

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 de carcasa protectora de dispositivo electrónico ”

Autor:

D. Sergio Duart Alcover

Dirigido por:

Dr. Rafael Antonio Balart Gimeno

Dr. Lourdes Snchez Nacher

Junio 2018

RESUMEN

“Diseño de carcasa protectora de dispositivo electrónico ”

La realización de este trabajo ha estado compuesta por el diseño de la carcasa de protección de un dispositivo electrónico, junto con el desarrollo del material a utilizar para la fabricación de este.

El dispositivo elegido a sido concretamente un móvil pero podría adaptarse a cualquier dispositivo electrónico que se desease. La cuestión que ha recibido más importancia es la elección del material, ya que la prioridad en su elección era que el material elegido fuese un material totalmente compatible con el medio ambiente, y es este punto, sobre el que se ha focalizado el desarrollo del proyecto. Para tal hecho se han elegido los materiales, a partir de los cuales se desarrolla el proyecto, y se han realizado diferentes ensayos para evaluar las propiedades de las diferentes mezclas, para así, poder decidir cuál será es más idóneo para la finalidad buscada.

Una vez realizado el desarrollo del material y acabado el diseño de la pieza, se ha utilizado un software para realizar una simulación mediante el método de elementos finitos, y comprobar cómo responde la pieza ante una situación real, sometido a las sollicitaciones a las que podría estar sometida en su uso diario.

SUMMARY

“Electronic device protective case design”

This thesis is based on the design of an electronic device protective case and the development of the material which is composed.

The chosen device was a cell phone but it could be another kind of device. The main point was the materials choice because the case should be decomposable and eco-friendly. Some different materials were chosen and the project gravitates around them, some tests had been made to evaluate the properties of the different mixes, and then had the opportunity to choose the better one.

Once the development of the material was made and finished the design, a software was used to simulate by finite elements method how the case would respond to a real situation that might happen daily.

RESUM

“Diseny de carcasa protectora per a dispositiu electrònic”

Aquest treball està basat amb el diseny d'una carcasa protectora d'un dispositiu electrònic, junt amb el desenvolupament del material per a fabricar-lo.

El dispositiu escollit ha sigut concretament un telèfon mòbil, però és podria adaptar per a qualsevol dispositiu electrònic que es desitjara. La qüestió que ha rebut més importància ha sigut l'elecció del material, ja que la prioritat de la seua elecció era que el material escollit fos totalment compatible amb el medi ambient, i es aquest punt, sobre el que s'ha focalitzat el desenvolupament del projecte. Per a tal fet, s'han realitzat diferents assajos per a avaluar les propietats de les diferents mescles, per a així, poder decidir quina serà la mes idònia per a la finalitat buscada. Una vegada realitzat el desenvolupament del material i finalitzat el disseny, s'ha utilitzat un software per a realitzar una simulació mitjançant el mètode d'element finits, i comprovar com respon la peça davant una situació real, sotmesa a les sol·licitacions que podria patir amb el seu ús diari.

Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY.....	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	13
LISTADO DE FIGURAS	16
LISTADO DE TABLAS	19
I. INTRODUCCIÓN	21
I.1. ANTECEDENTES.	22
I.1.1 Introducción histórica.....	23
I.1.2 Problema medio ambiental.....	25
I.1.2. Materiales empleados en accesorios de telefonía móvil.....	27
I.1.2.1. Carcasas rígidas.....	27
I.1.2.1. Carcasas flexibles.	27
I.1.2.1. Carcasas integrales.....	28
I.1.3. Materiales plásticos de alto rendimiento medioambiental.	30
I.1.3.1. Evolución del desarrollo de materiales poliméricos.	30
I.1.3.2. Clasificación de materiales poliméricos.....	30
I.1.3.3. Poliésteres de origen renovable y biodegradables.	31
I.1.3.4. Poliésteres de origen petroquímico y biodegradables.	32
I.1.3.3. Otros polímeros de origen renovable y biodegradables.	34
I.1.4. Materiales utilizados.....	36
I.1.4.1 Tecnología del Ácido poliláctico (PLA).	36
I.1.4.2. Obtención y estructura.	38

