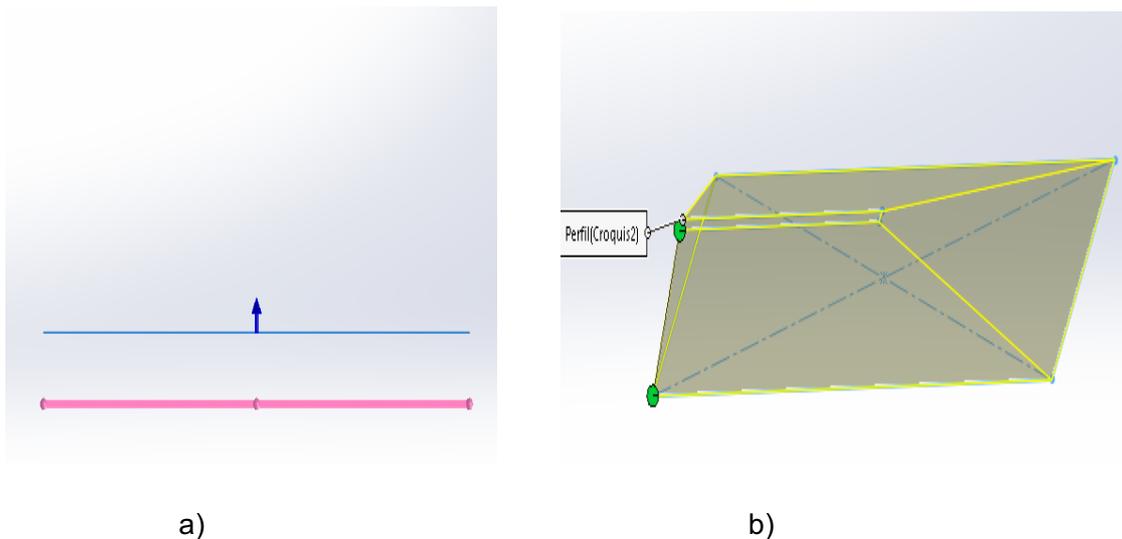


Figura III.15. a) Vista del plano paralelo al plano alzado, b) operación recubrir en SolidWorks.

-El segundo paso llevado a cabo, es realizar el croquis del pilar con su posterior extrusión de 5 mm. El cual se refleja en la figura III.16 a) e b).

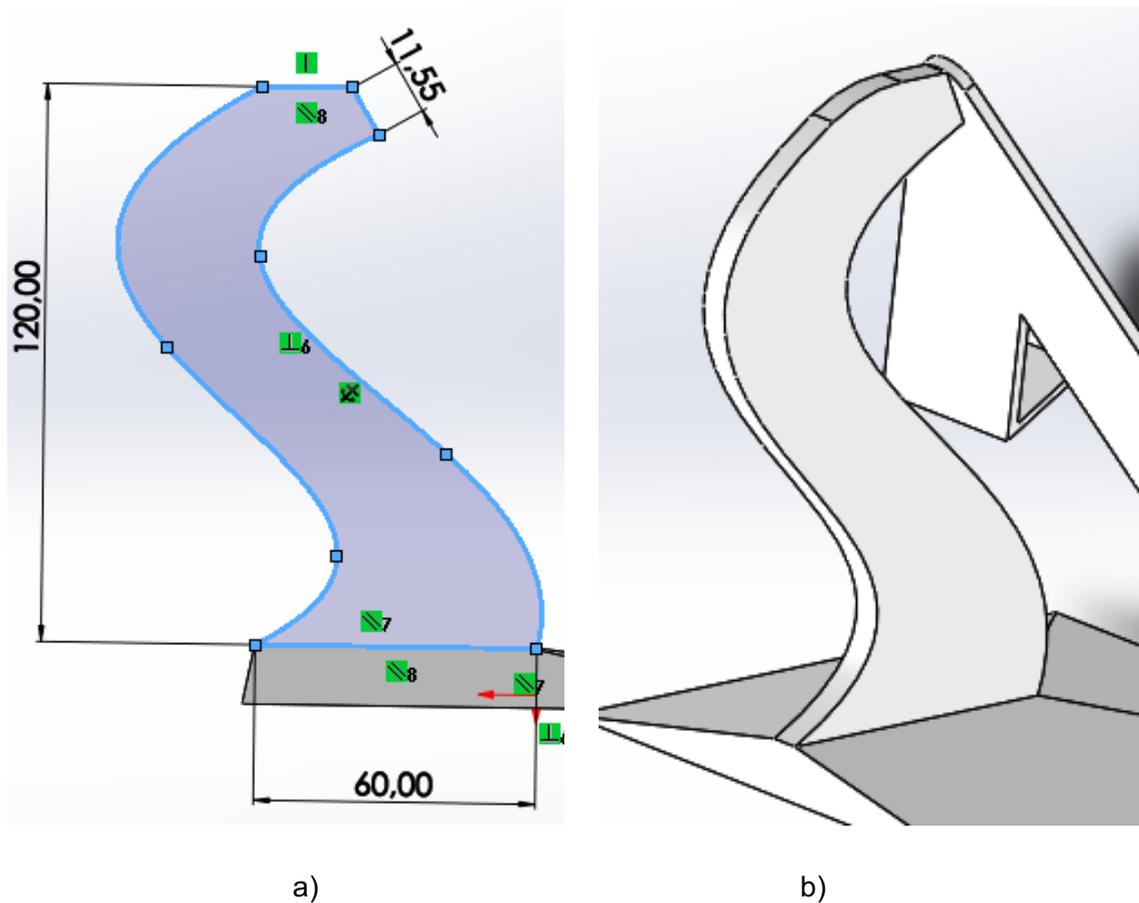


Figura III.16. a) Croquización del pilar del soporte, b) Vista del pilar después de haber aplicado una extrusión de 5 mm.

- El tercer paso para el diseño inicial del prototipo 3, es crear un plano paralelo a la cara del pilar con una distancia de 0 mm. Una vez hecho esto, se ha procedido al dimensionamiento de la parte donde se apoyará la Tablet y su posterior extrusión. Este paso se aprecia en la figura III.17 a) e b).

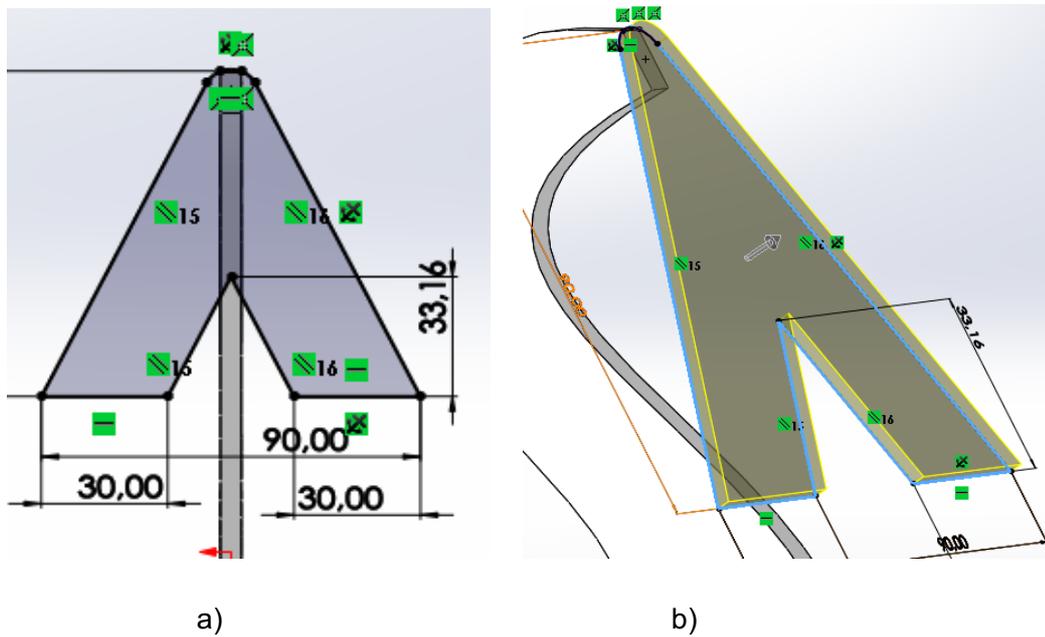


Figura III.17. a) Dimensionamiento de la parte superior del soporte, b) Imagen preliminar antes de aplicar una extrusión de 2,5 mm.

-Los dos últimos pasos para la realización del prototipo 3 se observan en la figura III.18 a) e b). Por un lado, se diseñan las pestañas que sujetan la Tablet con su posterior extrusión y por otro lado, mediante la herramienta corte se han cortado para darle la forma deseada como se refleja en la figura III.19.

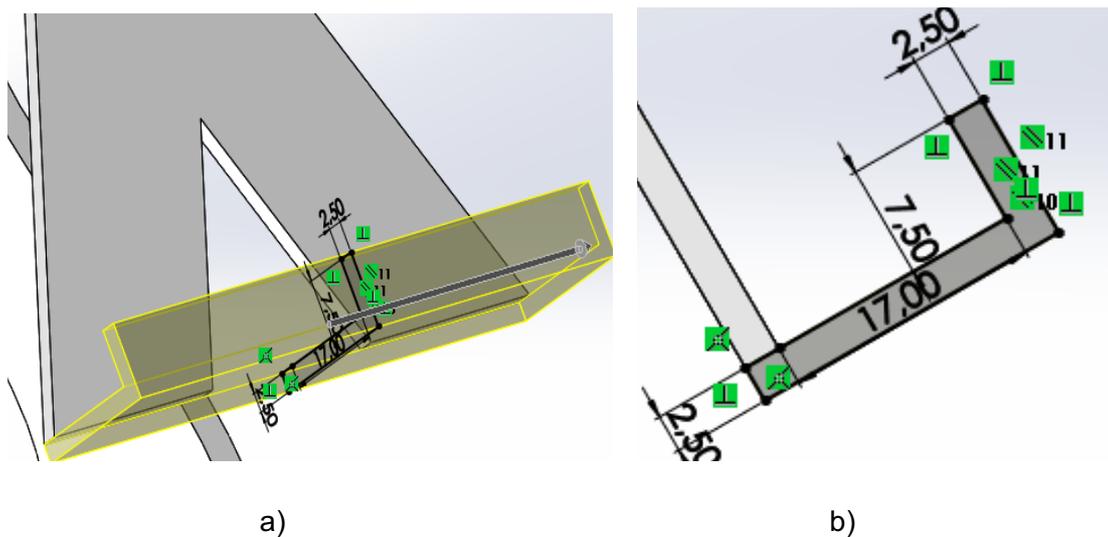


Figura III.18. a) Vista preliminar de la extrusión de 90 mm, b) Croquis de la pestaña que sujeta la Tablet.

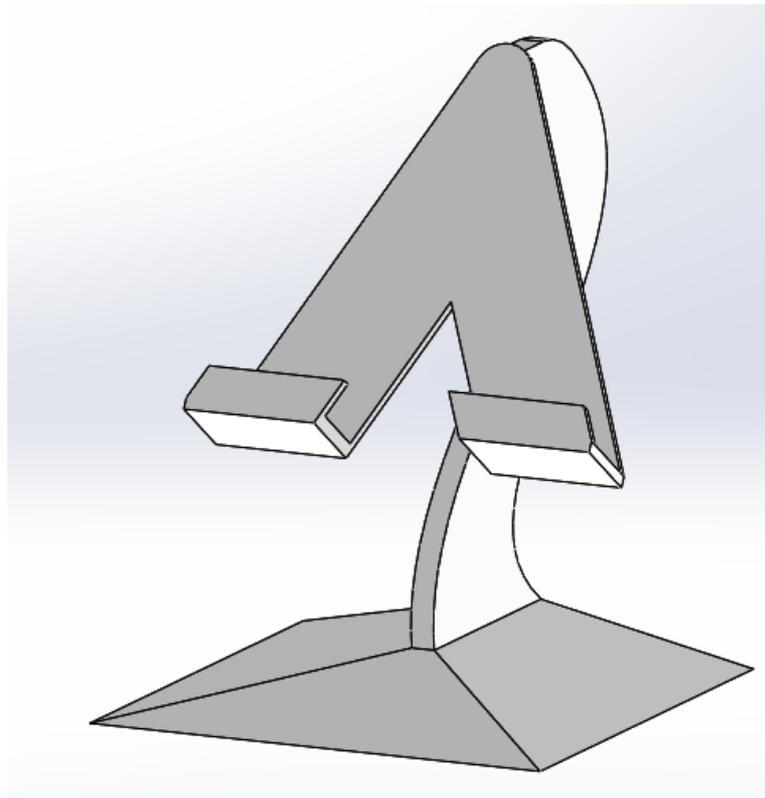


Figura III.19. Diseño final del prototipo 3 una vez realizados los corte con la operación extruir – corte.

III.3. NORMATIVA APLICABLE.

No existe ninguna normativa que regule este tipo de accesorios, pero el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo dispone de una instrucción básica para el trabajador usuario de pantallas de visualización de datos. Esta instrucción básica no es de aplicación directa al producto desarrollado en este proyecto pero sus directrices se han utilizado en el diseño del soporte. La instrucción básica se encuentra disponible en el anexo IV.III.

III.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

En este punto, se realizará un análisis del comportamiento de los diferentes prototipos de soporte de tablet sometido a los estados tensionales producidos por el peso de la propia tablet.

Para ello, se va a realizar un análisis de elementos finitos con la ayuda del software SolidWorks, en el cual se someterá a los diferentes prototipos a una carga remota, la cual estará ubicada en las coordenadas donde se encuentra el centro de gravedad del iPad Pro de 12,5 pulgadas cuando este está ubicado en el soporte y con el peso correspondiente al peso de la tablet. La carga aplicada es de 6,3 N, ya que este valor se ha obtenido por el peso del iPad Pro de 12,5 pulgadas que tiene un peso de 633 g.

III.5. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Los materiales con los que se han analizado los diferentes prototipos han sido con los dos materiales termoplásticos más comunes en la impresión por deposición de fundido. Estos materiales son, ABS y PLA.

Las propiedades mecánicas más relevantes para la modelización con SolidWorks son las que se muestran en la tabla III.3.

Tabla III.3. Propiedades mecánicas más relevantes de los materiales utilizados.

	ABS	PLA
Densidad (g/ cm ³)	1,02	1,25
Módulo elástico (MPa)	2000	3500
Coefficiente de Poisson	0,39	0,39
Módulo cortante (MPa)	318,90	2400
Límite de tracción (MPa)	30	60
Límite elástico (MPa)	30	60

III.6. SIMULACIÓN MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS (FEM).

En este apartado se va a realizar un análisis estático mediante elementos finitos (Finite element method – FEM) de los diferentes prototipos y así ver cuál de ellos es el que mejor resiste los estados tensionales a los que está sometido.

III.6.1. Modelo FEM proyecto.

III.6.1.1. Aplicación de estados tensionales.

Los diferentes prototipos se han sometido a un estado tensional, el cual ha sido colocarles una carga puntual de 6,33 N en el lugar donde caería el centro de masas de la tablet, para la posterior comprobación de las tensiones, desplazamientos, deformaciones unitarias y factor de seguridad que presentan los diferentes prototipos.

Prototipo 1

Como podemos comprobar en la figura III.20 con el empleo de la herramienta carga remota de SolidWorks se ha situado una carga en la dirección Z negativa de 6,33 N. Esta carga se encuentra ubicada en las coordenadas X, Y, Z respecto del eje de coordenadas a -44,18 mm en la dirección Y, 0 mm en la dirección en X y 172,37 mm en la dirección Z.

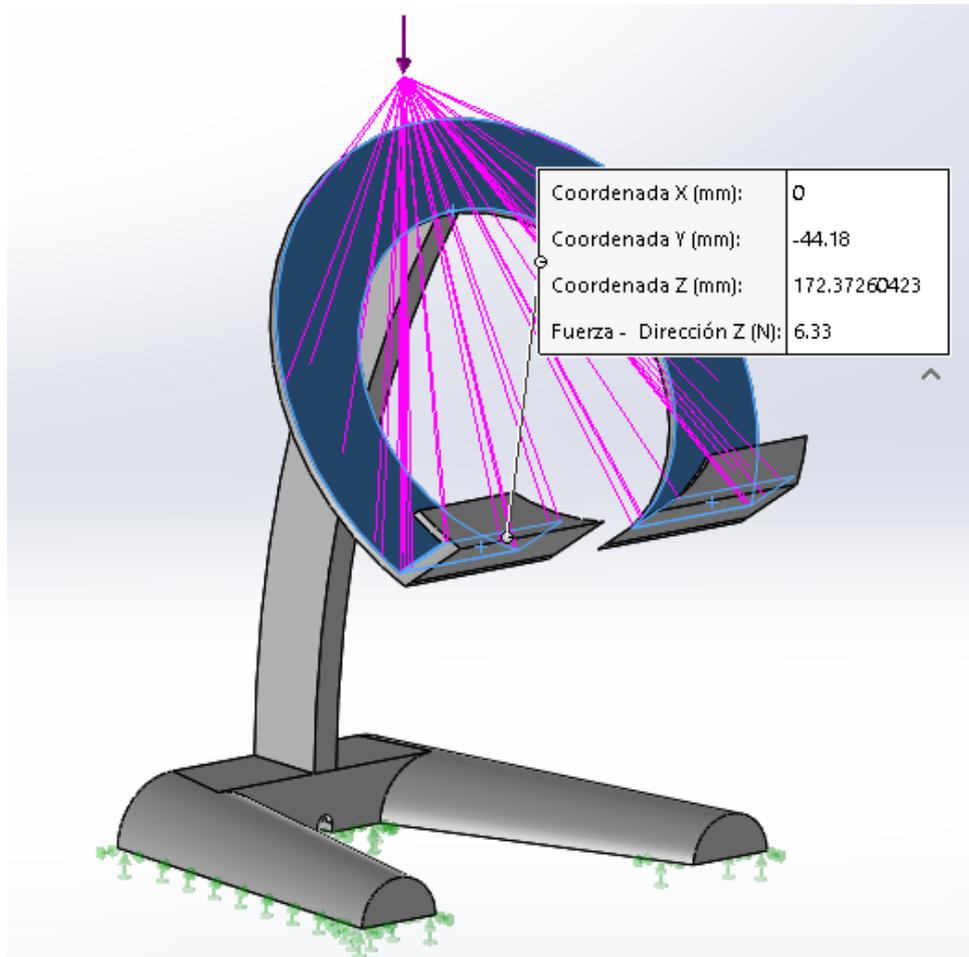


Figura III.20. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 1.

Prototipo 2

En la figura III.21 se pueden ver las coordenadas en las que se encuentra ubicada la carga puntual. En este caso, la carga será igual que en el anterior de 6,33 N, pero las coordenadas en las que se encuentra ubicada la carga respecto del eje de coordenadas son las siguientes. 10,95 mm en el eje Y, 0 mm en el eje X y 165,15 mm en el eje Z.

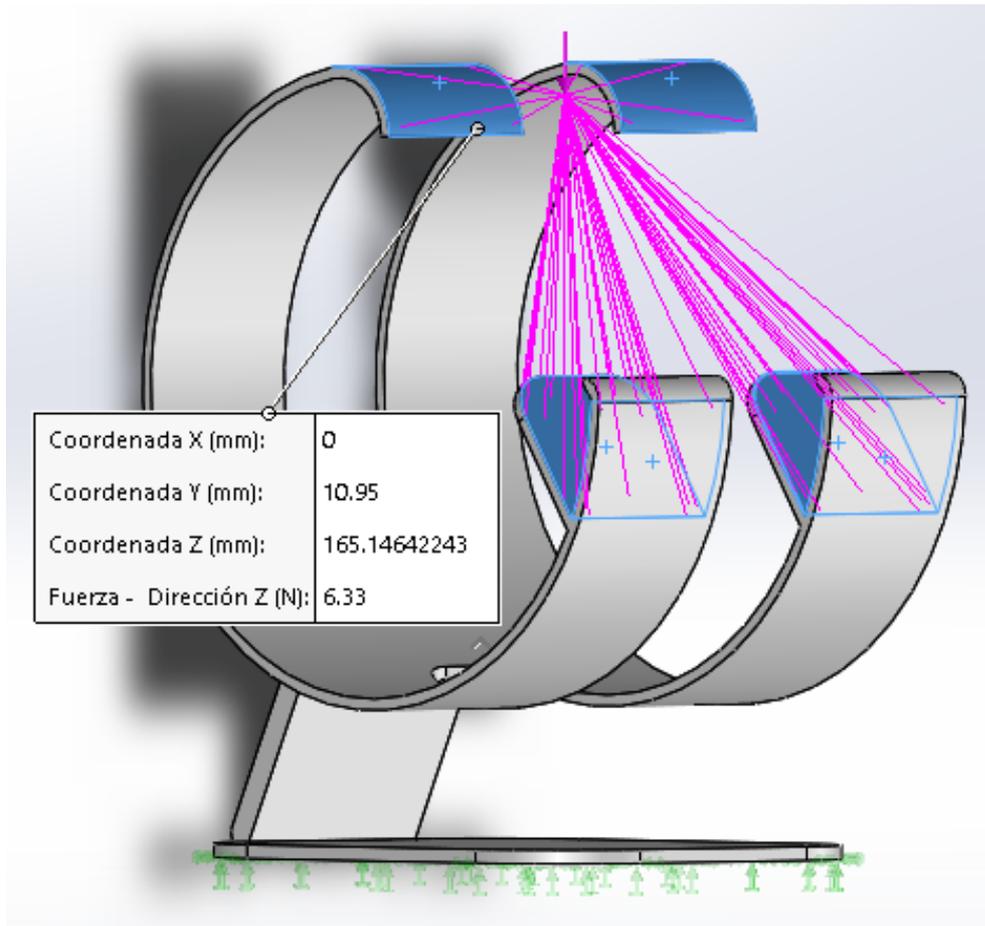


Figura III.21. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 2.

Prototipo 2 rediseñado

El rediseño de este prototipo se ha realizado por los motivos que se detallan más adelante en el apartado III.7 diseño final prototipos.

En la figura III.22 se puede observar donde se encuentra ubicada la carga puntual. En este caso, la carga será igual que en los casos anteriores de 6,33 N, pero en este caso la carga se encuentra ubicada respecto del eje de coordenadas son las siguientes coordenadas. -26,43 mm en el eje Y, 0 mm en el eje X y 144,42 mm en el eje Z.

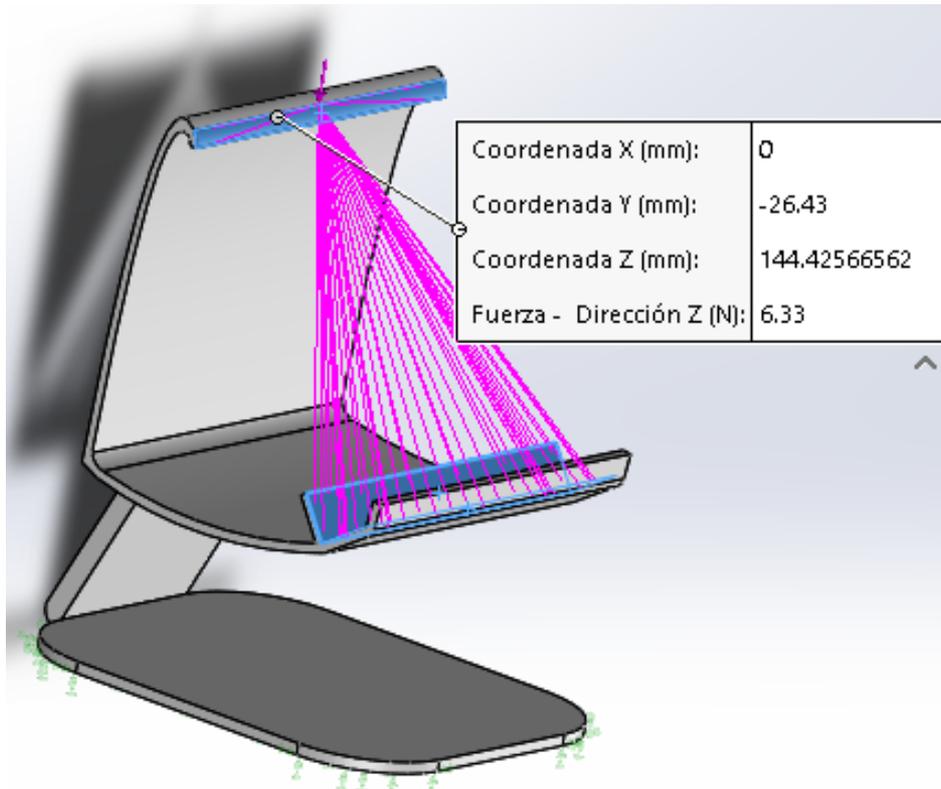


Figura III.22. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 2 rediseñado.

Prototipo 3

En la siguiente figura III.23 se aprecia donde se encuentra situada la carga remota respecto al eje de coordenadas. Al igual que las anteriores esta carga es de 6,33 N. En este caso la carga remota se encuentra a 47,34 mm en el eje Y, 0 mm en el eje X y 146,36 en el eje Z con respecto al eje de coordenadas.

Posteriormente, se somete a este prototipo a un rediseño el cual se explica con más detalle en el apartado III.7. La modificación realizada en este prototipo no afecta en la ubicación de esta carga remota, con lo cual esta cara estará ubicada exactamente en las mismas coordenadas.

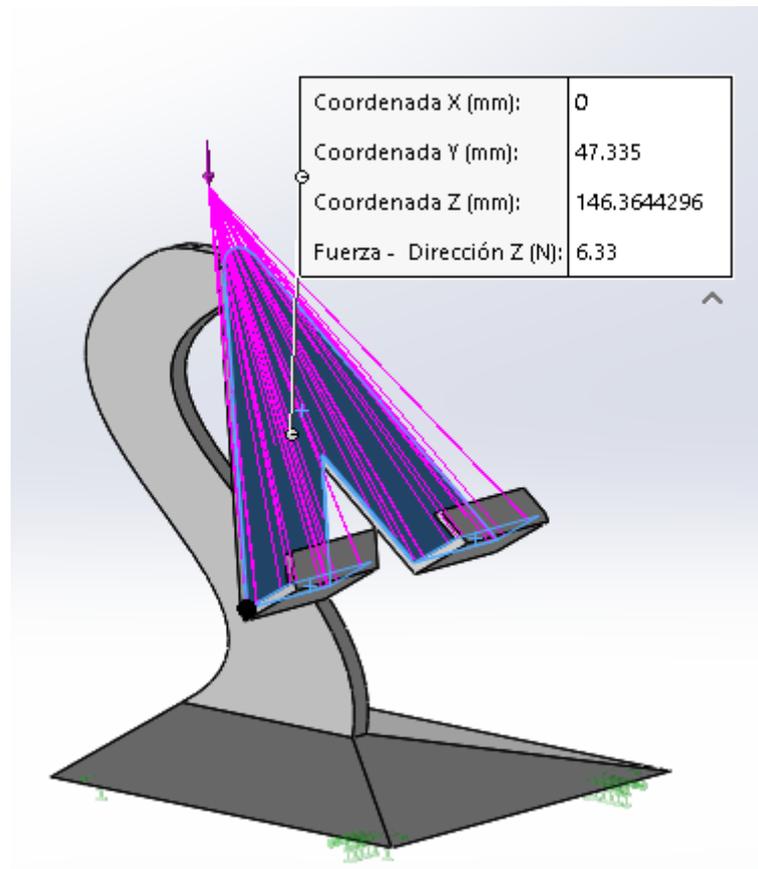


Figura III.23. Ubicación y carga de la carga remota en el prototipo 3.

III.6.1.2. Aplicación de materiales.

La simulación de los diferentes prototipos se ha llevado a cabo con el empleo de ABS y PLA.

Para la aplicación del ABS, este se ha seleccionado de la biblioteca de materiales que tiene SolidWorks por defecto. En cambio, el PLA es un material que no está por defecto en la biblioteca de materiales de SolidWorks. Por este motivo se ha creado este material desde cero. Para ello, se han introducido todas las propiedades más relevantes que necesita SolidWorks para realizar el análisis estático. Estas propiedades son las que se han podido observar en anterioridad en la Tabla III.3. En la figura III.24 se pueden ver las propiedades del ABS con las que se han realizado los análisis estáticos y en la figura III.25 se aprecia una imagen con las diferentes propiedades empleadas para realizar el análisis estático con PLA. En estas dos figuras, se ve reflejado como SolidWorks marca con color rojo las propiedades más significativas para la realización del análisis, con

color azul las propiedades que son recomendable que estén y las que se encuentran en color negro son propiedades indiferentes para la realización del cálculo o que el mismo programa las calcula automáticamente cuando realiza el cálculo.

Tipo de modelo:

Unidades:

Categoría:

Nombre:

Criterio de fallos predeterminado:

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad:

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	2000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.394	N/D
Módulo cortante	318.9	N/mm ²
Densidad de masa	1020	kg/m ³
Límite de tracción	30	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	30	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2256	W/(m·K)

Figura III.25. Propiedades del ABS.

Tipo de modelo:

Unidades:

Categoría:

Nombre:

Criterio de fallos predeterminado:

Descripción:

Origen:

Sostenibilidad:

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	3500	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.39	N/D
Módulo cortante	2400	N/mm ²
Densidad de masa	1250	kg/m ³
Límite de tracción	60	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	60	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K

Figura III.25. Propiedades del PLA.

III.6.1.3. Aplicación de las restricciones.

Antes de la realizar la simulación del análisis estático de los diferentes prototipos. Se ha tenido que definir la goniometría fija cada uno de los diferentes prototipos. La geometría fija definida para los diferentes modelos de soporte será la misma, ya que esta se encuentra ubicada en la cara de la base del soporte que se está en contacto con la superficie. Es imprescindible la aplicación de esta fijación ya que sin ella no se podría realizar la simulación. En la figura III.26 se puede observar un ejemplo de donde se ha aplicado la geometría fija.

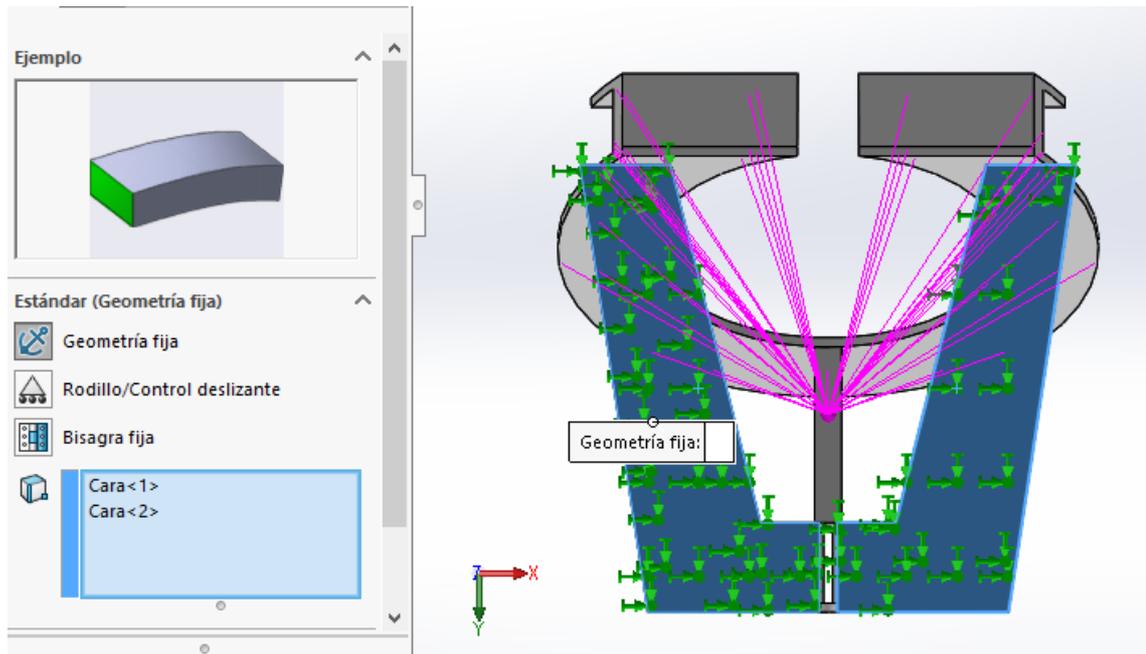


Figura III.26. Aplicación geometría fija.

III.6.1.3. Aplicación de mallado.

Por ultimo antes de realizar la simulación del análisis estático, se ha creado un mallado a los diferentes prototipos de soporte.

La creación de este mallado se realiza de forma automática por el programa SolidWorks. El cual aplica una densidad de malla que mejor se adapta a la geometría de la pieza. Si se aplica una densidad de malla muy gruesa a la pieza, los resultados obtenidos al realizar la simulación del análisis estático no tendrán tanta calidad como si se hubiera aplicado un mallado muy fino. Es por ello, que cuando más fina sea la malla mejores resultados se obtendrán al realizar la simulación del análisis estático. Aunque el mayor problema que presenta realizar un mallado muy fino es que cuando más fino sea, mayor número de cálculos tendrá que realizar el software y más tiempo se tardará en la obtención de los resultados. En la figura III.27 se muestra un ejemplo de la creación de malla de manera manual, con una densidad de malla intermedia-alta. En la figura III.28 se puede observar la malla creada en la pieza.

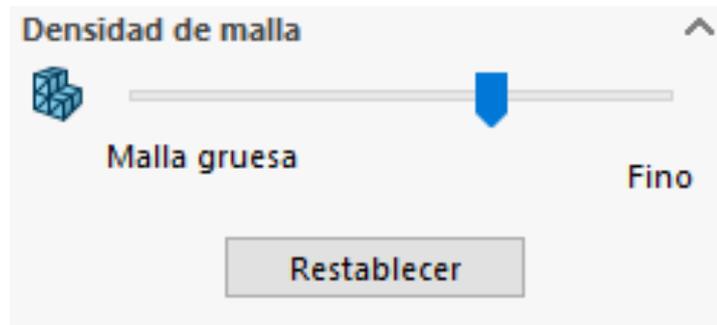


Figura III.27. Densidad de malla.

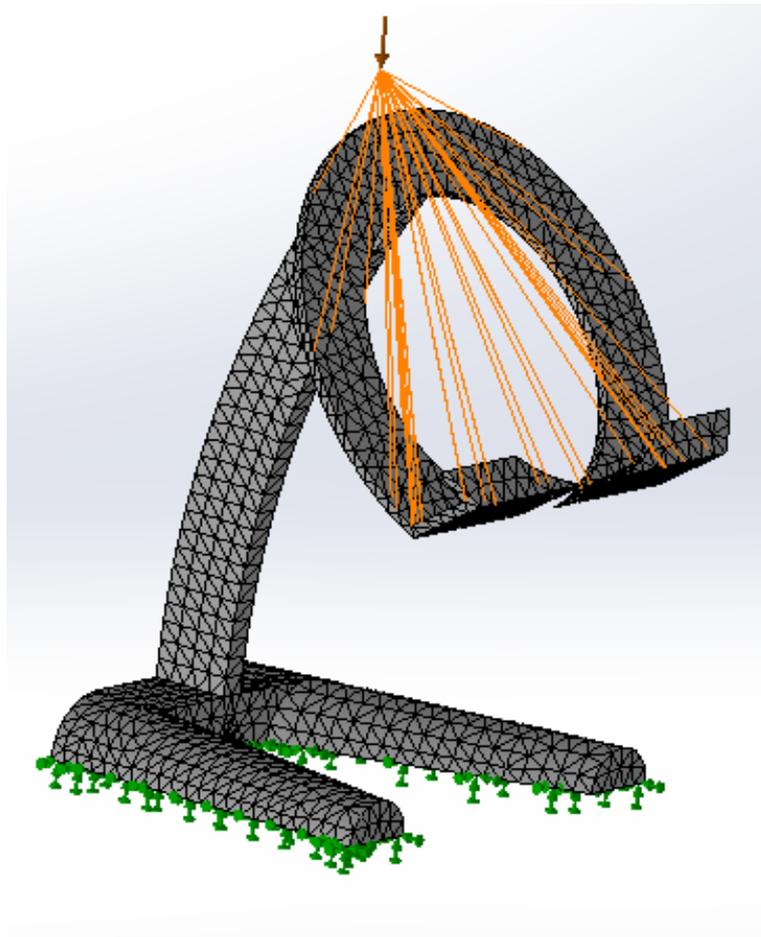


Figura III.28. Aplicación de malla.

III.6.2. Análisis de estados tensionales y deformaciones.

Seguidamente se realiza el análisis de resultados de las tensiones y deformaciones de los diferentes prototipos con la aplicación de ABS y PLA. Los prototipos analizados a continuación, son los diseños finales de cada uno de ellos con las modificaciones de diseño explicadas en el apartado III.7.

III.6.2.1. Prototipo 1

ABS

- **Tensión:** En la figura III.29 se muestran las máximas tensiones alcanzadas en el prototipo 1 con ABS. Esta tensión máxima alcanzada es de 3 MPa. Como el ABS tiene un límite elástico de 30 MPa, la máxima tensión alcanzada no llegaría a producir deformaciones permanentes en la pieza y por lo tanto, la pieza tampoco llegaría a romper.

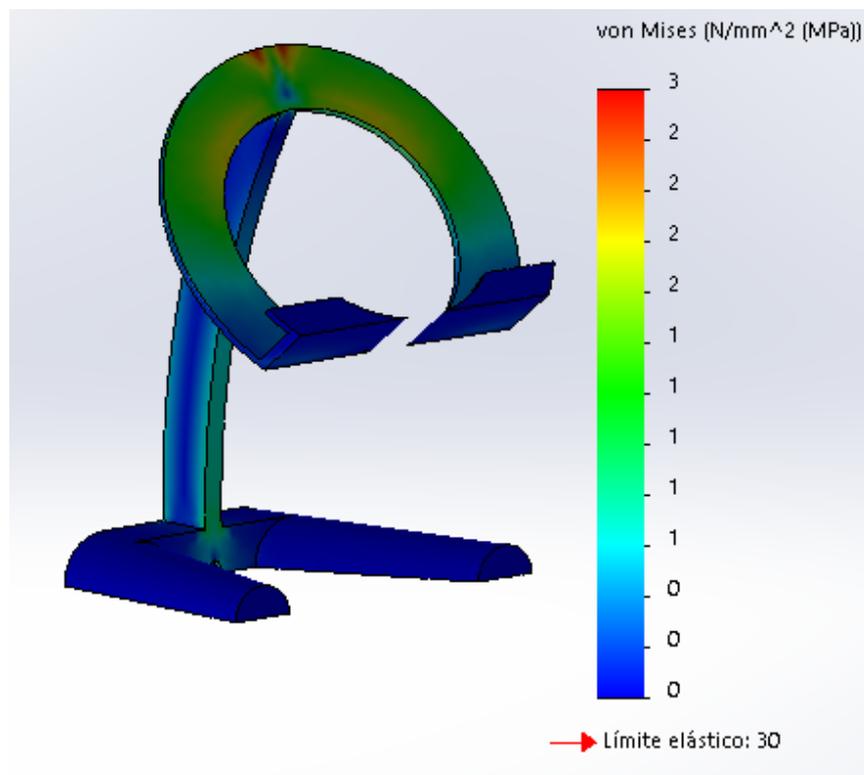


Figura III.29. Máxima tensión alcanzada en el prototipo 1 con el empleo de ABS.

- **Desplazamientos:** En la figura III.30 se muestran los desplazamientos producidos en la pieza. El máximo desplazamiento producido es de 2,98 mm, el cual podemos observar en la figura III.31 que se produce en la base donde se apoyaría la tablet.

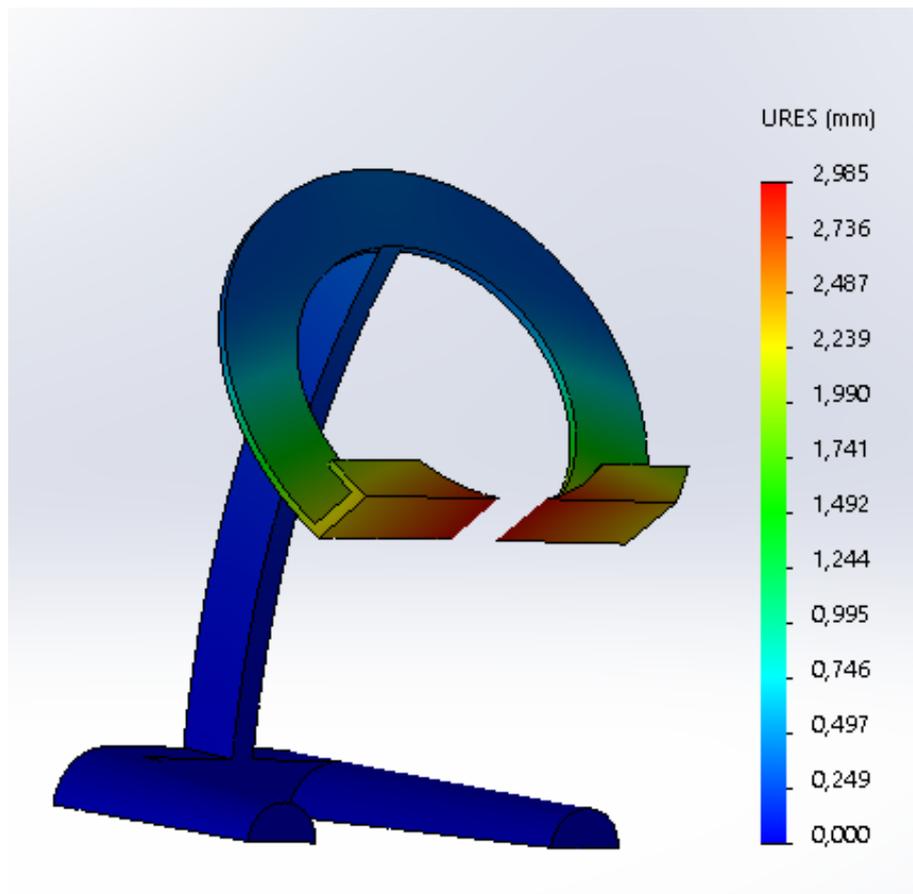


Figura III.30. Máximo desplazamiento producido en el prototipo 1 con ABS.

PLA

- **Tensión:** En la figura III.31 se ven las máximas tensiones alcanzadas en el prototipo 1 con el material PLA. Esta tensión máxima alcanzada es de 3 MPa. Como el PLA tiene un límite elástico de 60 MPa, la máxima tensión alcanzada no llegaría a producir ningún tipo de deformación permanente en la pieza. El material no rompería ya que el límite de tracción del material es de 60 MPa.