I.1.4.3. Propiedades.	39
I.1.4.4. Transformación y proceso industrial.	40
I.1.4.5. Aplicaciones y usos.	40
I.1.5. Modificación de formulaciones en aceites vegetales: Aceite de soja epoxidado acrilado AESO.	41

II. OBJETIVOS.....43

II.1. OBJETIVO GENERAL.....	45
II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.	45

III. DESARROLLO PROYECTO.....47

III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....	49
III.2. NORMATIVA APLICABLE.....	55
III.3. Desarrollo y caracterización de materiales flexibles con base PLA para fundas de teléfono.	57
III.3.1. Metodología.	59
III.3.1.1. Preparación del material.	59
III.3.1.2. Elaboración de compuestos.	59
III.3.1.3. Inyección de probetas.	60
III. 3.1.4. Caracterización térmica.	60
III. 3.1.5. Caracterización mecánica.	61
III. 3.1.6. Caracterización termomecánica.	62
III. 3.1.7. Water Up-take.	63
III.4.4. Resultados y discusión.	64
III.4.4.1. Propiedades térmicas.	64
III.4.4.2. Propiedades mecánicas.	69
III.4.4.3. Caracterización termomecánica.	74
III.4.4.5. Water Up-take.	76

III.4. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.	78
III.4.1. Modelo FEM proyecto.	78
III.4.1.2. Modelo FEM, resultados simulación de caídas.	79
III.4.1.2.1. Análisis de estados tensionales y deformaciones.	81
III.4.1.3. Resultados estudio térmico.	87
III.5. DISEÑO FINAL.	91
III.6. PROCESO FABRICACIÓN.	92
III.7. ESTUDIO ECONÓMICO.	93
III.7.1. Coste de material.	93
III.7.2. Coste del molde.	94
III.7.3. Coste de mano de obra.	94
III.7.4. Montaje del molde, preparación y puesta en marcha.	95
III.7.5. Alquiler de maquinaria.	95
III.7.6. Coste total.	95

IV. APÉNDICES97

IV.1. REFERENCIAS	98
IV.2. PLIEGO DE CONDICIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
IV.3. PLANOS ACOTADOS.	99

ABREVIATURAS

AESO	aceite de soja epoxidado acrilado.
CAD	diseño asistido por ordenador.
DMA	análisis mecánico-dinámico.
DSC	calorimetría diferencial de barrido.
E	módulo de Young.
HDT	temperatura de deformación bajo carga.
PEAD	polietileno de alta densidad.
PBS	copolímero de butadieno-estireno.
PEBD	polietileno de baja densidad.
PET	polietilentereftalato.
PLA	ácido poliláctico.
PP	polipropileno.
PS	poliestireno.
PU	poliuretano.
PVC	policloruro de vinilo.
rpm	revoluciones por minuto.
TGA	análisis termogravímetro.
Tg	temperatura de transición vítrea.
VICAT	temperatura de reblandecimiento bajo carga.

σ resistencia tensión.

σ_f resistencia a tracción.

σ_f resistencia a flexión.

.

LISTADO DE FIGURAS

Figura I. 1 Ejemplo de objetos de utilización diaria compuestos de plásticos.....	23
Figura I. 2 Consecuencias problemática reciclaje y degradación	25
Figura I. 3 Objetos plásticos de degradación dilatada.	25
Figura I. 4 Ejemplo carcasa rígida.	27
Figura I. 5 Ejemplo de funda flexible.....	28
Figura I. 6 Ejemplo de funda integral.....	29
Figura I. 7 Ejemplo temporal de degradación de plástico bio-compatible.....	31
Figura I. 8 Ácido poliláctico PLA.	31
Figura I. 9 Ácido polihidroxitirato PHB.	32
Figura I. 10 Poli -3hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato PHBV.	32
Figura I. 11 Policaptolactona PCL.	33
Figura I. 12 Polibutileno succionato (PBS).....	33
Figura I. 13 Polibutileno succinato-co-butileno adipato (PBSA).	33
Figura I. 14 Ácido poliglicólico (PGA).	34
Figura I. 15 Polibutirato (PBAT).....	34
Figura I. 16 Estructura química PLA.	37
Figura I. 17 Metodología de obtención del PLA.	38
Figura I. 18 Metodología de obtención de AESO.....	41
Figura III. 1 a) Definición general de las dimensiones de la forma base para construcción de la pieza, b) vista de la pieza después de la aplicación de una función de extrusión de 20 mm en la dirección perpendicular a la base.	51
Figura III. 2 a) y b) croquis para realizar el corte extrusión, c) figura tras la operación.	51