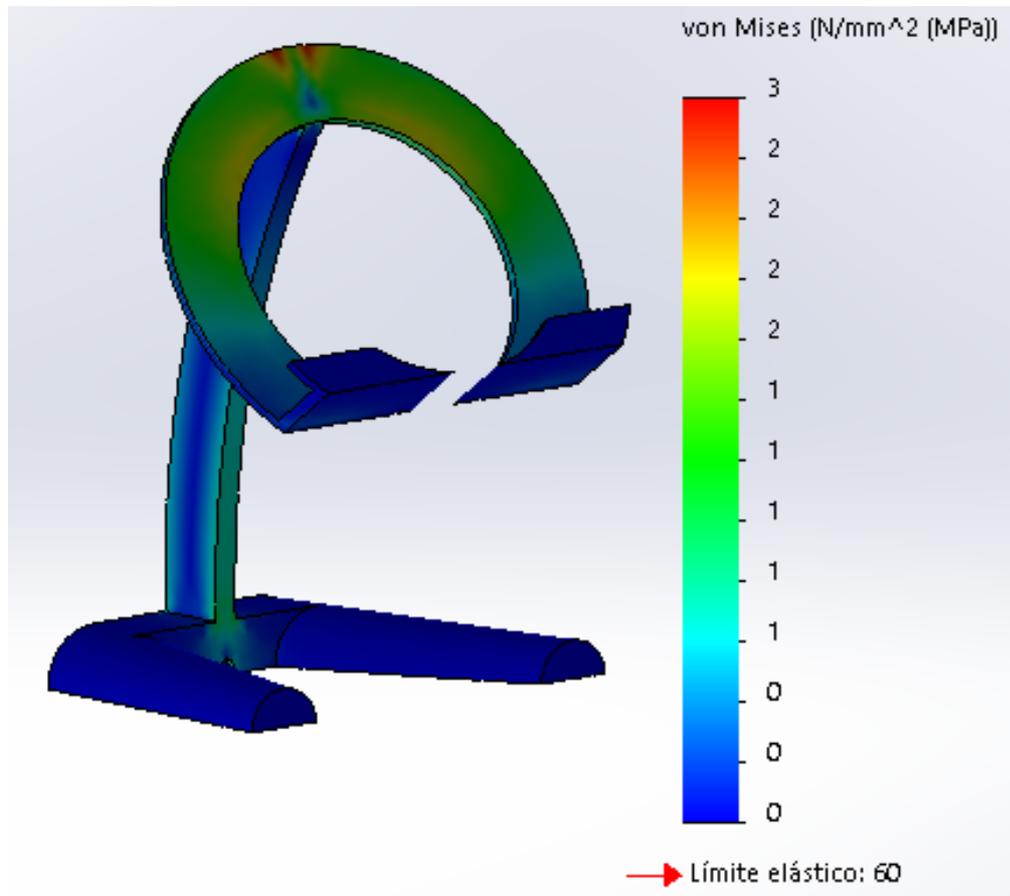


Figura III.31. Máxima tensión alcanzada en el prototipo 1 fabricado con PLA.

- **Desplazamientos:** En la figura III.32 se observan los desplazamientos producidos en el prototipo 1 analizado con PLA. El máximo desplazamiento producido es de 1,70 mm, el cual se produce en la base donde se ubica la tablet.

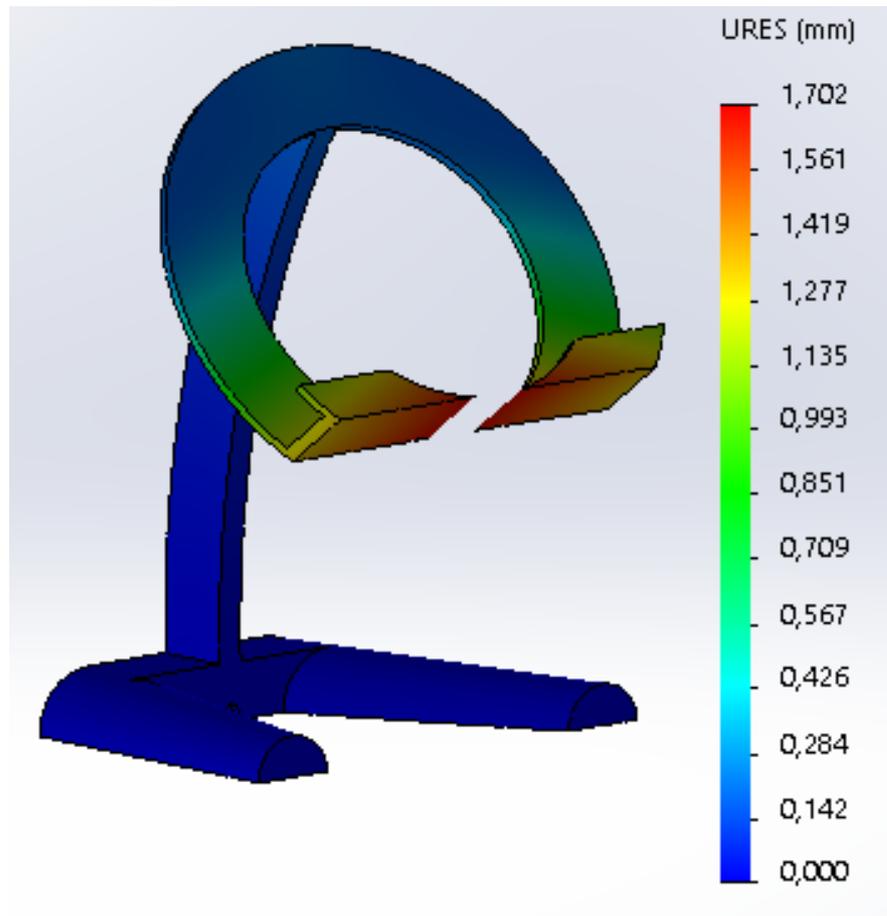


Figura III.32. Máximo desplazamiento producido en el prototipo 1 con material PLA.

III.6.2.2. Prototipo 2 Rediseñado

ABS

- **Tensión:** En la figura III.33 se aprecian las máximas tensiones producidas en el prototipo 2 rediseñado después de haber realizado la simulación del análisis estático. La máxima tensión alcanzada en este soporte es de 4 MPa. El ABS tiene un límite elástico y de tracción de 30 MPa, por lo tanto, estas tensiones alcanzadas no llegarían a producir ningún tipo de fallo en el material ni deformaciones permanentes.

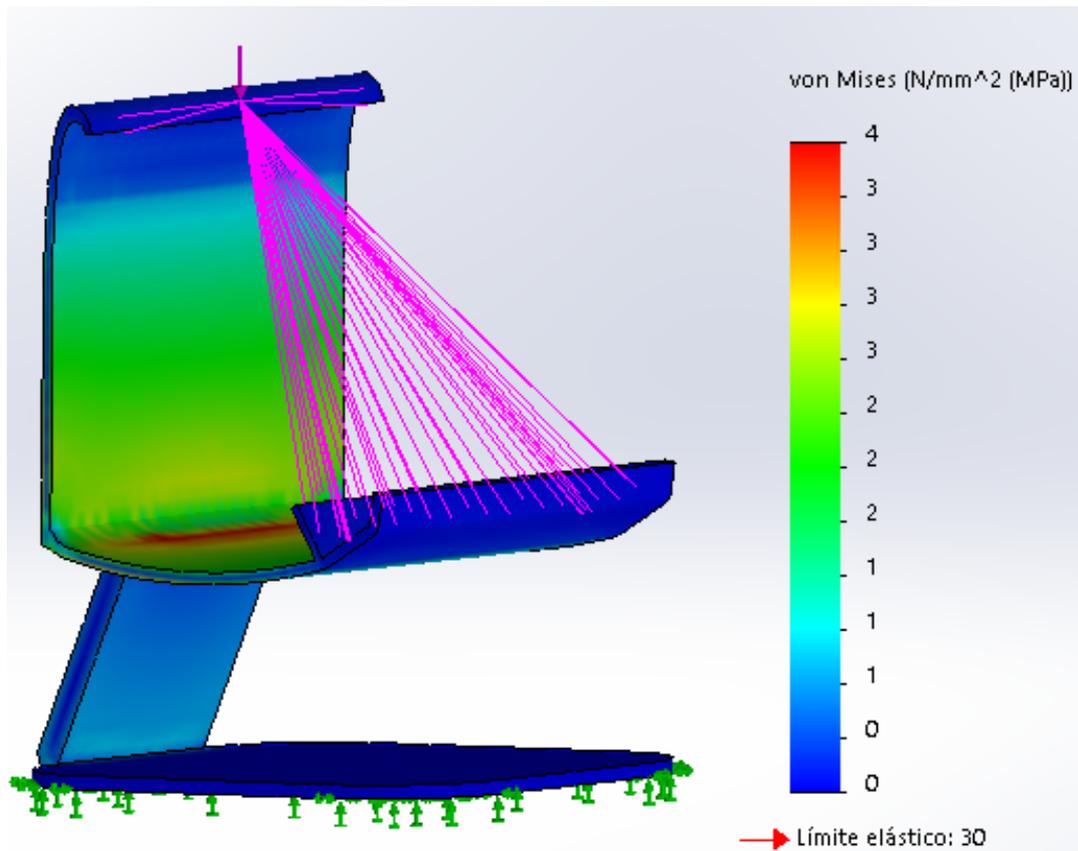


Figura III.33. Máximas tensiones producidas en el prototipo 2 rediseñado con ABS.

- **Desplazamientos:** En la figura III.34 se ven los máximos desplazamientos alcanzados en el prototipo 2 rediseñado analizado con ABS. El máximo desplazamiento producido es de 3,91 mm, el cual produce en la base donde apoyaría la tablet.

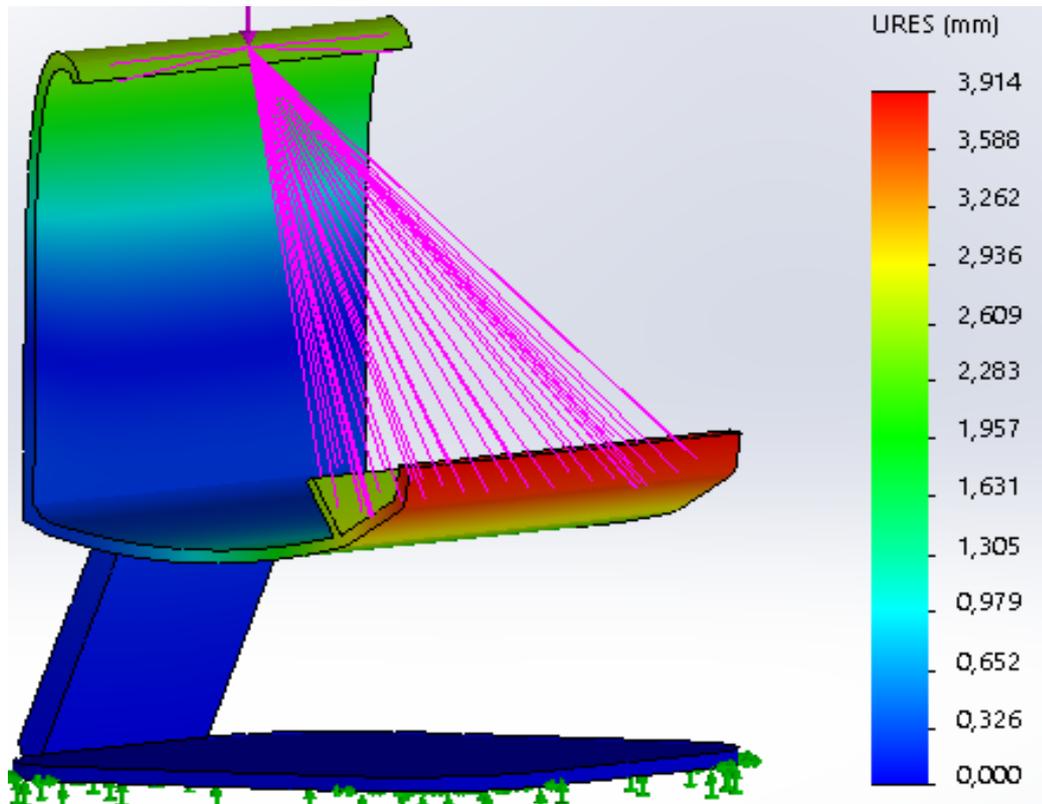


Figura III.34. Máximos desplazamiento obtenidos en el prototipo 2 rediseñado con ABS.

PLA

- **Tensión:** En la figura III.35 se aprecian las máximas tensiones alcanzadas en el prototipo 2 una vez aplicadas las modificaciones de diseño y de haber lanzado la simulación. La máxima tensión alcanzada en este soporte es de 4 MPa. Como el límite elástico y de tracción del PLA es de 60 MPa, estas tensiones alcanzadas no llegarían a producir ningún tipo de rotura en el material ni deformaciones permanentes.

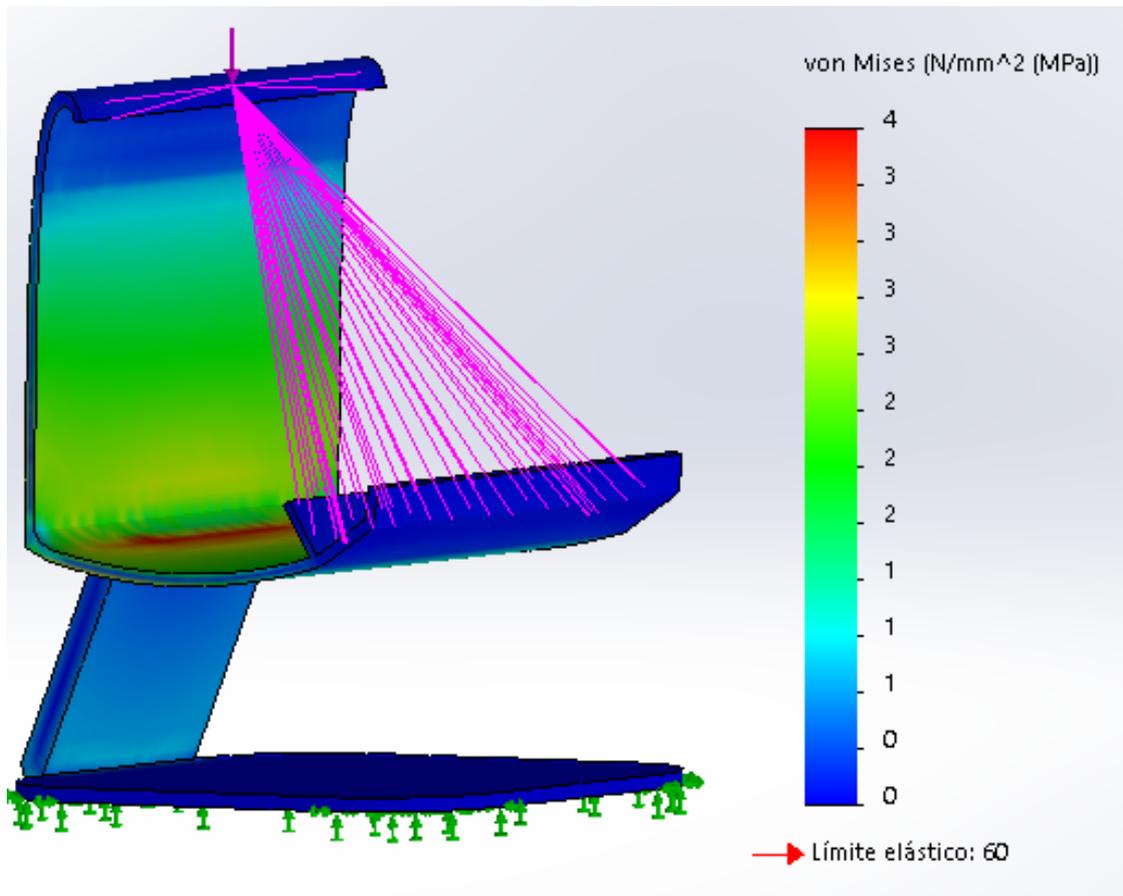


Figura III.35. Máximas tensiones alcanzadas en el prototipo 2 rediseñado con PLA.

- **Desplazamientos:** En la figura III.36 se pueden observar los máximos desplazamientos producidos en el prototipo 2 rediseñado analizado con la aplicación de PLA. Estos máximos desplazamientos producidos son de 2,24 mm, el cual se produce en la base donde apoyaría la tablet.

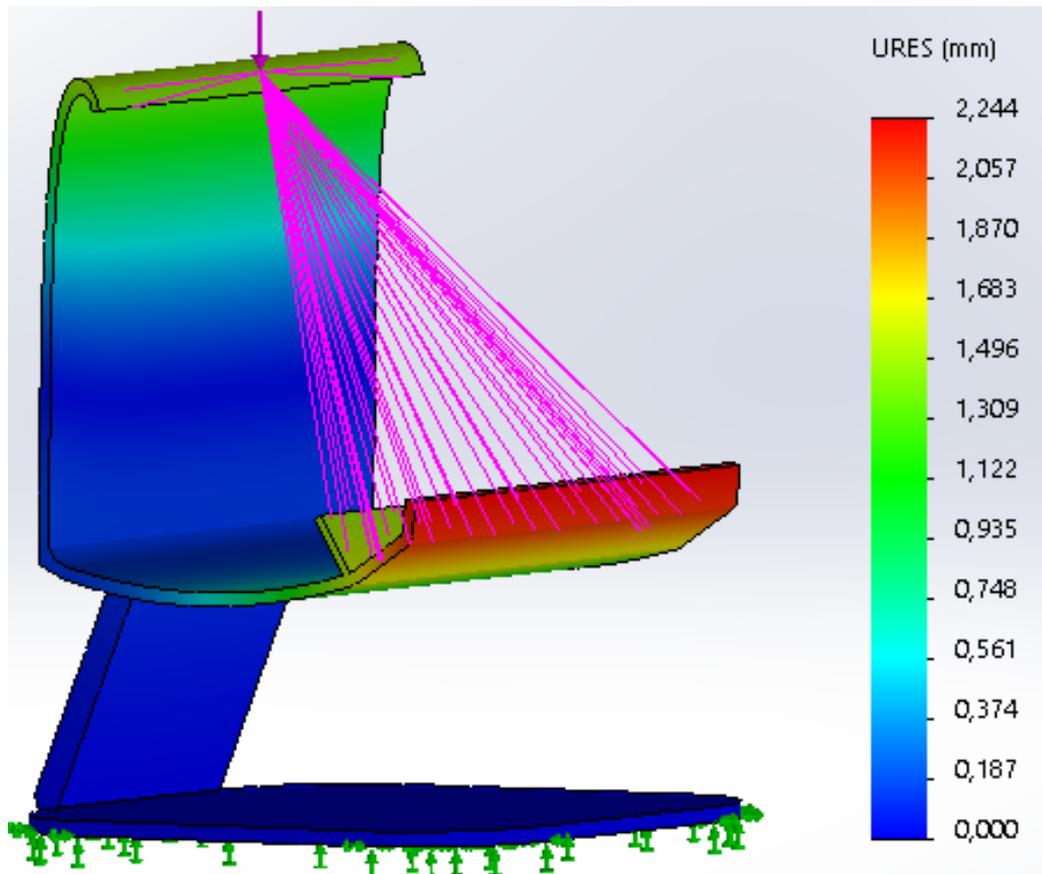


Figura III.36. Máximos desplazamientos alcanzados en el prototipo 2 rediseñado con PLA.

III.6.2.3. Prototipo 3 Rediseñado

ABS

- **Tensión:** En la figura III.37 se ven las máximas tensiones alcanzadas en el prototipo 3 después de haber lanzado la simulación. La máxima tensión alcanzada en este soporte es de 1 MPa, por lo tanto como el ABS tiene un límite elástico y de tracción de 30 MPa, estas tensiones alcanzadas no llegarían a producir ningún tipo de fallo en el material ni deformaciones permanentes.

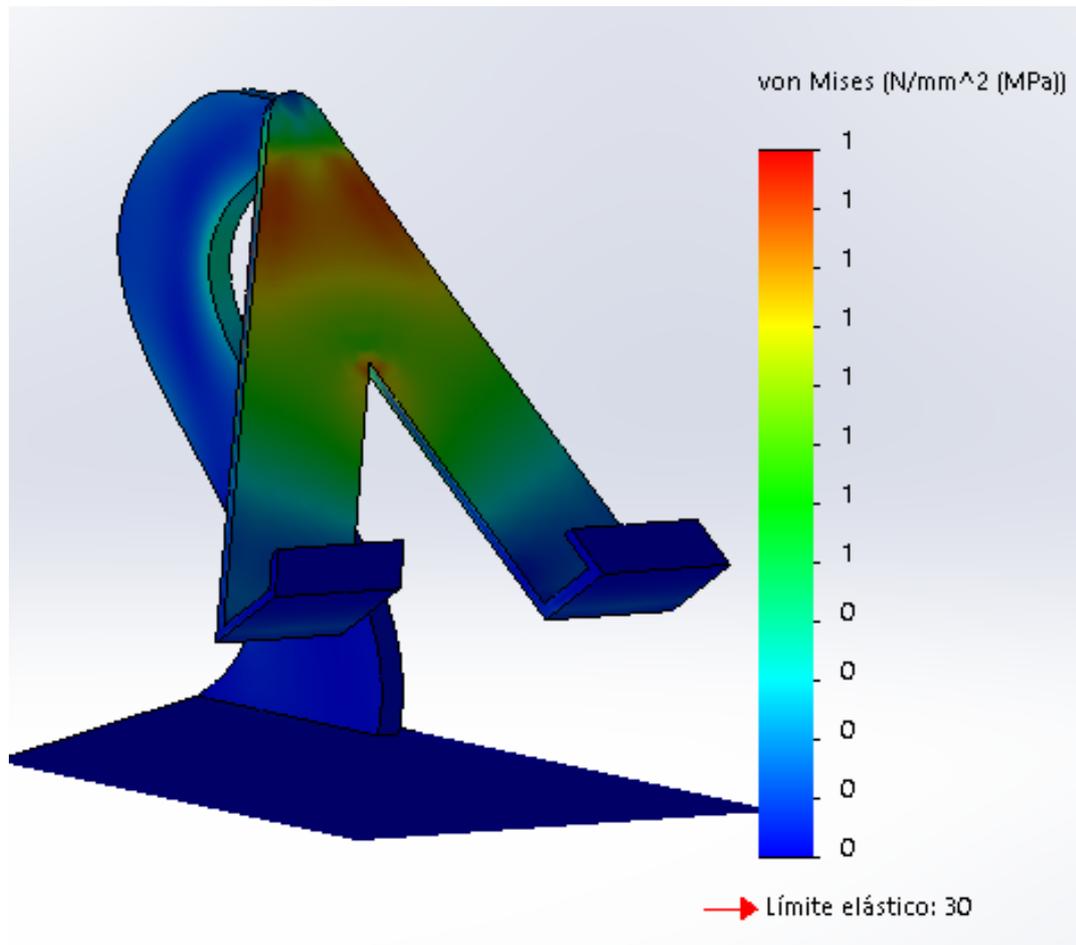


Figura III.37. Máxima tensión alcanzada en el prototipo 3 con la aplicación de ABS.

- **Desplazamientos:** En la figura III.38 se observan los desplazamientos producidos en el prototipo 3 analizado con la aplicación de ABS. El máximo desplazamiento producido es de 2,22 mm, el cual se produce en los estribos donde se asienta la tablet.

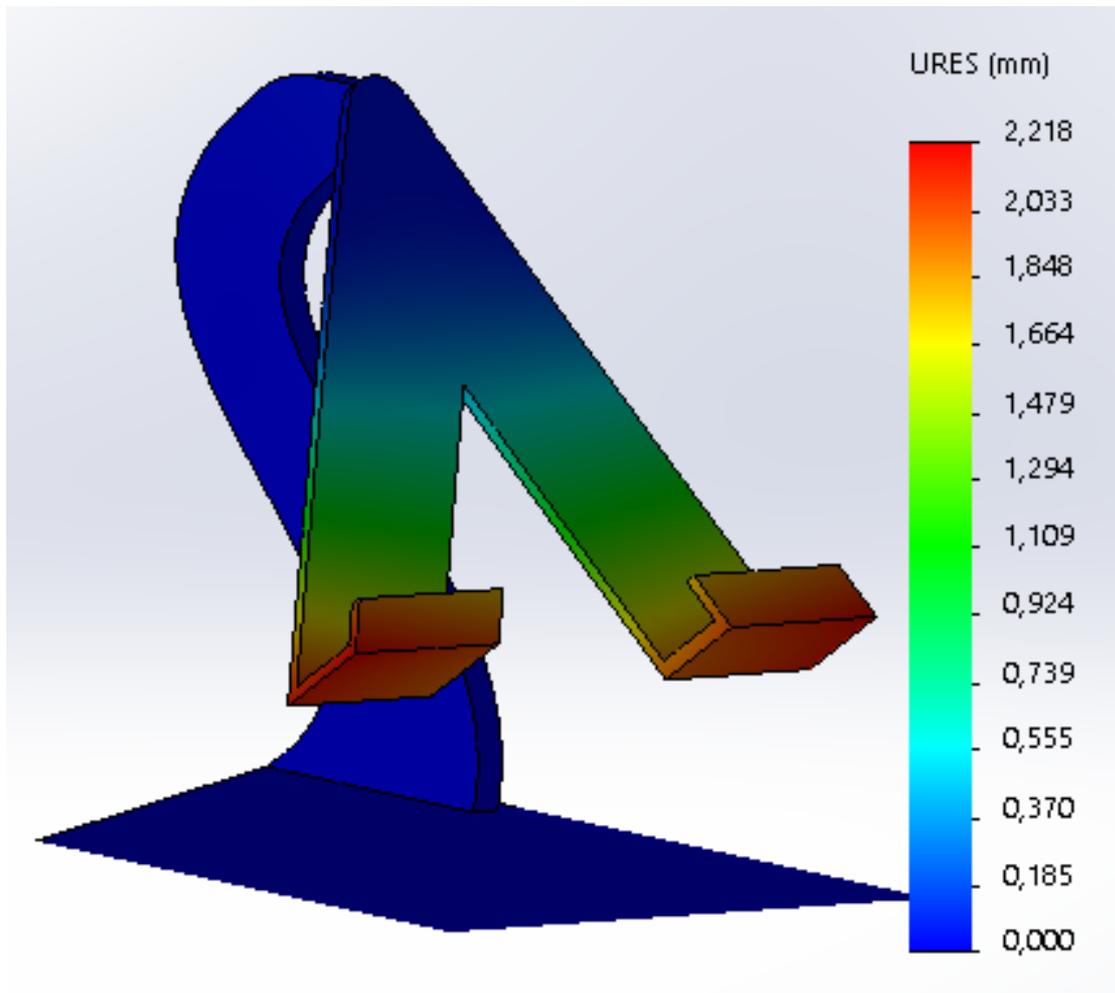


Figura III.38. Desplazamientos producidos en el prototipo 3 con la aplicación de ABS.

PLA

- **Tensión:** En la figura III.39 se reflejan los resultados obtenidos después de realizar la simulación del prototipo 3 con la aplicación del material PLA. En esta figura se muestra la máxima tensión alcanzada en la pieza. Como la máxima tensión alcanzada es de 1 MPa, esta no llegará a producir deformaciones permanentes en el material, como tampoco producirá el fallo del material, ya que este material tiene un límite elástico y de tracción de 60 MPa.

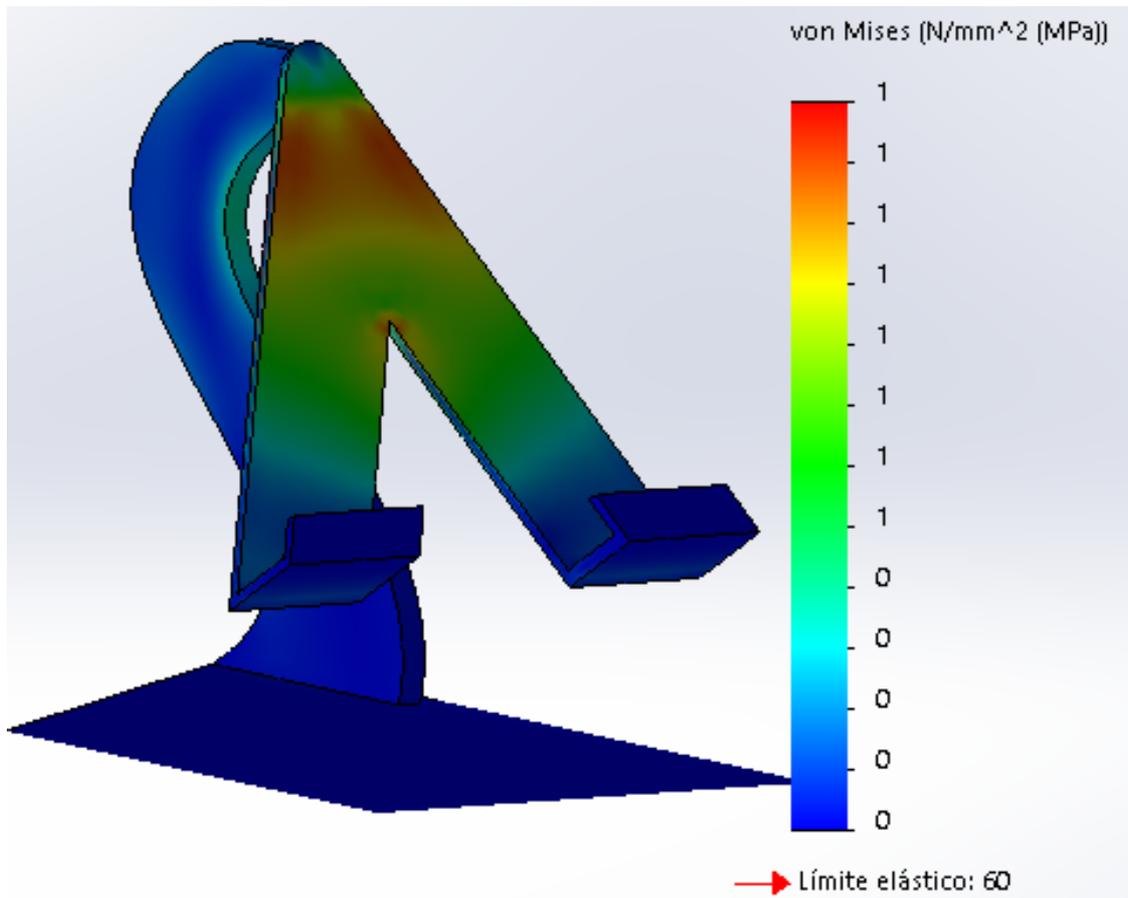


Figura III.39. Tensiones máximas alcanzadas en el prototipo 3 con la aplicación de PLA.

- Desplazamientos:** Al observar la figura III.40 con detenimiento, se aprecia que el máximo valor de desplazamiento producido para este caso es de 1,27 mm. El cual es menor, al compararlo con el caso anterior con la aplicación de ABS, ya que en este caso el desplazamiento máximo era de 2,22 mm, En las dos hipótesis de cálculo el máximo desplazamiento se encuentra localizado estribos donde se asienta la tablet.

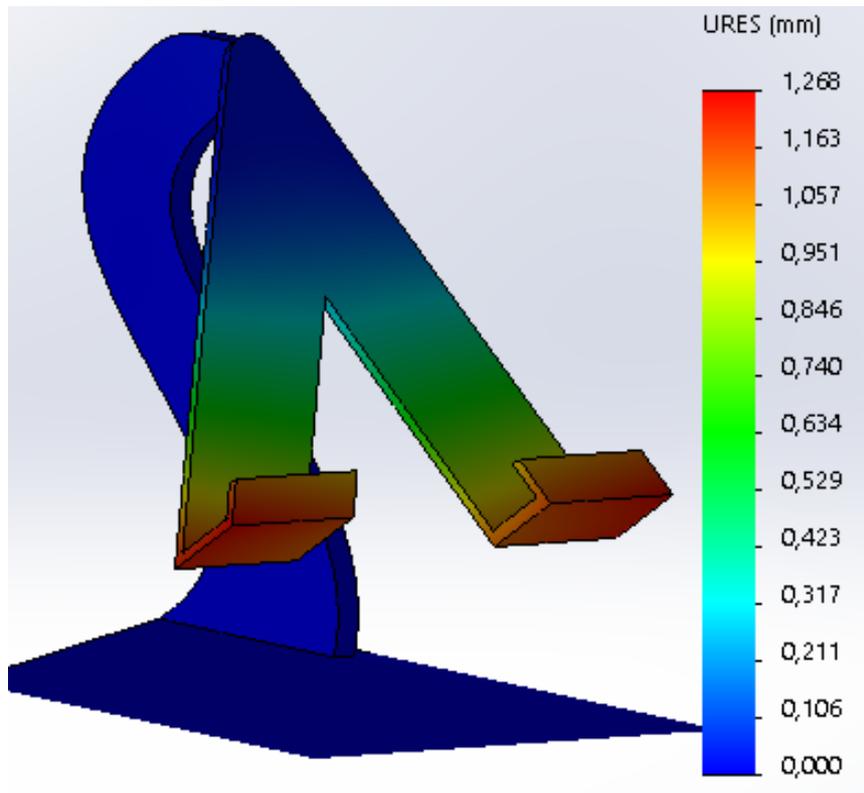


Figura III.40. Desplazamientos producidos en el prototipo 3 con la aplicación de PLA.

III.6.3. Trazado de Factor de Seguridad.

En la tabla III.4 se muestran los factores de seguridad obtenidos en los diferentes prototipos con la aplicación de los dos materiales.

Tabla III.4. Tabla comparativa del factor de seguridad para los diferentes prototipos con ABS y PLA.

Factor de Seguridad		
	ABS	PLA
Prototipo 1	11.68	26.36
Prototipo 2 rediseñado	7.90	16
Prototipo 3 rediseñado	21.46	42.92

En esta tabla podemos observar que los diferentes prototipos están sobredimensionados ya que nos da como resultado factores de seguridad muy elevados. Una solución para reducir estos coeficientes de seguridad, sería reducir los espesores de las paredes de los diferentes prototipos. El mayor problema que presenta esta solución es que al reducir los espesores de las piezas los desplazamientos que se producen son muy elevados con lo cual estas piezas tiene que estar sobre dimensionadas.

III.7. DISEÑO FINAL PROTOTIPOS.

En este apartado se muestran las modificaciones realizadas a los prototipos analizados en el apartado III.6 con dichas modificaciones ya aplicadas. Seguidamente se van a especificar los motivos por los cuales se han realizado dichas modificaciones.

III.7.1. Prototipo 1

En el caso del prototipo 1, no se le ha tenido que realizar ningún tipo de modificación ya que al realizar el análisis estático, se ha comprobado que la pieza soportaba las máximas tensiones producidas en los dos casos analizados (con PLA y ABS). La máxima tensión alcanzada con la aplicación de ABS y PLA es de 3 MPa. Como estos materiales tienen un límite elástico y de tracción de 30 y 60 respectivamente, estas tensiones no producirían ningún tipo de deformaciones permanentes ni mucho menos llegarían a producir la rotura del material. Por otro lado, al introducir el archivo STL en el software cura se aprecia que este prototipo no requiere de grandes soportes para realizar la impresión como se observa en la figura III.41. La zona de color rojo indica donde sería necesario un soporte adicional para realizar la impresión. Para minimizar al máximo el empleo de material de soporte, se optó por separar la cabeza del soporte en forma de herradura del cuerpo, como se explica en el apartado III.8.1.

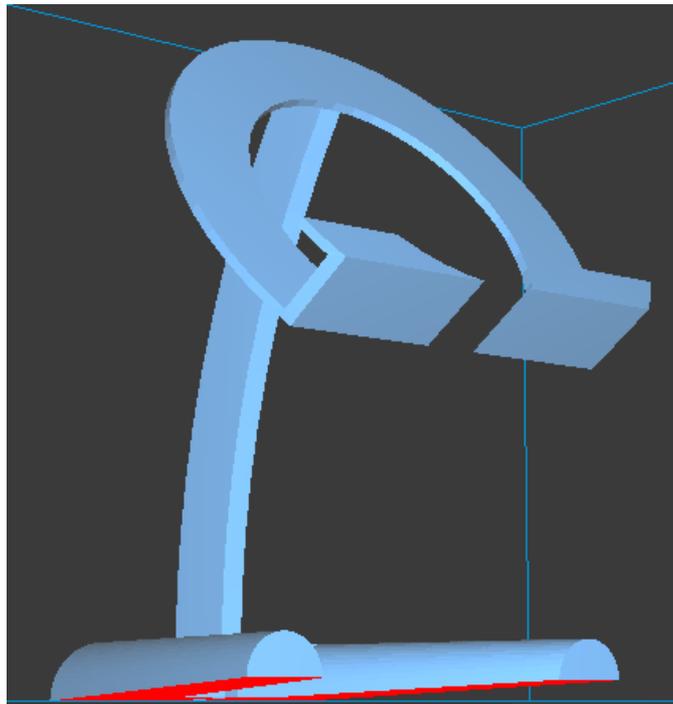


Figura III.41. .Zona de ubicación del soporte para la impresión del prototipo 1

III.7.2. Prototipo 2

Al prototipo 2 se le ha tenido que hacer un rediseño ya que al realizar la simulación del análisis estático, el software daba un error de cálculo. Este error era producido por desplazamientos excesivos en la pieza, en la figura III.42 se observa el error. Para solucionar este error y continuar con la simulación se ha activado la opción de simulación con grandes desplazamientos. Al activar esta opción, el software nos daba error de cálculo con la aplicación del ABS ya que con la aplicación de este material los desplazamientos continuaban siendo demasiado grandes y no se ha podido realizar la simulación. Por otra parte, al realizar la simulación con PLA el software daba los siguientes resultados.

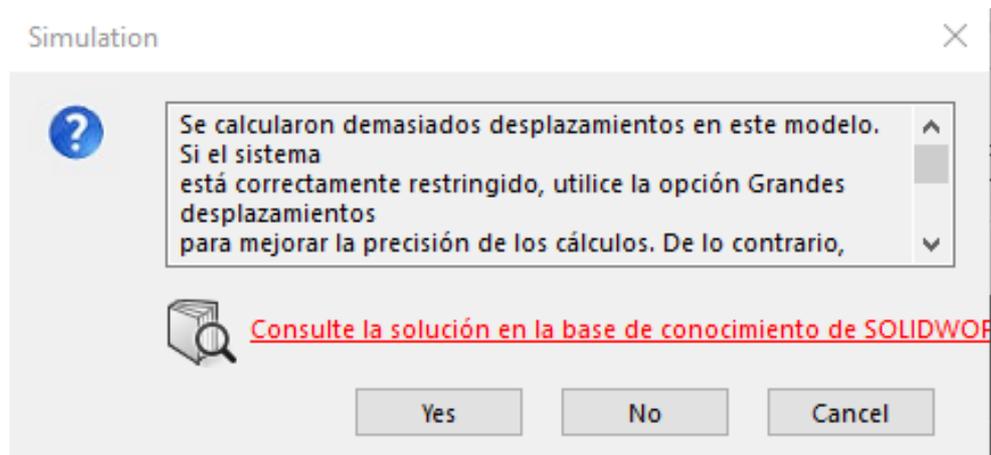


Figura III.42. Error de simulación.

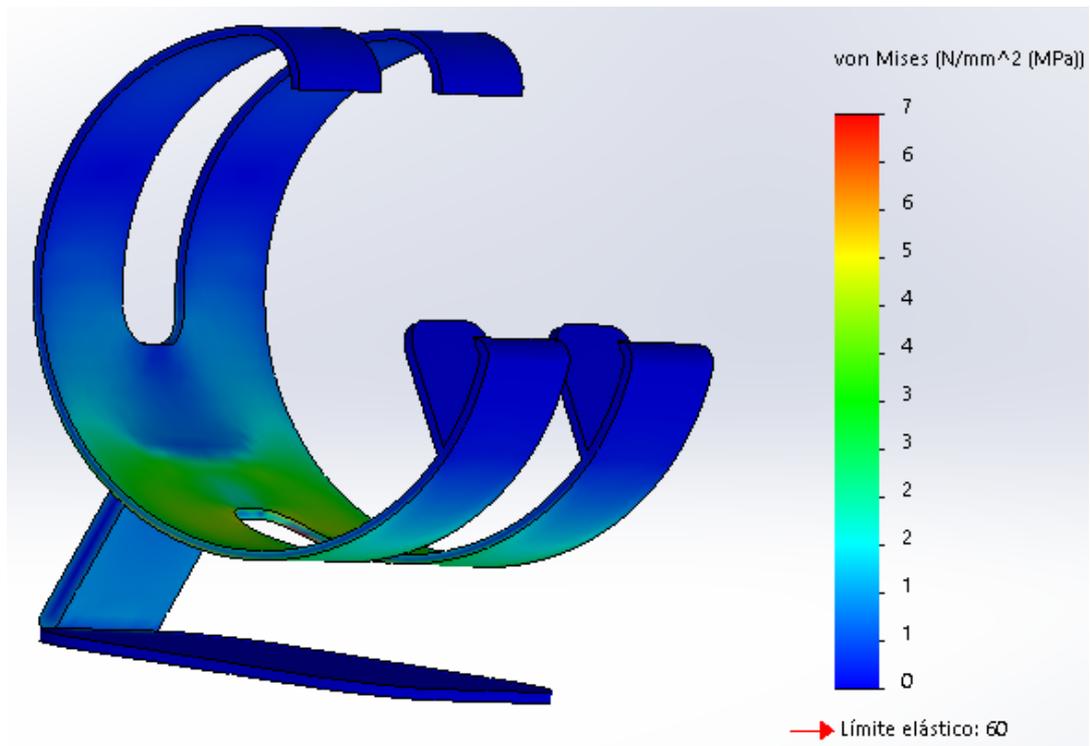


Figura III.43. Máxima tensión producida en el prototipo 2.