Figura III. 3 a) Corte de revolución, b) croquis para realizar el corte extrusión, c) figura tras las dos operaciones.....	52
Figura III. 4 a)Corte extrusión de una profundidad de 24mm, para vaciar la figura y hacer espacio donde se situará el móvil, b)figura tras la operación	52
Figura III. 5a) Corte de revolución de 90° en el interior, b) figura tras la operación en cada lado.....	53
Figura III. 6 a) Corte de revolución de 90° en el interior, b) figura tras la operación en cada lado.....	53
Figura III. 7 . a) Operaciones de corte extrusión para realizar el hueco necesario tanto para botones de voz y bloqueo como para altavoz y ranura de carga. b) pre diseño inicial.....	54
Figura III. 8 a)Ampliación zona superior b) Renderizado del pre diseño.....	54
Figura III. 9 Fragmento de la guía de diseño de la marca.	56
Figura III. 10 Resultado simulación tensional.....	58
Figura III. 13 Gráfica de con resultados DSC de 30° a 170°.	65
Figura III. 14 Gráfica con resultados DSC de 0° a 225°.....	65
Figura III. 15 Variación de la Tg Respecto al incremento de % de AESO.	66
Figura III. 16 Variación del % de cristalinidad respecto a incremento de % de AESO. .	67
Figura III. 17 Gráfica de resultados TGA.....	68
Figura III. 18 Variación de resistencia a tracción con el incremento de % de AESO.	70
Figura III. 19 Variación de resistencia a flexión con el incremento de % de AESO.	70
Figura III. 20 Variación de la energía absorbida por método Charpy con el incremento de % de AESO.....	71
Figura III. 21 Variación de la dureza Shore con el incremento del % de AESO.	72
Figura III. 22 Resultados ensayo Vicat.	74
Figura III. 23 Resultados ensayo HDT.....	75
Figura III. 24 Resultados Water Up-take.....	76

Figura III. 25 Variación Water Up-take según el incremento de % AESO.	77
Figura III. 26 Ensamblaje de dispositivo móvil y protección.....	78
Figura III. 27 Tensiones producidas tras caída de PLA+5%AESO con inclinación de 0°.	80
Figura III. 28 Histograma de tensiones de simulaciones con diferentes orientaciones de caída.	81
Figura III. 29 Histograma de tensiones para diferentes materiales.....	83
Figura III. 30 Variación de la media para diferentes materiales.	83
Figura III. 31 Variación del valor máximo para diferentes materiales.	84
Figura III. 32 Deformación unitaria para la simulación PLA+2,5%AESO	85
Figura III. 33 Variación de media de deformaciones para cada material.....	86
Figura III. 34 Variación de valores máximos de deformación para cada material.....	86
Figura III. 35 Resultado gráfico del estudio térmico proporcionado por el programa. .	88
Figura III. 36 Sección del resultado del estudio térmico.....	89
Figura III. 37 Resultados de desplazamientos en el estudio térmico.....	90

LISTADO DE TABLAS

Tabla III. 1 Formulaciones desarrolladas con base ácido poliláctico y aceite de soja epoxidado.....	60
Tabla III. 2 Propiedades térmicas obtenidas del DSC.....	64
Tabla III. 3 Resultados tracción.....	69
Tabla III. 4 Resultados simulación con diferentes orientaciones de caída.....	81

I. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

I.1. ANTECEDENTES.

Durante los últimos años la concienciación sobre la problemática del cuidado y mantenimiento del medio ambiente además del hecho de ejercer un desarrollo sostenible ha venido creciendo de manera significativa.

Todos somos conscientes de la velocidad con la que avanza la tecnología de los dispositivos electrónicos conocidos como "smartphones" o "tablets". La vida útil de estos, junto con sus accesorios, puede llegar a ser de una décima parte de la de otros dispositivos electrónicos como por ejemplo un ordenador personal.

Lo que se propone en este trabajo, es la creación de un accesorio como es la funda o carcasa protectora de cualquiera de estos dispositivos, que aparte de cumplir su función de forma satisfactoria, sea biodegradable en el medio ambiente.

Para ello, se ha partido de un polímero como es el PLA, para desarrollar un material que mantenga las propiedades biodegradables que éste posee pero evitando la fragilidad. Principalmente, debido a que la finalidad es el diseño de un artículo cuya función es proteger de golpes y caídas. Para este fin se ha utilizado un material con la función de actuar como plastificante, se ha realizado un proceso de investigación en el cual se ha evaluado la viabilidad de utilizar estos dos componentes para formar la pieza. Durante este proceso se ha estudiado la capacidad de ambos materiales para actuar unidos y que sus propiedades no se vean afectadas más allá de aumentar las propiedades dúctiles del PLA. Esto se ha conseguido realizando mezclas de ambos materiales variando el porcentaje de la cantidad de cada uno, para a continuación realizar diferentes ensayos: mecánicos, térmicos... y comparar los resultados entre ellos y entre el PLA y determinar que solamente se hayan visto afectadas las propiedades que se buscaba además de obtener la mezcla de ambos materiales que resulte más idónea para la pieza que se diseña.

Resumiendo, la finalidad del trabajo es la de diseñar una carcasa de protección, que cuando se dé por terminada su vida útil, sea totalmente compatible con el medio ambiente y quede degradada en un tiempo relativamente corto.

II. Objetivos

en la historia de la humanidad se ha registrado un descubrimiento de desarrollo tan rápido.

El primer polímero artificial del que se tiene noticia fue producido por Charles Goodyear en el año 1839. Goodyear consiguió modificar las propiedades mecánicas de la goma natural, extraída del jebe (Árbol del Brasil) mezclándola con azufre y calentándola. En la actualidad son miles y miles la cantidad de polímeros conocidos que han sido desarrollados y que se utilizan en las diferentes industrias, desde la elaboración de juguetes a la producción de partes de un coche de carreras, a la industria farmacéutica...

Una de las razones principales de este crecimiento en la utilización de materiales poliméricos para tal multitud de fines, es la de la capacidad de adaptación para cada uso mediante variaciones en la producción, aditivos, cargas, mezclas... que pueden realizarse para obtener un material con unas capacidades concretas como puedan ser capacidades ignífugas o simplemente un coste de producción bajo, ya que igual los polímeros son un embase utilizado para guardar comida con un precio estimado de unos céntimos, que un material compuesto utilizado para fabricar depósitos a presión.

II. Objetivos

I.1.2 Problema medio ambiental.



Figura I. 2 Consecuencias problemática reciclaje y degradación.

Todos conocemos una de las problemáticas más importantes en la utilización de plásticos, que es la dilatada degradación que se produce una vez finalizada su vida útil. Aunque tras la utilización del plástico este sea reciclado y utilizado nuevamente en diferentes ocasiones, llega un punto en el que pasa a ser un residuo y debe desecharse, el principal problema es que aunque estemos hablando de residuos "orgánicos", estos residuos tardan una gran cantidad de años en descomponerse, el número puede variar de 30 a 100 años e incluso más, lo que es un hecho es que resulta una cantidad de años demasiado elevada en cuanto a que se propicia la acumulación masiva de residuos en el medio ambiente.



Figura I. 3 Objetos plásticos de degradación dilatada.