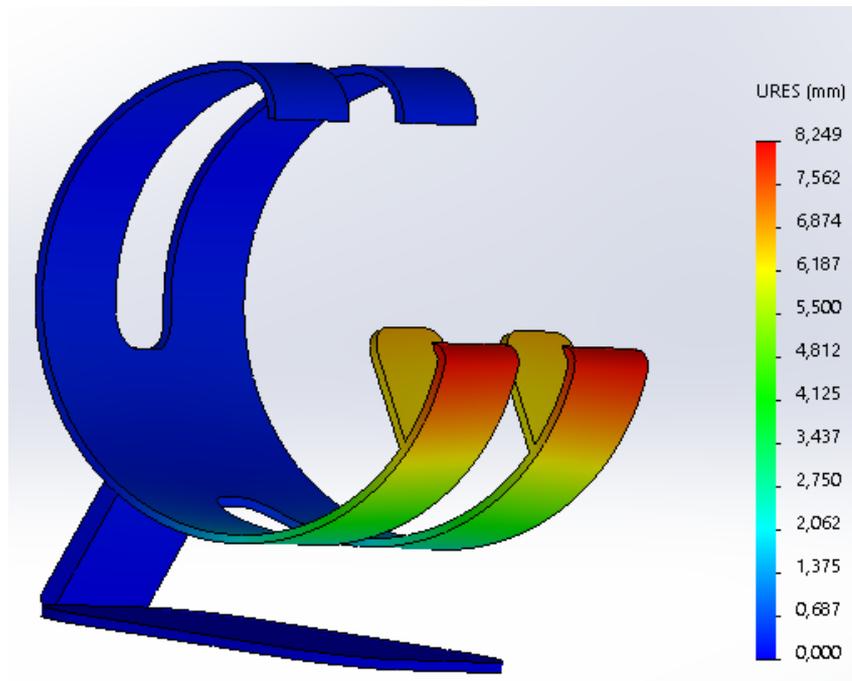


Figura III.44. Máximos desplazamientos alcanzados en el prototipo 2.

Como se puede ver en la figura III.43 la máxima tensión alcanzada no sería un problema ya que esta no llega a producir la rotura del material ni tampoco llegaría a producir deformaciones permanentes, ya que la máxima tensión alcanzada es de 7 MPa y el límite elástico y de tracción del material es de 60 MPa.

El mayor problema que presenta este prototipo son los desplazamientos producidos en este, ya que se alcanzan desplazamientos de hasta 8,25 mm como se puede observar en la figura III. 44. Estos desplazamientos producidos son demasiado excesivos.

Por otra parte, el prototipo requería de muchos elementos de soporte para realizar la impresión como podemos observar en la figura III.45. Por todos estos problemas se ha decidido proceder al rediseño del prototipo 2 que se puede observar en la figura III.46.

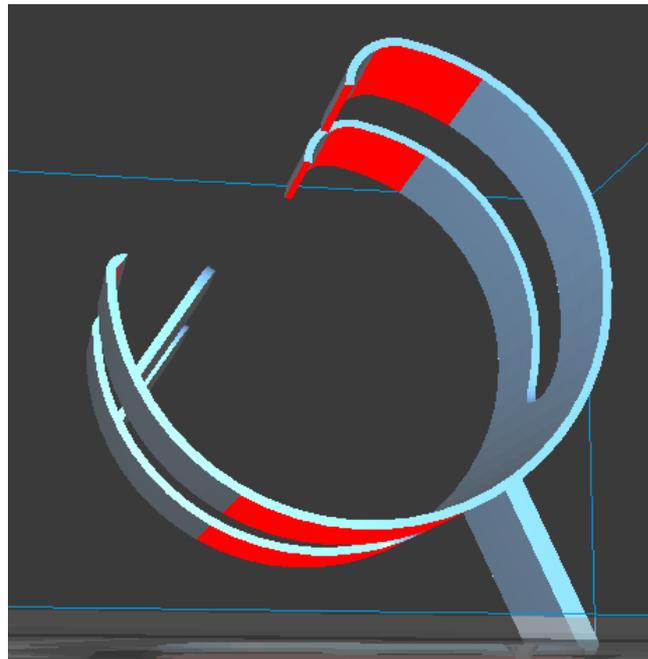


Figura III.45. Zona de ubicación de los elementos de soporte para la impresión del prototipo 2.

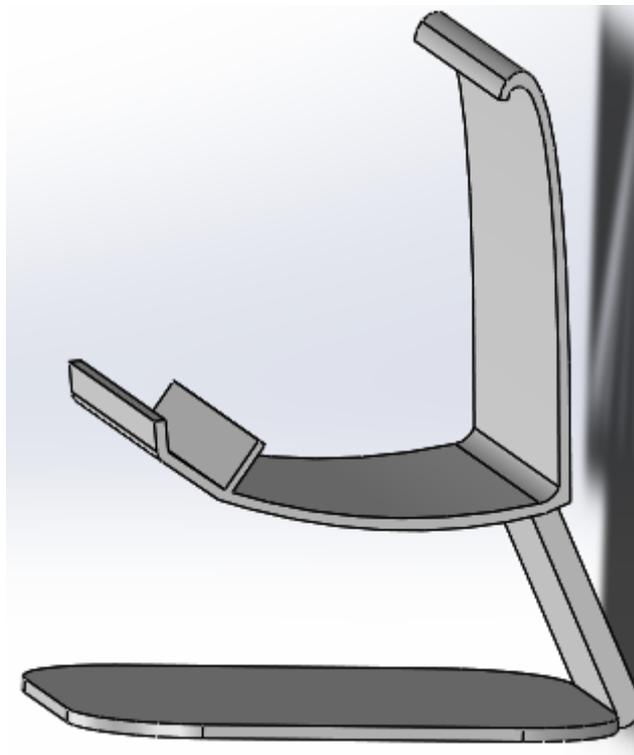


Figura III.46. Rediseño final prototipo 2.

III.7.3. Prototipo 3

A este prototipo solo se le ha tenido que hacer una pequeña modificación en el diseño de la pieza. Esta modificación se ha realizado para poder eliminar un soporte necesario para imprimir la pieza en 3D y de esta manera poder reducir los costes y tiempos de fabricación. La zona que aparece de color rojo en el cuello del soporte en la figura III.47 es donde se ha hecho la modificación. Esta modificación ha tratado en hacer que el ángulo formado en ese punto fuese mayor de 45° de esta manera la impresora puede trabajar sin necesidad de añadir un soporte adicional para la fabricación del prototipo. En la figura III.48 a) y b) se muestra el prototipo 2 antes y después de haber realizado dicha modificación.

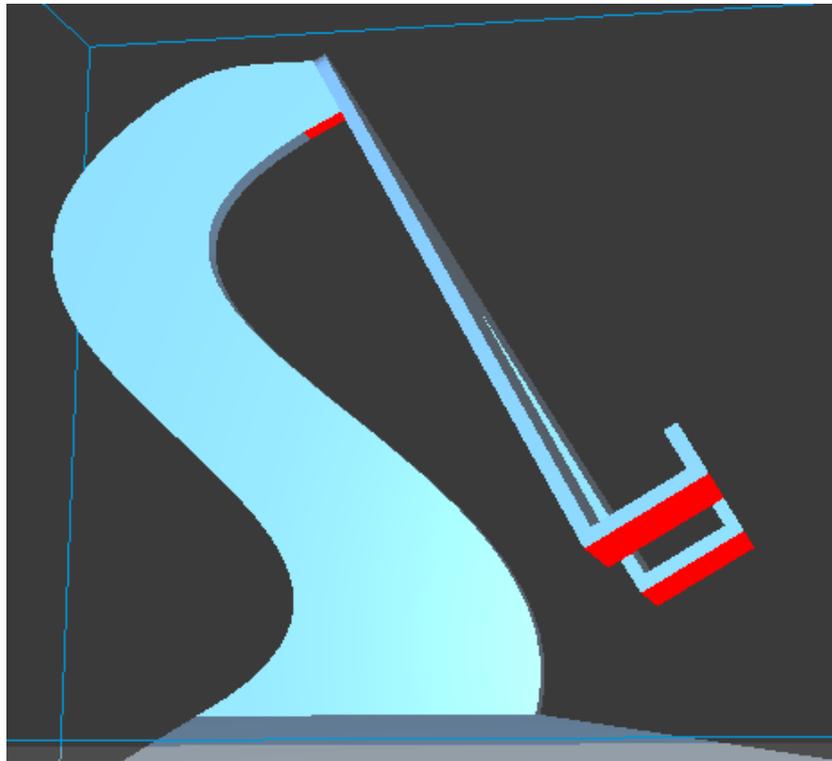


Figura III.47. Zonas que requieren un soporte adicional para la impresión del prototipo

3.

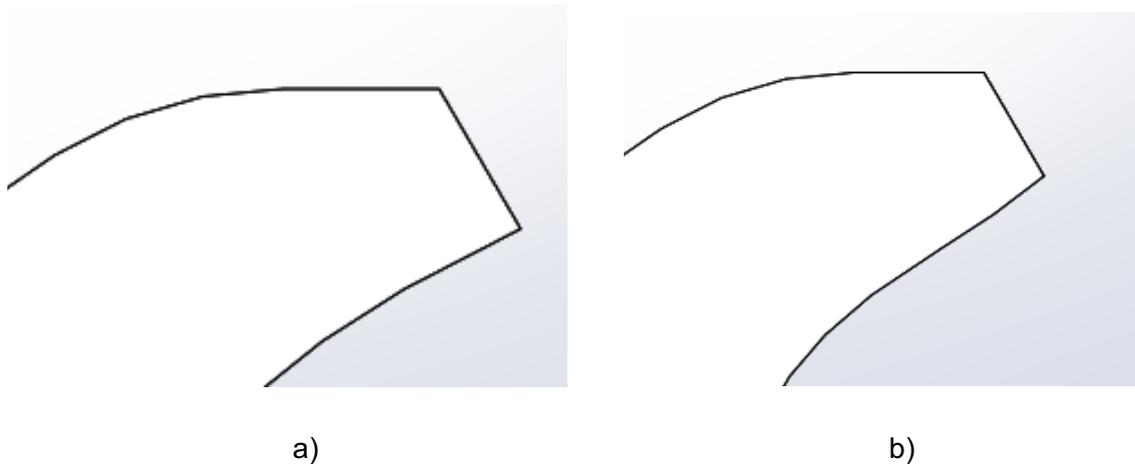


Figura III.48. a) Imagen de la zona del cuello del prototipo 2 antes de realizar la modificación, b) Imagen después de haber realizado la modificación.

III.8. FABRICACIÓN

III.8.1. Posiciones de impresión

Dependiendo del tipo de geometría de las piezas finales, estas se han tenido que posicionar de forma diferente a la hora de ser impresas. El motivo de este posicionamiento es conseguir que la impresión sea lo más efectiva e eficiente posible, de esta manera utilizar el mínimo material de soporte y reducir los tiempos de fabricación. La reducción de los tiempos de fabricación y de material de soporte se ve reflejado en el precio final de la pieza, ya que cuando menos material de soporte se emplee y menos tiempo de fabricación, el coste por unidad de cada pieza será más bajo.

Los posicionamientos para cada pieza han sido los siguientes.

III.8.1.1. Prototipo 1

El prototipo 1 sea impreso en dos partes al mismo tiempo. Para la impresión de este prototipo se ha separado la cabeza del soporte del cuerpo como se puede ver en la figura III.49, para así reducir el máximo material de soporte y los tiempos de impresión.

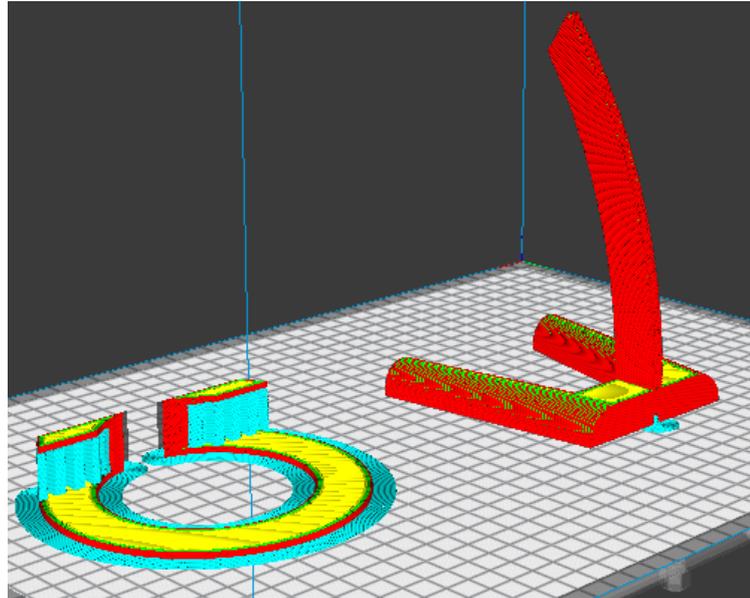


Figura III.49. Posicionamiento de impresión del prototipo 1.

III.8.1.2. Prototipo 2 rediseñado

En la impresión de este prototipo, sea optado por posicionar de manera horizontal la pieza como se observa en la figura III.50. De esta manera, no se requería de casi material de soporte y además se reducían los tiempos de fabricación.

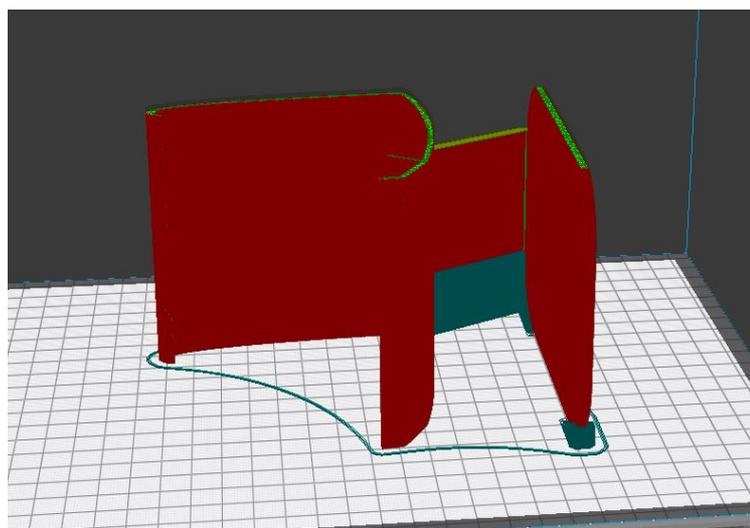


Figura III.50. Posicionamiento de impresión del prototipo 2 rediseñado

III.8.1.3. Prototipo 3 rediseñado

Para la impresión de este prototipo, se ha optado por imprimirlo de igual forma que el prototipo 1, ya que esta era la mejor manera para reducir al máximo el material de soporte empleado y los tiempos de impresión. En la figura III.51 se muestra una imagen del posicionamiento de impresión del prototipo 3 rediseñado.

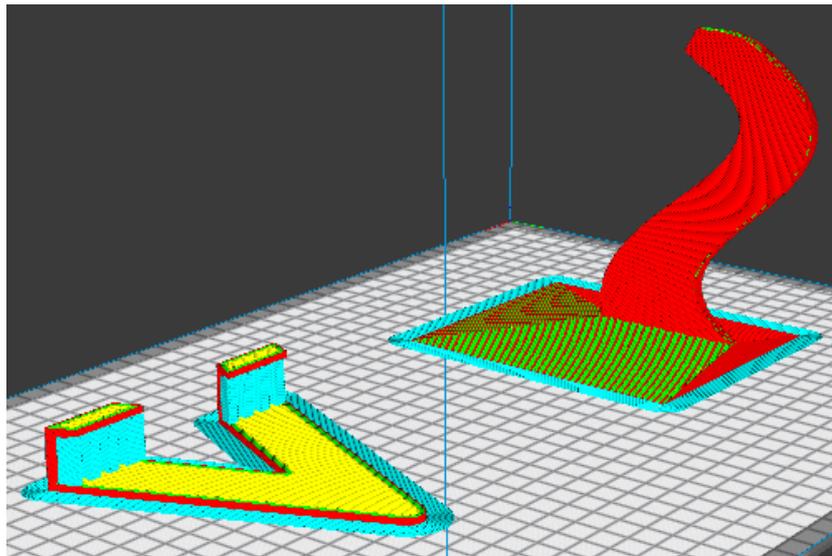


Figura III.51. Posicionamiento de impresión del prototipo 3 rediseñado

III.8.2. Parámetros de Impresión

El software de impresión Cura, permite controlar una gran variedad de parámetros de impresión. Algunos de los parámetros a controlar más importantes son.

III.8.2.1. Calidad

Este parámetro es el que determina la calidad de impresión. La calidad de impresión se realiza variando el tamaño de capa. Cuanto más finas sean las capas que componen la pieza mayor será la calidad del acabado de la pieza y por lo tanto, mayor será el tiempo de impresión de la pieza. Dentro de este punto se puede variar la altura de capa deseada.

III.8.2.2. Perímetro

Este apartado se encarga de determinar las propiedades de la carcasa de la pieza. La pieza es semi-hueca en su interior, ya que consta de relleno interno. La capa exterior es sólida. Cuantas más capas constituyan la carcasa, esta será más robusta y por lo tanto, mayor será la calidad del filamento, pero el tiempo de impresión será mayor. Dentro de este apartado existen dos opciones que son grosor de pared y grosor superior/inferior. El primero de ellos sirve para determinar el espesor de pared el cual depende de la boquilla de extrusión y el segundo tiene la misma utilidad que el primero pero este depende de la altura de capa en vez del diámetro de la boquilla.

III.8.2.3. Relleno

Aquí se determina el relleno y la cantidad por la que estará compuesto el interior de la pieza. Cuanta más cantidad de relleno mayor robustez tendrá la pieza. En este punto se pueden controlar dos variables que son la densidad del relleno y el patrón de relleno.

III.8.2.4. Material

Dependiendo del material seleccionado para la impresión, en este punto se pueden controlar los siguientes parámetros.

- **Temperatura de impresión:** Es la temperatura de la boquilla durante el proceso de impresión, incluida la velocidad de extrusión adaptada. Dependiendo del perfil de impresión seleccionado, este consta de una temperatura de impresión diferente, para así conseguir el mejor resultado en la impresión.
- **Temperatura de la placa de construcción:** Es la temperatura del lecho caliente durante la impresión. Todos los materiales tienen una temperatura ideal del lecho para la placa de construcción.
- **Flujo:** Es el volumen de plástico extruido. Se calcula automáticamente y representa la cantidad teórica de plástico del extrusor en función del diámetro del filamento y el alimentador de la impresora.
- **Diámetro:** Es el diámetro real del filamento a utilizar.

- **Retracción:** Sirve para eliminar o no, los filamentos restantes cuando se para de imprimir.

III.8.2.5. Velocidad

En este apartado se definen las velocidades de impresión. Aquí se pueden controlar dos parámetros diferentes. Por un lado, se encuentra la velocidad de impresión con la que se desea imprimir el objeto, y por otro lado, está la velocidad de desplazamiento que es la velocidad a la que se mueve la impresora cuando no está imprimiendo material.

III.8.2.6. Desplazamiento

Aquí se muestran los parámetros para la configuración de los desplazamientos del extrusor por volumen de impresión.

III.8.2.7. Refrigeración

Esta opción es para activar o desactivar los ventiladores del cabezal de impresión. Estos ventiladores garantizan el correcto enfriamiento del material antes de que se imprima la siguiente capa. Para ciertos materiales esta opción no es válida, como es el ejemplo del ABS ya que el uso de los ventiladores provocaría el rápido enfriamiento del material y en consecuencia, provocaría grietas o defectos mecánicos en las capas.

III.8.2.8. Soporte

Dentro de este apartado existen dos subíndices que son, generar soporte y colocación del soporte. El primero de ellos es para cuando haya modelos que tengan partes sobresalientes (partes que flotan en el aire). En este caso, hay que crear una estructura de soporte para evitar que estas partes se caigan. La segunda opción permite la generación de soportes desde la placa de construcción hacia arriba o en caso de ser necesario, colocar el soporte dentro del modelo. Un ejemplo de este sería en caso de que se deseara imprimir una pieza en forma de "O".

III.8.3. Puesta en marcha

En este apartado se va a proceder a la programación de los diferentes parámetros explicados anteriormente en el punto III.8.2 para la correcta impresión de las piezas según el tipo de material con el que se vayan a fabricar (ABS y PLA) y modelo de impresora.

III.8.3.1. BCN3D Sigmoid

El software de laminación utilizado para regular los diferentes parámetros de impresión en este modelo de impresora 3D es el Cura.

En primer lugar, se programan los diferentes parámetros de impresión para la correcta fabricación de los soportes. Con el empleo de este modelo de impresora 3D solo se han fabricado las piezas con PLA. Por este motivo, la regulación de los diferentes parámetros de impresión para la fabricación de las distintas piezas, va a ser la misma o muy similar. Seguidamente, se muestran los valores aplicados para la impresión de PLA.

Los dos primeros apartados a controlar y los valores de estos son, el de Calidad y Perímetro como se puede ver en la figura III.52. En el apartado de calidad, la altura de capa para la impresión de los tres soportes es de 0,15 mm para garantizar un buen acabado final de las piezas. Por otra parte, el único parámetro que varía es el grosor de la pared, apartado perímetro, en el cual se ha aplicado un grosor de pared de 1,4 mm para la fabricación del prototipo 1 y 0,8 mm para la de los prototipo 2 y 3. Este cambio se ha realizado para mejorar la calidad del acabado superficial del prototipo 1, ya que de esta manera se aprecian con menor medida los escalones producidos por la sucesión de capas unas encima de las otras en el pie de la base del soporte 1. En el apartado de perímetro también se encuentra otro parámetro a regular que es el grosor superior/inferior, en el cual se ha aplicado un valor de 0.8 mm para los tres prototipos.



Figura III.52. Regulación parámetros de calidad y perímetro.