Es decir, que resulta insostenible a la velocidad que los seres humanos generan deshechos, que un material tarde una cantidad tan elevada de años en descomponerse,

II. Objetivos

ya que por este motivo se han generado auténticas islas flotantes formadas por residuos que se pueden encontrar en los océanos de la tierra.

II. Objetivos

I.1.2. Materiales empleados en accesorios de telefonía móvil.

I.1.2.1. Carcasas rígidas.

Por lo general cuando se habla de carcasas de tipo rígido o de material duro, estas suelen estar compuestas de materiales como polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS) o polietilentereftalato (PET). La parte negativa de este tipo de protecciones, es quizá la excesiva fragilidad que provoca su rigidez, ya que este hecho puede provocar que sean quebradizas y no demasiado aptas para soportar golpes y caídas. Por otra parte el acabado que se puede obtener permite crear diseños más atractivos.



Figura I. 4 Ejemplo carcasa rígida.

I.1.2.1. Carcasas flexibles.

Por lo general están compuestas por siliconas o con materiales a los que se les añaden plastificantes para generar una textura tipo "gel", podemos encontrar fundas compuestas de materiales plásticos como Poliuretano (PU), la flexibilidad de la que disponen este tipo de fundas provoca que la absorción de energía en caso de golpe o

II. Objetivos

caída sea mayor, debido a este hecho, el chasis del dispositivo debe de absorber una cantidad más reducida.



Figura I. 5 Ejemplo de funda flexible.

I.1.2.1. Carcasas integrales.

Este tipo de carcasas, cubren el móvil íntegramente, de modo que son las que más protección proporcionan, por lo general suelen estar compuestas de materiales como los anteriormente nombrados, aunque pueden incorporar de ambos tipos.

II. Objetivos



Figura I. 6 Ejemplo de funda integral.

II. Objetivos

I.1.3. Materiales plásticos de alto rendimiento medioambiental.

I.1.3.1. Evolución del desarrollo de materiales poliméricos.

Debido a el avance tecnológico, en las últimas décadas el desarrollo de polímeros con unas propiedades más específicas, ha aumentado de forma más notable, este hecho conjuntamente con la concienciación de mandatarios mundiales (en 2017 se ha prohibido en Francia la venta de cubiertos y utensilios que sean desechables) además del conjunto de la sociedad, ha generado la demanda de materiales poliméricos que sean capaces de degradarse en un tiempo más acorde para el cuidado del medio ambiente.

I.1.3.2. Clasificación de materiales poliméricos.

En cuestión de polímeros el término biodegradable abarca diferentes ámbitos, por una parte tenemos polímeros biodegradables procedentes de Hidrocarburos como puede ser el copolímero succinato de butileno (PBS) , por otra polímeros biodegradables con procedencia de materias primas también renovables , ácido poliláctico (PLA), o podemos encontrar una mezcla de ambos con los denominados *blends* que en este caso sería la obtención de un polímero biodegradable con la mezcla de dos polímeros uno con materia prima de procedencia renovable y otro/s con procedencia de hidrocarburos, y por último también encontramos materiales de origen "bio" pero que no son biodegradables como podría ser el Bio-PE el cual es polietileno pero con una materia prima de origen "bio". Por lo que la procedencia del polímero no establece que este sea biodegradable o no, sino su estructura química.

II. Objetivos

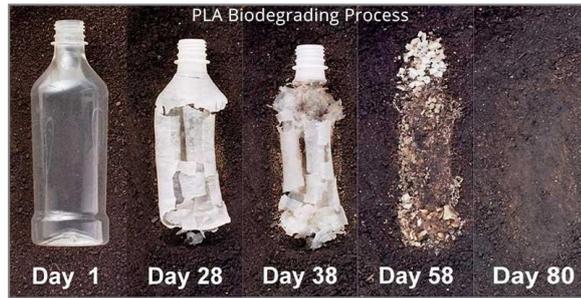


Figura I. 7 Ejemplo temporal de degradación de plástico degradable.

I.1.3.3. Poliésteres de origen renovable y biodegradables.

Este tipo de polímeros tienen un origen renovable que quiere decir que su procedencia pueda ser de elementos vegetales o plantas ricas en almidón. Algunos ejemplos de polímeros de este tipo:

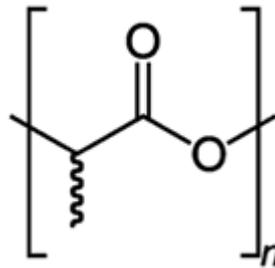


Figura I. 8 Ácido poliláctico PLA.

- **PLA:** Este tipo de termoplástico tiene muchas características equivalentes e incluso mejores que muchos otros plásticos derivados del petróleo, lo que lo hace eficaz para gran variedad de usos. El PLA tiene propiedades similares al poliestireno, aunque su densidad es más baja. El proceso de obtención implica la extracción de los azúcares del almidón de por ejemplo remolacha o del trigo para después fermentarlo en ácido láctico, éste posteriormente se purifica y polimeriza a ácido poliláctico.

II. Objetivos

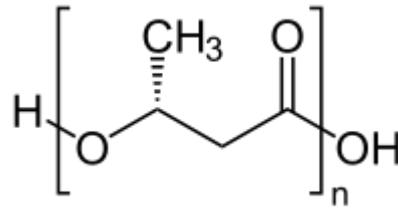


Figura I. 9 Ácido polihidroxi-butírico PHB.

- **PHB:** El ácido polihidroxi-butirato es un termoplástico semicristalino fabricado por fermentación biológica de carbohidratos renovables, es decir, es producido por un cierto tipo de microorganismos como producto de la asimilación de carbono (a partir de glucosa y almidón). Ha sido descrito como "el primer ejemplo de termoplástico elaborado por biotecnología". El PHB tiene propiedades similares al polipropileno, aunque es más duro y quebradizo.

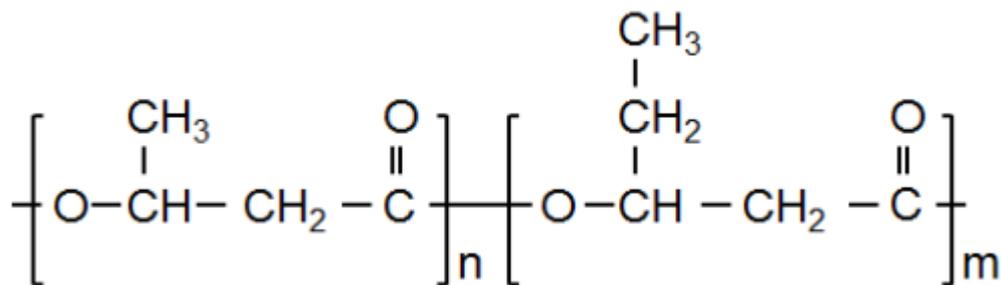


Figura I. 10 poli-3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato PHBV.

- **PHBV:** El poli 3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato es un copolímero del PHB y el PHV, similares características que el poliestireno, pero consigue una temperatura de fusión más baja que el PHB.

I.1.3.4. Poliésteres de origen petroquímico y biodegradables.

Este tipo de polímeros a diferencia de los anteriores no es renovable, aunque si terminan siendo biodegradables.

II. Objetivos

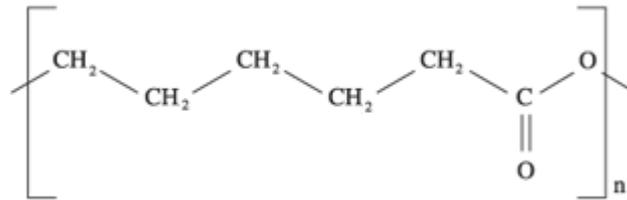


Figura I. 11 policaprolactona PCL.

- **PCL:** La policaprolactona es polímero semicristalino con un punto de fusión de 58-60 °C, baja viscosidad y fácil procesabilidad compuesto de una secuencia de unidades de metileno, entre las que se forman grupos éster. El uso más común de la policaprolactona es como aditivo para la fabricación de poliuretanos especiales.