Los dos siguientes apartados a controlar para la impresión de las piezas son, el relleno y el material.

En el apartado de relleno, se ha aplicado una densidad de relleno del 20 % y el patrón de relleno rejilla para la fabricación de los diferentes soportes. Figura III.53.

En el apartado de material, las temperaturas, diámetro y flujo que se observan en la figura III.53 también han sido los mismos para todos los soportes, ya que todos están fabricados con el mismo material (PLA). Estos valores de temperatura son recomendados por el fabricante para garantizar la máxima calidad de las piezas fabricadas con este material.

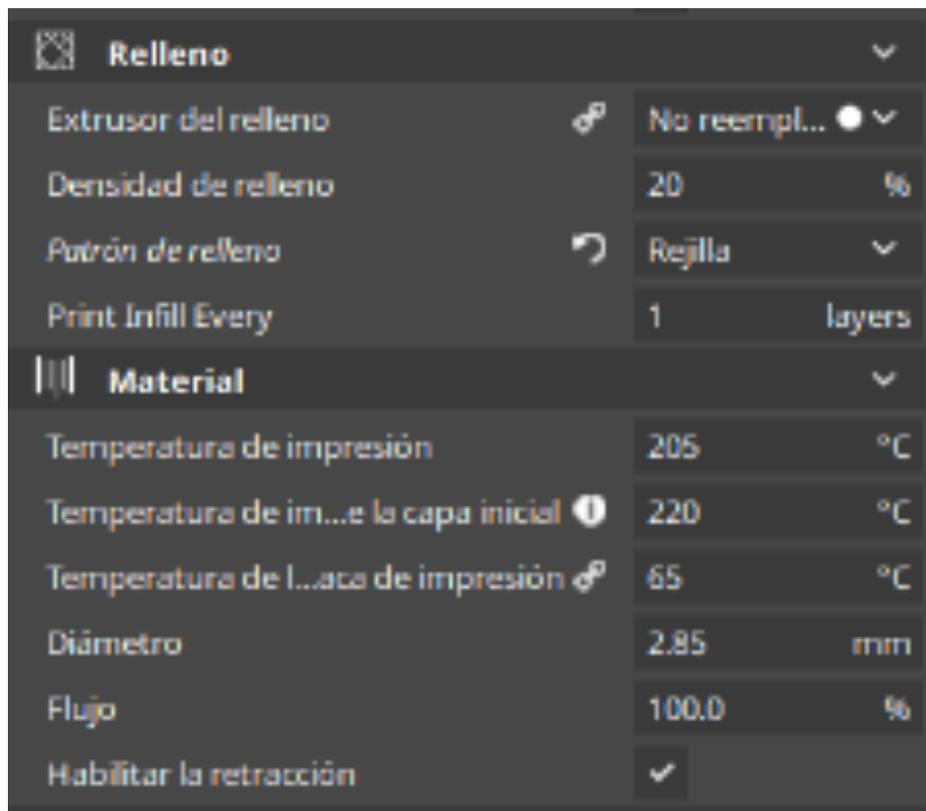


Figura III.53. Regulación parámetros relleno y material.

Seguidamente, en la figura III.54 se encuentran los parámetros de velocidad, desplazamiento y refrigeración.

Los valores de velocidad, se han aplicado basándose en las recomendaciones del fabricante para imprimir con este tipo de material, para así obtener los mejores resultados posibles en cuanto a la calidad de la pieza final. Por otra parte, en el apartado de refrigeración, se ha activado la casilla de refrigeración, al ser recomendable la refrigeración del PLA cuando se está trabajando con él, para conseguir la máxima calidad posible en la pieza.

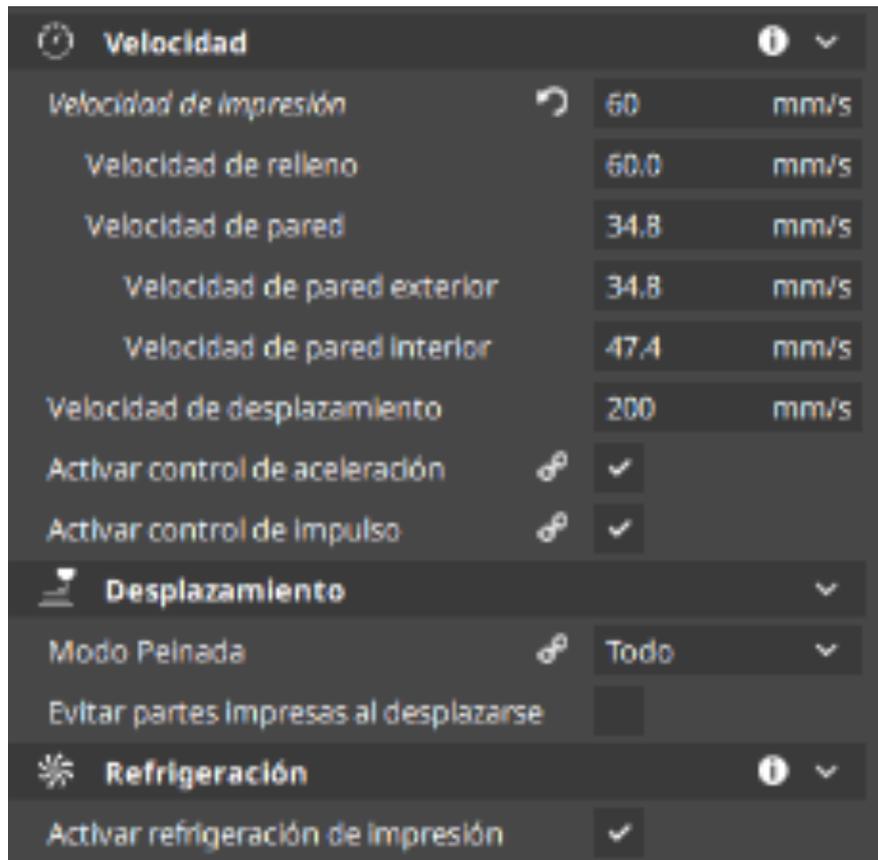


Figura III.54. Regulación parámetros de velocidad, desplazamiento y refrigeración.

Los últimos apartados de controlar para la fabricación de los soportes son, soporte, adherencia de la placa de impresión y experimental.

En el apartado de soporte, se ha activado la casilla generar soporte para que el software cree los automáticamente los soportes necesarios para la fabricación de las piezas sin ningún tipo de problema. Por último, en el apartado de adherencia de la placa de impresión y experimental se han aplicado los mismos valores que se observen en la figura III.55 para la fabricación de los soportes.

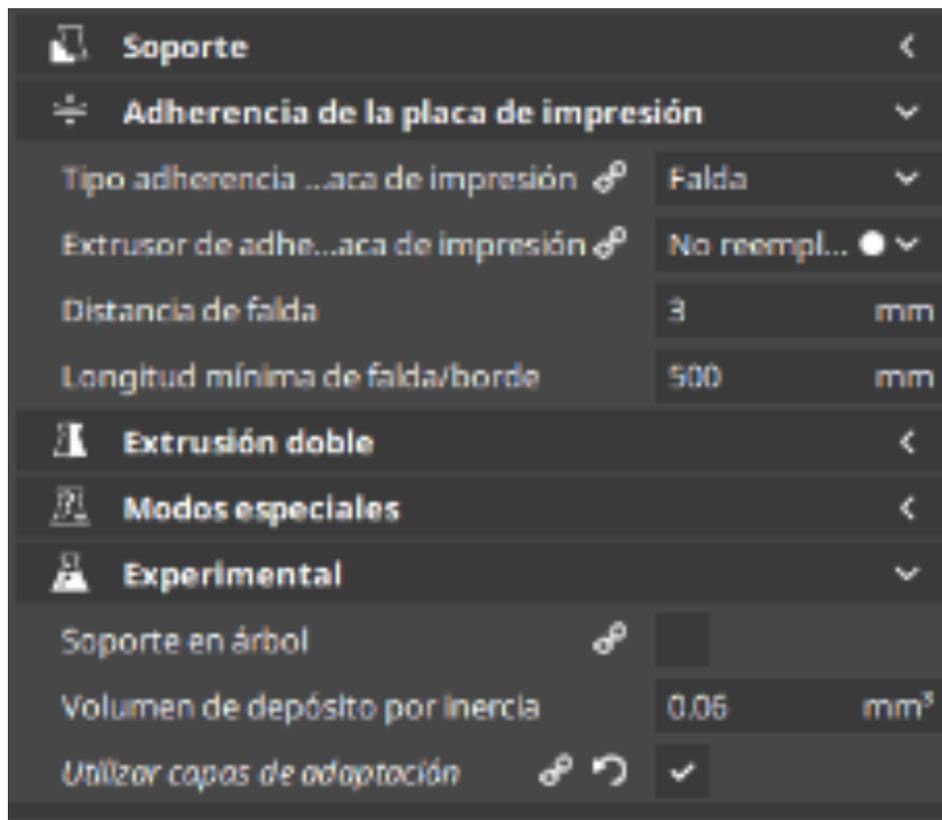


Figura III.55. Regulación parámetros soporte, adherencia de la placa de impresión y experimental.

Una vez configurados todos los apartados anteriores, se pulsa en el botón preparar para segmentar. Seguidamente, el software proporciona tiempos, cantidad de material y cantidad de material de soporte necesarios para realizar la fabricación de la pieza. A continuación, se procede a guardar el archivo G-code en una tarjeta de memoria para su posterior introducción en la impresora. Una vez introducida la tarjeta de memoria en la impresora, solo hay que seleccionar el archivo deseado para que la impresora comience a imprimir.

Tabla III.5. Tabla comparativa detalles impresión 3D Cura.

	Material Modelado (g)	Material Soporte (g)	Tiempos (h)
Prototipo 1	42	11	8:24
Prototipo 2 rediseñado	112	7	10:11
Prototipo 3 rediseñado	58	7	10:15

En la tabla III.5 se compran la cantidad de materia de modelado, cantidad de material de soporte y tiempos necesarios para imprimir los diferentes prototipos con la impresora SigmaX.

III.8.3.1. Stratasys Dimension 1200

Este modelo de impresora 3D requiere de un software de laminación llamado CatalystEx.

En este software no se pueden regular tantos parámetros de impresión como el anterior, ya que este modelo de impresora profesional regula los parámetros automáticamente.

En primer lugar, en la pestaña general se encuentra una tabla de propiedades (Figura III.56), donde se regula la resolución de las capas, interior del modelado, relleno del soporte, número de copias, unidades del archivo STL y la escala del archivo. Estos parámetros de impresión han sido los mismos para la impresión de los diferentes prototipos.



Figura III.56. Regulación parámetros de impresión software CatalystEx.

La siguiente opción que permite este software, es orientar la pieza para que la impresión sea lo más efectiva e eficiente posible.

Por último en la pestaña paquete, este software proporciona información sobre los detalles del paquete, tales como cantidad de material de modelado, cantidad de material de soporte y tiempos. Figura III.57.

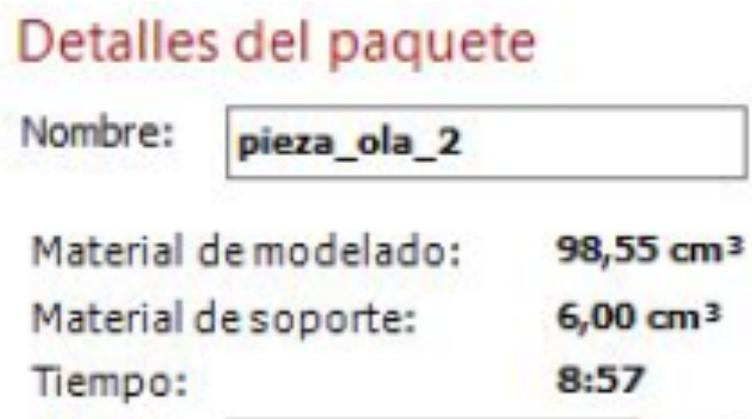


Figura III.57. Detalles paquete prototipo 2 rediseñado.

Una vez realizados estos pasos se guarda el archivo G-code en una tarjeta de memoria la cual se introducirá en la impresora 3D para empezar la impresión de la pieza.

Tabla III.6. Tabla comparativa detalles impresión 3D CatalystEX.

	Material Modelado (cm ³)	Material Soporte (cm ³)	Tiempos (h)
Prototipo 1	66,61	25,78	6:39
Prototipo 2 rediseñado	98,55	6	8:57
Prototipo 3 rediseñado	68,34	15,38	9:01

En la tabla III.6 se muestra una comparativa de la cantidad de material de modelado, cantidad de material de soporte y tiempos necesarios para imprimir cada uno de los diferentes prototipos.

III.9. ESTUDIO ECONÓMICO

En este punto se va a realizar un estudio económico de la fabricación de los diferentes prototipos diseñados en función del proceso de fabricación de impresión 3D por deposición de fundido, así como de las materias primas y modelo de impresora utilizada.

III.9.1. Coste Unidad prototipos Sigmax

En primer lugar, se calcula el coste por unidad de material utilizado para fabricar los diferentes prototipos con PLA.

$$\text{Coste material modelado (PLA)} = \frac{24,81 \text{ €}}{1 \text{ Kg}} = 24,81 \text{ €/Kg}$$

$$\text{Coste material soporte (PVA)} = \frac{29,95 \text{ €}}{0,5 \text{ Kg}} = 57,90 \text{ €/Kg}$$

III. Desarrollo del Proyecto

El coste de la maquinaria se calcula el coste total de la impresora dividido entre las horas de trabajo que hay en 4 años. Ya que a los 4 años la impresora estaría obsoleta y habría que cambiarla por una nueva.

$$\text{Coste maquinaria (Sigmax)} = \frac{4939,46 \text{ €}}{8320 \text{ h}} = 0,60 \text{ €/h}$$

También se cuenta con un coste general de 1 € por pieza. Estos costes englobarían a laca para desmolde, herramientas, energía, etc...

III.9.1.1. Prototipo 1

El coste por unidad de prototipo 1 es el siguiente:

$$\text{Coste material modelado por unidad fabricada} = 24,81\text{€/Kg} * 0,042 \text{ Kg} = 1,04 \text{ €}$$

$$\text{Coste material soporte por unidad fabricada} = 57,90\text{€/Kg} * 0,011 \text{ Kg} = 0,64 \text{ €}$$

$$\text{Coste maquinaria por unidad fabricada} = 0,60 \text{ €/h} * 8,40 \text{ h} = 5,04 \text{ €}$$

$$\text{Coste Total por unidad} = 1,04 + 0,64 + 5,04 + 1 = 7,72 \text{ €}$$

III.9.1.2. Prototipo 2 rediseñado

El coste por unidad de prototipo 2 rediseñado es el siguiente:

$$\text{Coste material modelado por unidad fabricada} = 24,81\text{€/Kg} * 0,112 \text{ Kg} = 2,78 \text{ €}$$

$$\text{Coste material soporte por unidad fabricada} = 57,90\text{€/Kg} * 0,007 \text{ Kg} = 0,41 \text{ €}$$

$$\text{Coste maquinaria por unidad fabricada} = 0,60 \text{ €/h} * 10,18 \text{ h} = 6,11 \text{ €}$$

$$\text{Coste Total por unidad} = 2,78 + 0,41 + 6,11 + 1 = 10,30 \text{ €}$$

III.9.1.3. Prototipo 3 rediseñado

El coste por unidad de prototipo 3 rediseñado es el siguiente:

$$\text{Coste material modelado por unidad fabricada} = 24,81\text{€/Kg} * 0,058 \text{ Kg} = 1,44 \text{ €}$$

$$\text{Coste material soporte por unidad fabricada} = 57,90\text{€/Kg} * 0,007 \text{ Kg} = 0,41 \text{ €}$$

$$\text{Coste maquinaria por unidad fabricada} = 0,60 \text{ €/h} * 10,25 \text{ h} = 6,15 \text{ €}$$

$$\text{Coste Total por unidad} = 1,44 + 0,41 + 6,15 + 1 = 9,00 \text{ €}$$

III.9.2. Coste Unidad prototipos Stratasys Dimension 1200

En primer lugar, se calcula el coste por unidad de material utilizado para fabricar los diferentes prototipos con ABS.

$$\text{Coste material modelado (ABS)} = \frac{219 \text{ €}}{923 \text{ cm}^3} = 0,24 \text{ €/cm}^3$$

$$\text{Coste material soporte (PVA)} = \frac{212 \text{ €}}{923 \text{ Kg}} = 0,23 \text{ €/cm}^3$$

El coste de la maquinaria se calcula el coste total de la impresora dividido entre las horas de trabajo que hay en 4 años. Ya que a los 4 años la impresora estaría obsoleta y habría que cambiarla por una nueva.

$$\text{Coste maquinaria (Sigmax)} = \frac{18000 \text{ €}}{8320 \text{ h}} = 2,16 \text{ €/h}$$

También se cuenta con un coste general d 1 € por pieza. Estos costes englobarían a laca para desmolde, herramientas, energía, etc...

III.9.2.1. Prototipo 1

El coste por unidad de prototipo 1 es el siguiente:

$$\text{Coste material modelado por unidad fabricada} = 0,24 \text{ €/cm}^3 * 66,61 \text{ cm}^3 = 15,98 \text{ €}$$

$$\text{Coste material soporte por unidad fabricada} = 0,23 \text{ €/cm}^3 * 25,78 \text{ cm}^3 = 5,93 \text{ €}$$

$$\text{Coste maquinaria por unidad fabricada} = 2,16 \text{ €/h} * 6,65 \text{ h} = 14,36 \text{ €}$$

$$\text{Coste Total por unidad} = 15,98 + 5,93 + 15,36 + 1 = 37,27 \text{ €}$$

III.9.2.2. Prototipo 2 rediseñado

El coste por unidad de prototipo 2 rediseñado es el siguiente:

$$\text{Coste material modelado por unidad fabricada} = 0,24 \text{ €/cm}^3 * 98,55 \text{ cm}^3 = 23,65 \text{ €}$$

$$\text{Coste material soporte por unidad fabricada} = 0,23 \text{ €/cm}^3 * 6 \text{ cm}^3 = 1,38 \text{ €}$$

$$\text{Coste maquinaria por unidad fabricada} = 2,16 \text{ €/h} * 8,95 \text{ h} = 19,33 \text{ €}$$

$$\text{Coste Total por unidad} = 23,65 + 1,38 + 19,33 + 1 = 45,36 \text{ €}$$

III.9.2.3. Prototipo 3 rediseñado

El coste por unidad de prototipo 3 rediseñado es el siguiente:

$$\text{Coste material modelado por unidad fabricada} = 0,24 \text{ €/cm}^3 * 68,34 \text{ cm}^3 = 16,40 \text{ €}$$

$$\text{Coste material soporte por unidad fabricada} = 0,23 \text{ €/cm}^3 * 15,38 \text{ cm}^3 = 3,54 \text{ €}$$

$$\text{Coste maquinaria por unidad fabricada} = 2,16 \text{ €/h} * 9,17 \text{ h} = 19,80 \text{ €}$$

$$\text{Coste Total por unidad} = 16,40 + 3,54 + 19,80 + 1 = 40,74 \text{ €}$$

III.9.3. Comparativa Costes inyección/Impresión 3D

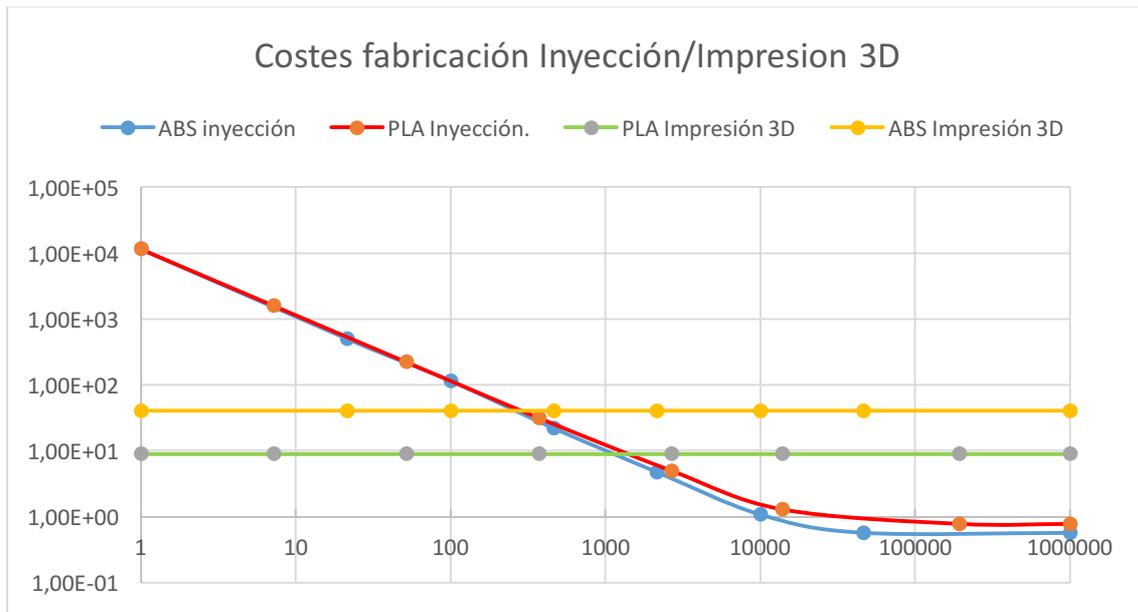
En este apartado se muestra una comparativa de los costes de producción respecto del volumen de piezas producidas entre la inyección convencional y la impresión 3D por deposición de fundido con ABS y PLA.