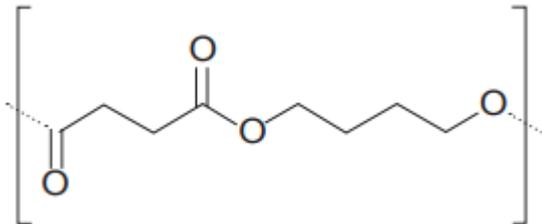


Figura I. 12 Polibutileno succinato (PBS).

- **PBS:** El polibutileno succinato es un polímero termoplástico biodegradable con unas propiedades comparables a las del polipropileno. Una de las principales aplicaciones del PBS es la de utilizarse para envases.

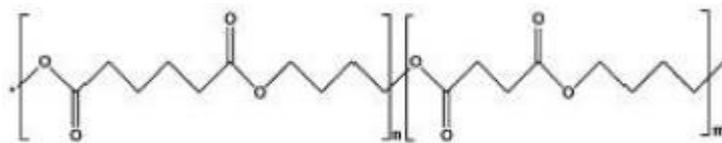


Figura I. 13 Polibutileno succinato-co-butileno adipato (PBSA).

- **PBSA:** El polibutileno succinato-co-butileno adipato, es un copolímero que se forma mediante la adición al PBS de ácido adípico.

II. Objetivos

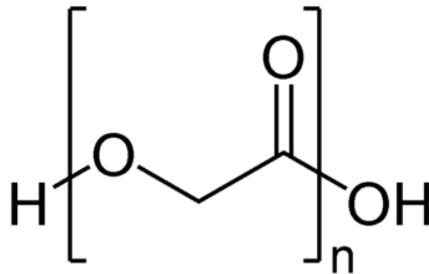


Figura I. 14 Ácido poliglicólico (PGA).

- **PGA:** El ácido poliglicólico, es un termoplástico que puede obtenerse por medio de policondensación o algunos tipos de polimerización a través de ácido glicólico. Este tipo de polímero tiene como uso fundamental la síntesis de suturas absorbibles.

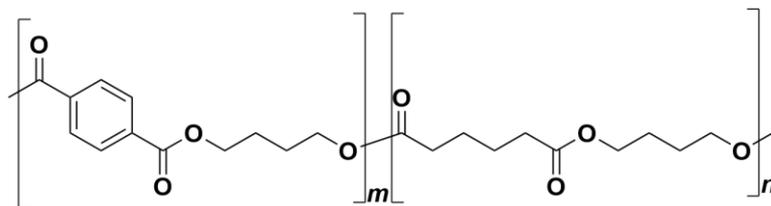


Figura I. 15 polibutilén adipato-co-tereftalato (PBAT).

- **PBAT:** El polibutirato también es un copolímero que puede encontrarse en el mercado como alternativa biodegradable al polietileno de baja densidad, ya que tienen alguna propiedades similares como la flexibilidad o la resiliencia.

I.1.3.3. Otros polímeros de origen renovable y biodegradables.

Proteínas como polímeros: En las últimas décadas, numerosas proteínas de origen animal, tales como: caseínas, proteínas del suero de leche, albúminas, colágeno, gelatina, queratina y proteínas miofibrilares; así como también proteínas vegetales: soja, gluten de trigo, zeínas, girasol, algodón, amaranto, maní, arroz, arveja, sorgo, pistacho y lupino, han sido estudiadas por su capacidad de formar películas comestibles y/o biodegradables. En comparación con polímeros sintéticos, estos materiales presentan excelentes propiedades como barrera de gases, pero unas propiedades mecánicas satisfactorias.