Por un lado, los costes de imprimir las piezas con PLA y ABS se han calculado realizando una media entre los costes por unidad producida del apartado III.9. En



cambio los costes de inyección se han conseguido con el software CES EDUPACK. En la tabla III.7 se observa esta comparativa de costes/tamaño de lote.

Tabla III.7. Tabla comparativa costes de inyección/Impresión 3D.



Al observar esta tabla con detenimiento, se puede comprobar donde se encuentra la intersección de los costes/cantidad de lote entre la impresión 3D por deposición de fundido y la inyección convencional. Esta intersección se encontraría dependiendo de qué modelo de impresora se utilice en 2680 unidades producidas para el modelo Sigmax y 464 para el modelo Stratas Dimension 1200. Dependiendo de qué cantidad piezas se desea fabricar, viendo este gráfico, se puede decir que método sería el más factible para la producción de las piezas,

III.10. CONCLUSIONES

Al observar los resultados obtenidos una vez realizado el análisis estático de elementos finitos de los diferentes prototipos, se llega a la conclusión que los tres soportes

soportarían las máximas tensiones alcanzadas en ellos independientemente de que se hayan analizado con PLA o ABS. Sí que es cierto, que los soportes fabricados con PLA tienen un coeficiente de seguridad mayor y menores desplazamientos que los de ABS. Los coeficientes de seguridad son mayores a los del ABS, ya que el PLA tiene un límite elástico y de tracción superior al del ABS y las máximas tensiones producidas son muy similares en los dos casos analizados. Aun así, esto no sería un factor clave para decidirse por un material u otro, ya que los dos materiales constan elevados coeficientes de seguridad en todos los prototipos. Por otro lado, al observar con más detalle el estudio económico, se aprecia que los prototipos fabricados mediante la impresora Stratasys Dimension 1200 tienen unos costos por unidad producida demasiado elevados en comparación con los fabricados con la SigmaX. Si comparamos la calidad final de las piezas con los precios por unidad producida, se observa que la diferencia entre precios es muy grande en comparación con la calidad final de la pieza, ya que esta es mínima. En el apartado del estudio económico también se observa la comparativa de costos entre producir los prototipos mediante inyección convencional o impresión 3D. Dependiendo del volumen de lote que se desee fabricar valdrá la pena utilizar un proceso de producción u otro, ya que la impresión 3D sería para volúmenes de lote relativamente pequeños, pero la gran ventaja de este en comparación con la inyección convencional reside en que se pueden personalizar las piezas al gusto del consumidor. Por otra parte si se desean producir elevadas cantidades de piezas habría que hacerlo mediante la inyección convencional, ya que el precio por unidad a altos volúmenes de lotes es mínimo.

Para decantarse por un único modelo de soporte sería necesario la realización de un estudio de mercado, para observar cuál de los tres soportes resultaría más atractivo a la gente y en consecuencia, cual tendría una mayor repercusión económica.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer al tutor de mi trabajo, Teodomiro Boronat Vitoria, toda la ayuda prestada durante el desarrollo de este proyecto y la confianza depositada en mí.

Por otra parte, me gustaría expresar mi más sincero reconocimiento y agradecimiento a mis padres, abuelos y en especial a Maria José Blasco, por todo el apoyo prestado durante la realización de mis estudios y trabajo final de grado, en especial, durante toda la realización de mi carrera universitaria, ya que sin ellos no hubiera sido capaz lograrlo.

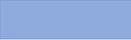
Por último, agradezco al equipo de Generación Espontánea Design Factory y a Obra Social Caixa Ontinyent toda la ayuda prestada para la fabricación de los distintos prototipos en 3D.



IV. APÉNDICES

IV.1 Referencias

- Acevedo Vallejo, F. M. (2016). *Estudio sobre la aplicación de las tecnologías de fabricación aditiva al sector aeronáutico y espacial. Impresión 3D*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla.
- Auras, R. A., Lim, L.-T., M. Selker, S. E., & Tsuji, H. (Noviembre de 2010). *Poly(lactic acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications (Vol. 10)*. Jhon Wiley & Sons.
- Berchon, M., & Luyt, B. (2016). *La impresión 3D*. Barcelona, Cataluña, España: Gustavo Gili.
- Choi, J.-W., & Kim, H.-C. (2015). 3D Printing Technologies - A Review. *Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers*.
- Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future. *International Conference on Ecology and new Building materials and products, ICEBMP 2016* (págs. 292-299). Cracovia: El Sevier.
- Gómez Reyes, L. (2017). Análisis documental de las ventajas de la impresión 3D. *Iberoamericana de las ciencias computacionales e informática*, Vol.6, Núm.11.
- Martínez Sanz, A. V. (Diciembre de 2015). Tesis Doctoral. *Modelado y verificación experimental del comportamiento a tracción de probetas bimatériau termoplásticas*. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.
- Mejía Flores, H. J. (2014). Ventajas y desventajas de las impresoras 3D. *Revista Tecnológica*, 30-34.
- Novakova-Marcincinova, L., Novak-Marcincin, J., Barna, J., & Torok, J. (2012). Special Materials Used in FDM Rapid. *IEEE 16th International Conference on Intelligent Engineering Systems*, (págs. 73-76). Lisbon.



IV. Apéndice

Scott, T., & Burns, M. (11 de 01 de 2019). *University of Michigan*. Obtenido de <https://espanol.umich.edu/noticias/2019/01/11/nueva-impresion-3d-utiliza-luz-para-moldear-y-es-100-veces-mas-rapida-que-la-convencional/>

University, T. A. (16 de Abril de 2019). *Tel AVIV University*. Obtenido de TAU scientists print first ever 3D heart using patient's own cells: https://english.tau.ac.il/news/printed_heart

Wohlers, T., & Gornet, T. (2014). *History of additive manufacturing*. Wohlers Associates, INC.



IV.2. CARACTERÍSTICAS TECNICAS IMPRESORAS

Características técnicas SigmaX

Especificaciones

Tecnología de fabricación	Fused filament fabrication (FFF)
Arquitectura	Independent dual extruder (IDEX)
Dimensiones generales	685 mm x 440 mm x 680 mm (totalmente montada)
Peso	20 kg (sin bobinas de filamento)
Volumen de impresión	420 x 297 x 210 mm
Número de extrusores	2
Diámetro del Nozzle	0.3 / 0.4 Standard / 0.5 Special / 0.6 / 0.8 / 1mm
Altura de capa	0.05-0.5 mm (Dependiendo del diámetro del Nozzle)
Resolución de posicionado	Eje X: 0.0125 mm Eje Y: 0.0125 mm Eje Z: 0.001 mm
Temperatura funcionamiento	15 °C - 35 °C
Temperatura de extrusor máxima	290 °C
Temperatura máxima superficie de impresión	100 °C
Diámetro de filamento	2.85 ± 0.05 mm
Material admisible	PLA / ABS / Nylon / PET-G / TPU / PVA / Composites / Otros
Electrónica	BCN3D Electronics
Conectividad	Tarjeta SD (funcionamiento autónomo) , USB
Firmware	BCN3D Sigmax- Marlin
Sonido de funcionamiento	50 (dBA)
Archivos compatibles	gcode
Software preparación archivos	Recomendado: BCN3D Cura Compatibles: Slic3r, Simplify3D,...
Alimentación eléctrica	AC 84-240 V, AC 3.6-1.3A, 50-60 Hz
Consumo eléctrico	370W

Serie Dimension 1200es

Distribuidor oficial



Tel: 932 226 094
ays@analisysimulacion.com
www.analisysimulacion.com

dimension.
Impresoras 3D



Imprima modelos en 3D de grandes dimensiones y totalmente funcionales en su propia oficina.

Vea cómo sus diseños cobran vida con las Impresoras 3D Dimension SST 1200es y BST 1200es. Estas impresoras transforman los archivos CAD en 3D en modelos tridimensionales funcionales y duraderos, para que usted pueda analizarlos y probarlos en condiciones reales.

La gran capacidad de las impresoras 3D Dimension 1200es ofrece todo el espacio necesario para imprimir modelos en el tamaño que necesita. Además, son muy fáciles de manejar: sólo deberá pulsar el botón de impresión para preparar el archivo CAD e imprimir el modelo. A continuación, quite el material de soporte y ya podrá ver su diseño en tres dimensiones.

Imprima modelos en 3D grandes, resistentes y funcionales, igual que el producto final.



Imprima modelos en termoplástico de calidad industrial.

Las Impresoras 3D Dimension 1200es utilizan material de modelado ABSplus™, un termoplástico de calidad industrial que es lo suficientemente duradero como para comportarse virtualmente del mismo modo que las piezas finales. La resistencia de los modelos creados con las Impresoras 3D Dimension la demuestran nuestros propios clientes: desde rociadores comerciales probados con presiones de más de 4 bar, hasta piezas finales de tanques M1 que normalmente se preparan con aluminio de calidad de aviación.

Lo que hay detrás de cada modelo: la tecnología FDM®.

La tecnología de moldeo por deposición fundida FDM (Fused Deposition Modeling) de Stratasys es la base sobre la que se cimientan todas las Impresoras 3D Dimension. Los modelos se imprimen desde abajo hacia arriba, con capas de material de modelado y de soporte depositadas con la máxima precisión. No hay que esperar a que los modelos fragüen: los podrá quitar el soporte apenas salgan de la impresora. La SST 1200es utiliza la tecnología de soporte soluble SST (Soluble Support Technology), la cual disuelve los soportes en una solución acuosa. La BST 1200es utiliza la tecnología de ruptura de soporte BST (Breakaway Support Technology), en la cual los soportes se retiran a mano y dejan al descubierto el modelo final. Una vez listos, los modelos se pueden taladrar, golpear, pulir y pintar.

Una herramienta para el desarrollo rápido de productos, perfecta para las necesidades de hoy en día.

Con las Impresoras 3D Dimension 1200es, mejorará espectacularmente el proceso de desarrollo de sus productos. Imprimen modelos que le ayudarán a controlar la forma, la adaptación y la funcionalidad del diseño y que le permitirán corregir errores antes de que el producto pase a la etapa de producción. Además, son tan versátiles que le permitirán fabricar modelos funcionales, moldes, patrones, útiles y herramientas personalizadas. Para acortar los ciclos de desarrollo de productos y acelerar el tiempo que necesita el producto para llegar a los puntos de venta, comience a utilizar las Impresoras 3D Dimension 1200es y haga realidad todas sus ideas.

Serie 1200es Características del producto

Dimension SST 1200es: 22.900 USD*
26.600 €*¹

Dimension BST 1200es: 24.900 USD*
18.500 €*¹

Material de modelado:

ABSplus en marfil, blanco, negro, rojo, verde olivo, nectarina, amarillo fluorescente, azul o gris

Material de soporte:

Soluble Support Technology (tecnología de soporte soluble) o bien
Breakaway Support Technology
(tecnología de ruptura de soporte)

Medidas:

254 x 254 x 305 mm (10 x 10 x 12 pulg.)

Grosor de la capa:

0,254 mm (0,010 pulg.) o 0,330 mm (0,013 pulg.) de material de soporte y de modelado ABSplus depositado con precisión

Compatibilidad con la estación de trabajo:

Windows® XP / Windows Vista®

Conectividad de red:

Ethernet TCP/IP 10/100Base-T

Tamaño y peso:

628 x 727 x 1142 mm (25 x 29 x 45 pulg.)
148 kg (326 lbs)

Requisitos de alimentación eléctrica:

110-120 V de CA, 60 Hz, circuito exclusivo de 15 A como mínimo / 220-240 V de CA, 50/60 Hz, circuito exclusivo de 7 A como mínimo

Cumplimiento de normativas:

CE / ETL

Requisitos de instalación especiales:

Ninguno

*Tasa de envío a nivel mundial del fabricante. Costos adicionales, arán, IGV e otros impuestos aplicables incluidos.

Distribuidor oficial



Tel 902 105 496

asa@analisisysimulacion.com
www.analisisysimulacion.com



©2010 Stratasys, Inc. Todas las derechos reservados. Stratasys, Dimension y FDM son marcas comerciales registradas, y ABSplus es una marca comercial de Stratasys Inc. registradas en los Estados Unidos y en otros países. Las demás marcas son propiedad de sus respectivos dueños. Stratasys no asume ninguna responsabilidad respecto a la selección, rendimiento o uso de este producto. Las características técnicas de los productos están sujetas a cambios sin previo aviso. Impreso en los EE. UU. 1200es010

IV.3. NORMATIVA



MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ASUNTOS SOCIALES



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

La colocación de la pantalla

La mesa o superficie donde se coloque el monitor de la pantalla debería tener una profundidad suficiente para permitir al usuario colocarla a la distancia de sus ojos que le resulte más confortable. Si esta regulación no es posible, la distancia de la pantalla a los ojos del operador debería ser, al menos, de 40 cm.

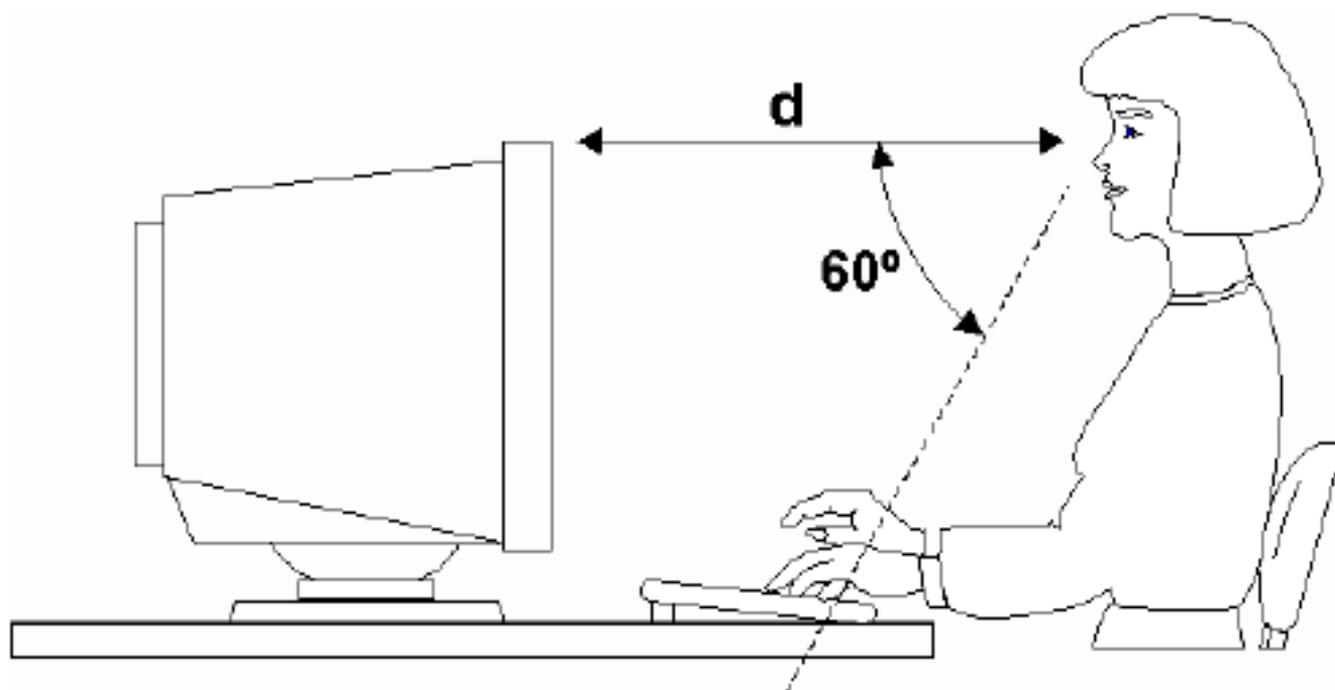
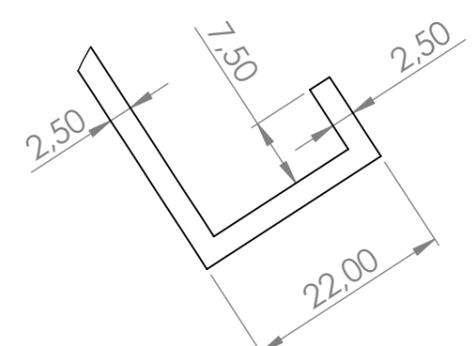
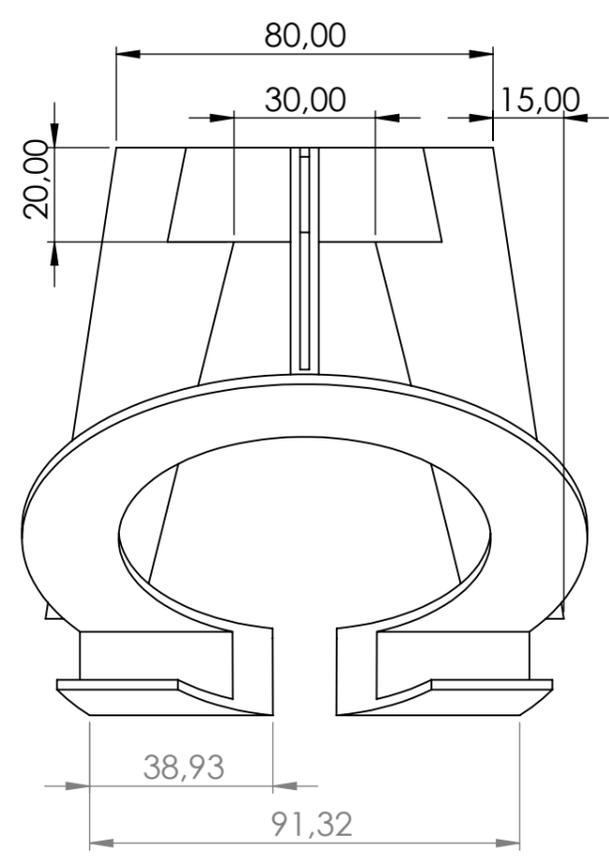
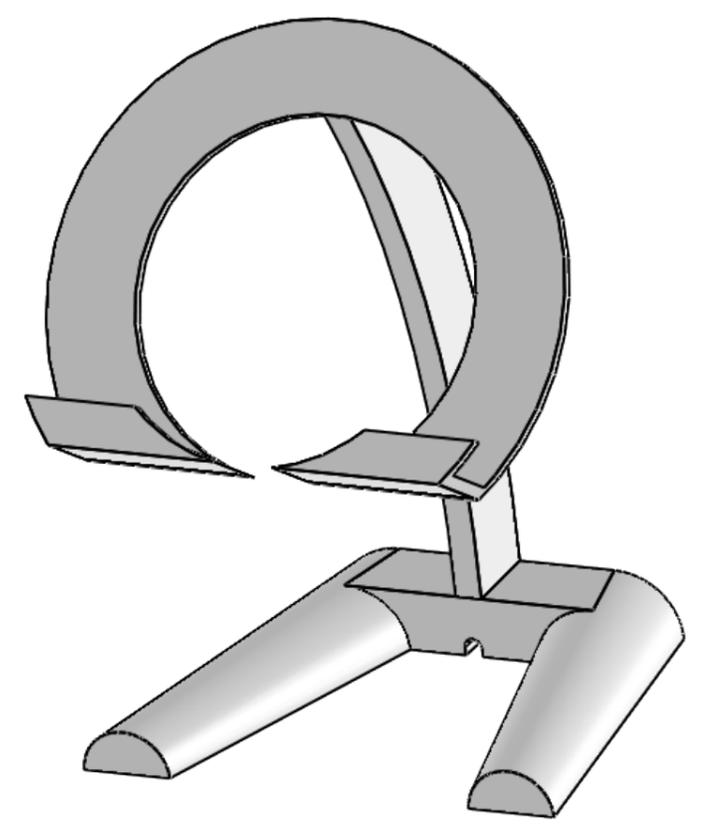
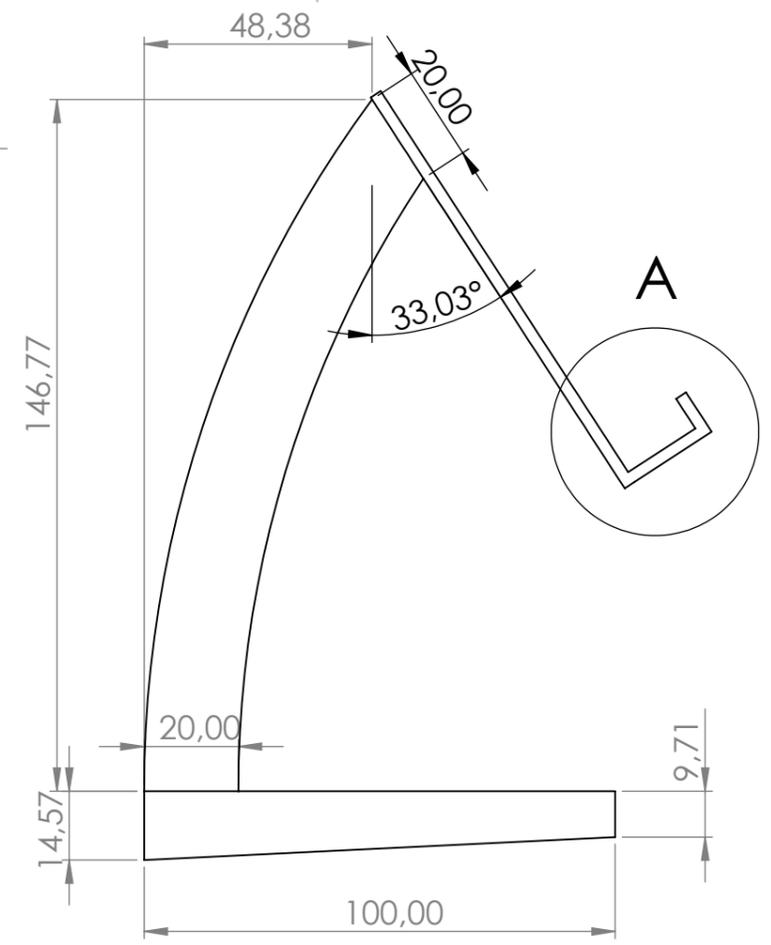
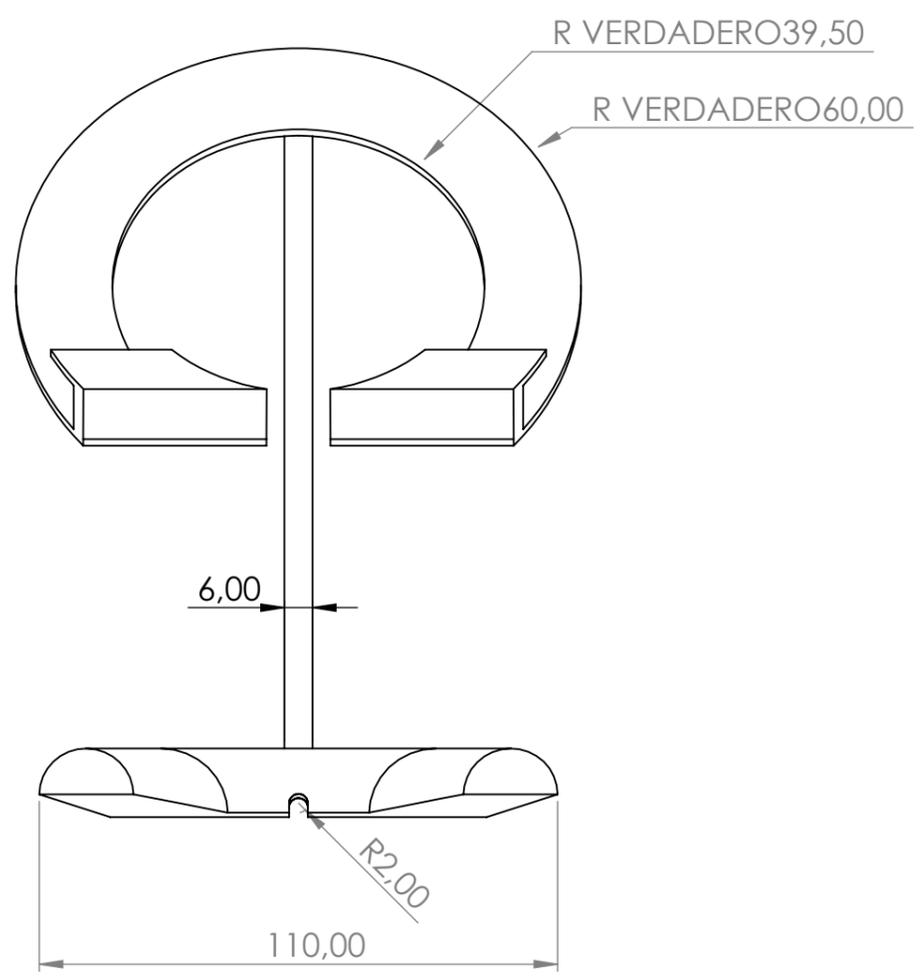


Figura 3

Por otro lado, es recomendable que la pantalla se sitúe de manera que pueda ser contemplada dentro del espacio comprendido entre la línea de visión horizontal y la trazada a unos 60° bajo la horizontal (ver figura 3).

IV.4. PLANOS ACOTADOS.



DETALLE A
ESCALA 2 : 1.5


UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY
 CAMPUS D'ALCOI

AUTOR: SERGIO ÚBEDA PLA

MATERIAL: ABS/PLA

PROYECTO: Trabajo Final de Grado

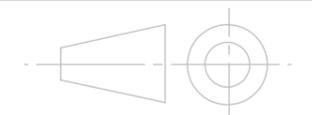
FECHA: 30/05/2019

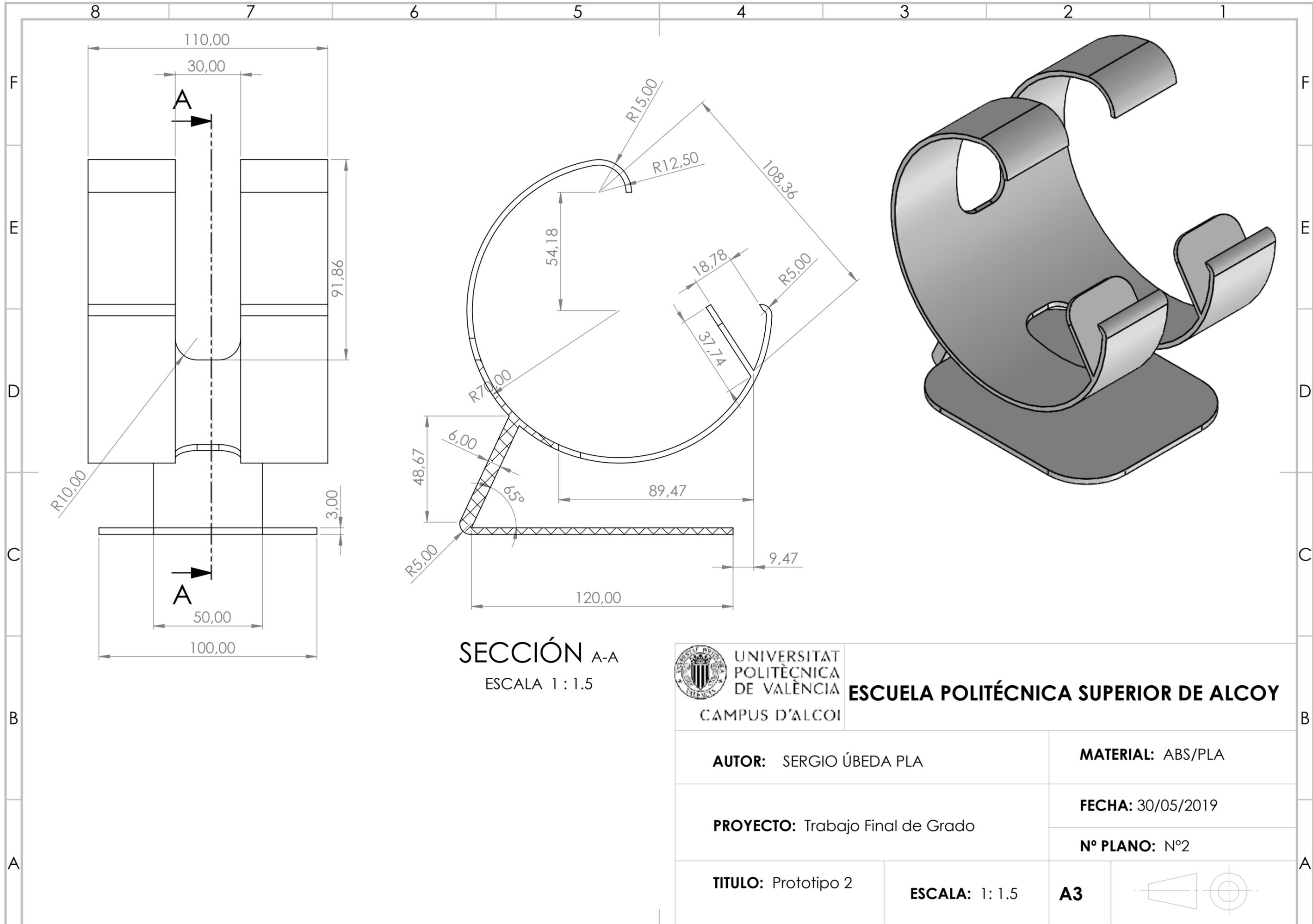
Nº PLANO: Nº1

TITULO: Prototipo 1

ESCALA: 1: 1.5

A3





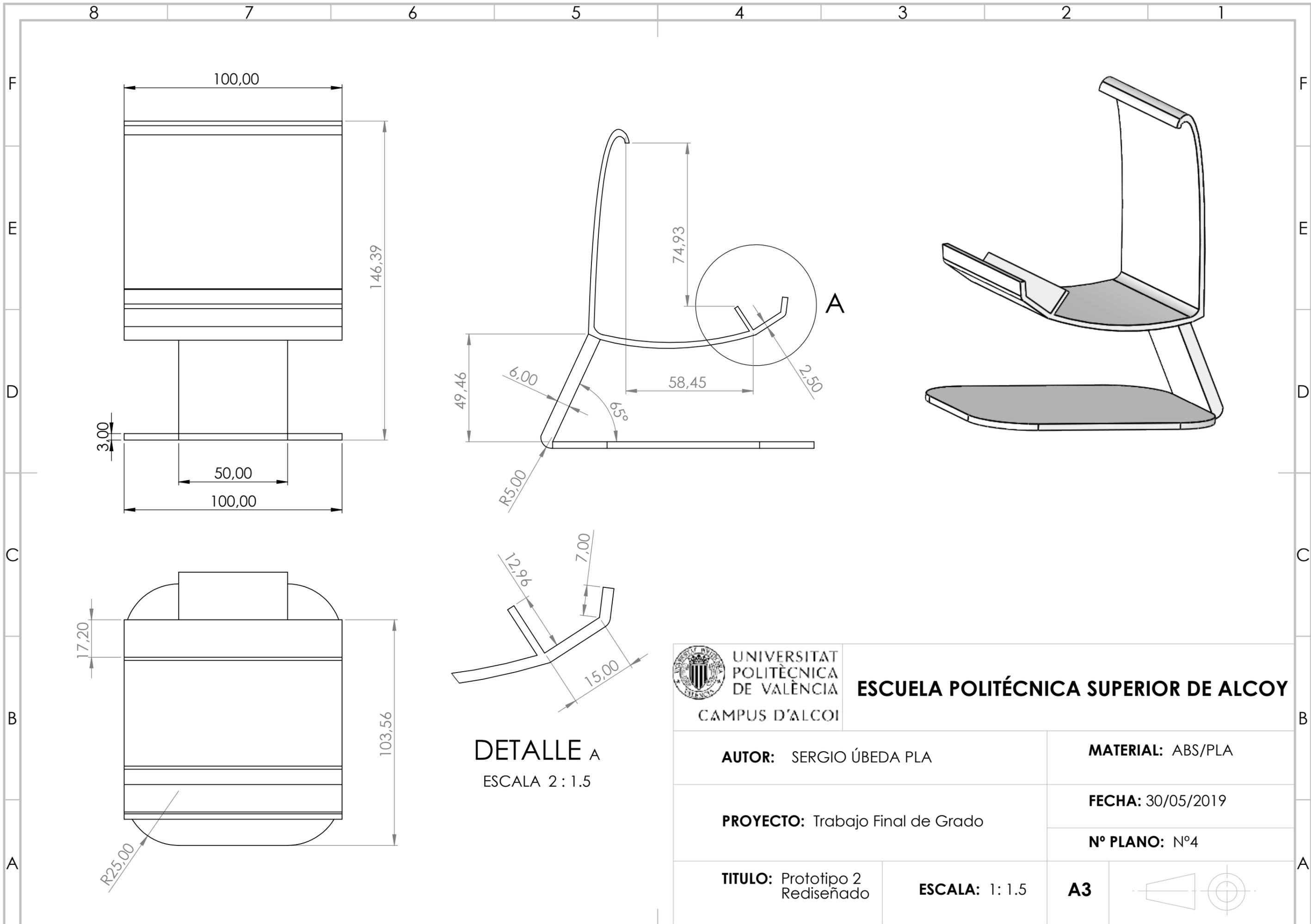
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1.5



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY

AUTOR: SERGIO ÚBEDA PLA		MATERIAL: ABS/PLA	
PROYECTO: Trabajo Final de Grado		FECHA: 30/05/2019	
		Nº PLANO: Nº2	
TITULO: Prototipo 2	ESCALA: 1: 1.5	A3	



DETALLE A
ESCALA 2 : 1.5



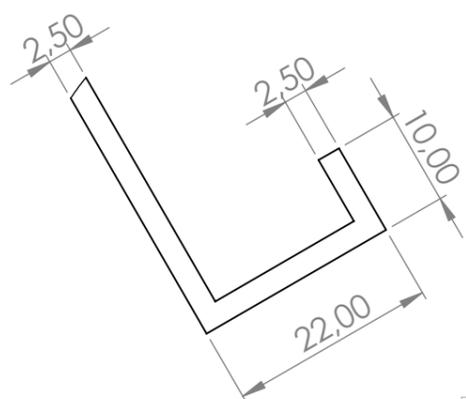
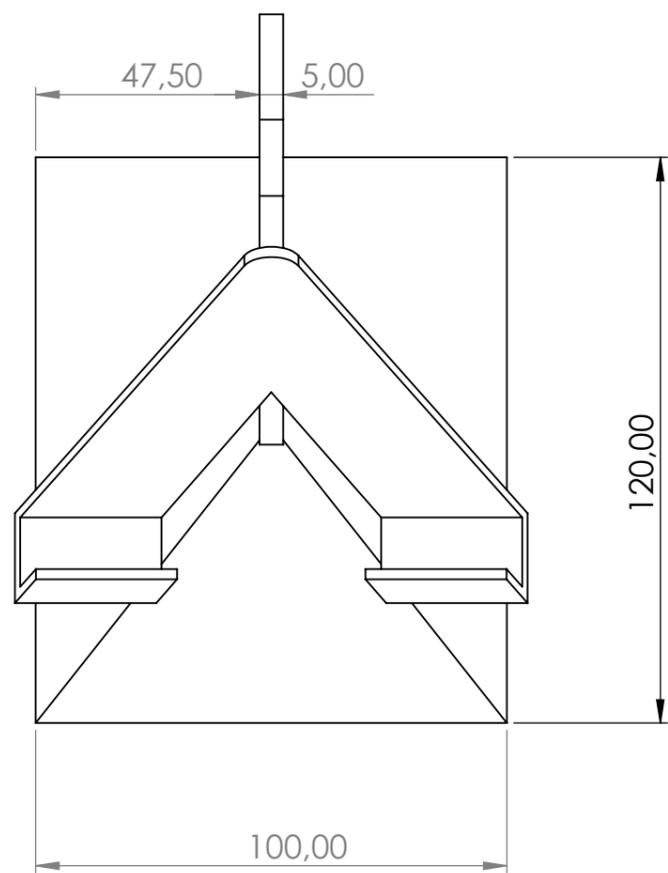
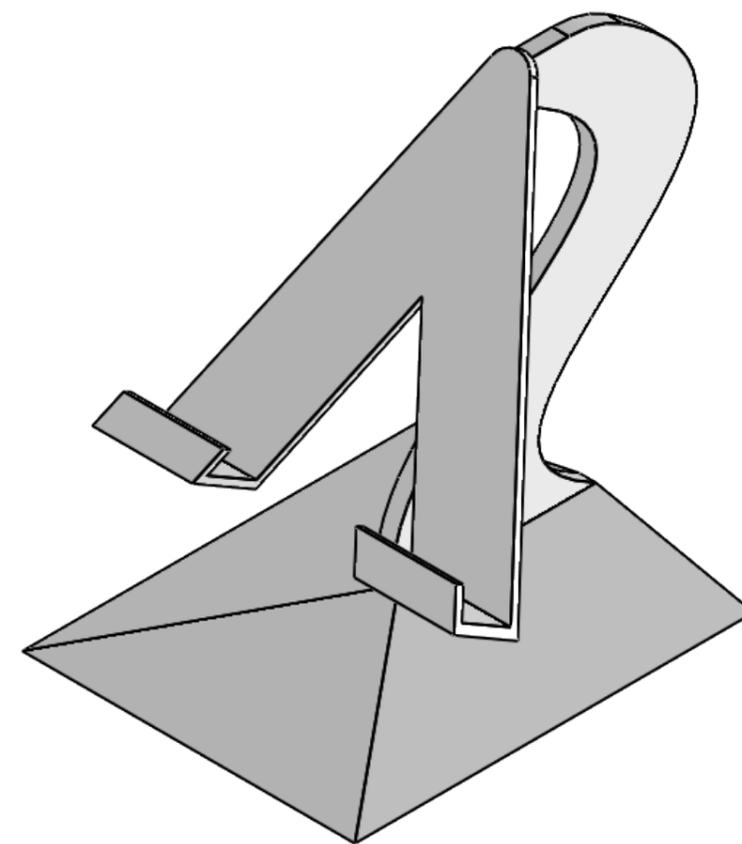
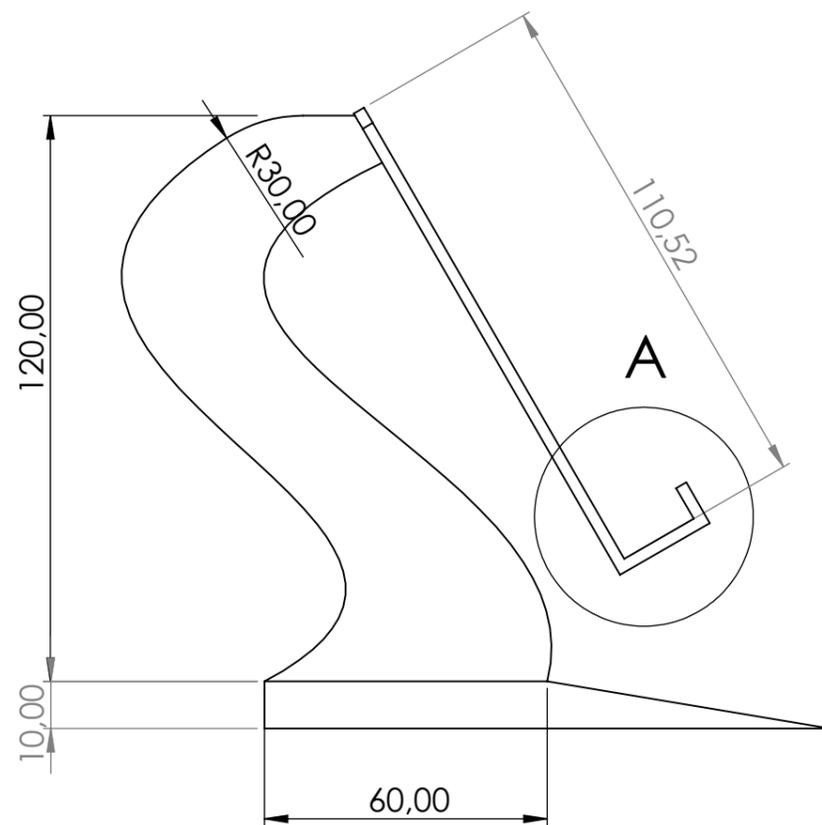
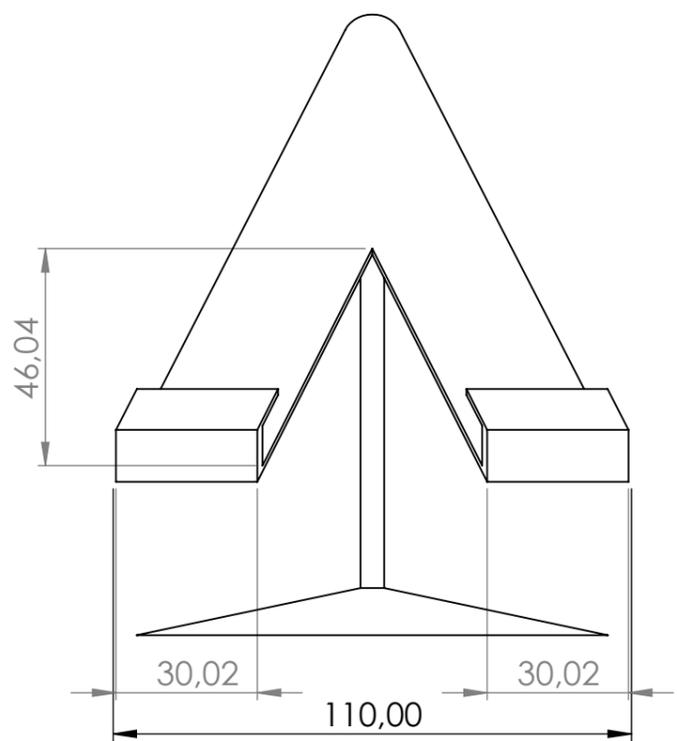
UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY

AUTOR: SERGIO ÚBEDA PLA		MATERIAL: ABS/PLA	
PROYECTO: Trabajo Final de Grado		FECHA: 30/05/2019	
TITULO: Prototipo 2 Rediseñado		ESCALA: 1: 1.5	A3

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



DETALLE A
ESCALA 2 : 1.5



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ALCOY

AUTOR: SERGIO ÚBEDA PLA	MATERIAL: ABS/PLA
PROYECTO: Trabajo Final de Grado	FECHA: 30/05/2019
	Nº PLANO: Nº3
TITULO: Prototipo 3 Rediseñado	ESCALA: 1: 1.5
A3	

8 7 6 5 4 3 2 1