II. Objetivos

Derivados de polisacáridos:

- Almidón termoplástico (TPS): puede ser procesado empleando plastificantes y convertido en plástico. El papel de los plastificantes es destruir el almidón granular, mediante la rotura de los puentes de hidrógeno de las macromoléculas de almidón, acompañado de una depolimerización de parte del almidón. Su naturaleza hidrofílica hace que el TPS sea susceptible a los ataques de la humedad y provoque cambios significantes de estabilidad dimensional y en las propiedades mecánicas . Actualmente existen diferentes variedades de TPS, que combinan poliésteres con almidones nativos de diversos orígenes, como maíz, patata o guisante y que presentan propiedades diferentes.
- Acetato de celulosa (AC): Estos plásticos se obtienen modificando la estructura de la celulosa original, sustituyendo los grupos hidroxilos (OH) existentes en sus anillos moleculares por grupos nitratos o acetato. Los nitratos o acetatos así obtenidos, son dotados de características plásticas y de un cierto grado de flexibilidad, mediante la adición de un plastificante. Es un termoplástico relativamente duro y brillante, incoloro, transparente y amorfo con una buena claridad. Estabilidad a los rayos UV y resistencia química moderadas. Su gran absorción de humedad puede acarrear las dificultades corrientes de cambios dimensionales. Las aplicaciones incluyen monturas de gafas, mangos de herramientas y pinceles.

II. Objetivos

I.1.4. Materiales utilizados.

Este proyecto se centra básicamente en el PLA como material base para la conformación de la pieza, anteriormente se han nombrado diferentes materiales que también cumplen el objetivo de ser de origen natural y biodegradables que se habían establecido a priori de la elaboración del proyecto. Pero de todos ellos el elegido ha sido el PLA debido a dos razones que son disponibilidad y precio. Algunos polímeros de origen natural y biodegradables son más difíciles de encontrar y tienen un precio más elevado, pero la elevada utilización del PLA en los últimos años debido al aumento de su popularidad, han propiciado su elección final.

Por otra parte, también se conocía la fragilidad del PLA, por lo que se llegó a la conclusión que se debía incorporar un plastificante para mejorar este punto que podía influir en el comportamiento de la pieza para el uso que se pretendía. Aún así el plastificante no podía ser de origen petroquímico y tampoco podía sacrificar la biodegradabilidad del PLA y por las mismas razones que se eligió a este, el material elegido fue el aceite de soja epoxidado acrilado (AESO). El porcentaje de material que se debía incorporar era algo que se tendría que investigar en el laboratorio mediante diferentes ensayos .

I.1.4.1 Tecnología del Ácido poliláctico (PLA).

El ácido poliláctico (PLA), es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. Debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, éste biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio rango inusual de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino; propiedades que pueden lograrse manipulando las mezclas entre los isómeros D(-) y L(+), los pesos moleculares y la copolimerización.

II. Objetivos

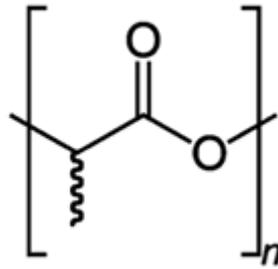


Figura I. 16 Estructura química PLA.

Durante el transcurso del estudio, se ha realizado el desarrollo de un material que cumpliera con los requisitos necesarios de resistencia térmica y mecánica que puedan darse durante la vida útil de la pieza. Para tal caso se partió del PLA principalmente debido a criterios de precio y disponibilidad, pero este presenta unas condiciones de fragilidad que no resultan óptimas para la problemática que en este trabajo se aborda. Por lo que se ha buscado un material que pueda cumplir el papel de plastificante para mejorar la fragilidad del PLA, pero que no sacrifique su característica de biodegradabilidad. El material elegido ha sido AESO, que es un aceite de soja epoxidado acrililado. El desarrollo ha consistido de crear diferentes mezclas con diferentes porcentajes de cada material, para más adelante realizar ensayos con el fin de comprobar la respuesta que presentan y poder elegir el que mejores características aporte.

II. Objetivos

I.1.4.2. Obtención y estructura.

La obtención del ácido láctico ha sido ampliamente estudiada y desarrollada. El primer paso en el proceso es la extracción del almidón de la biomasa. Industrialmente se utilizan como sustratos, sacarosa proveniente de azúcar de caña y remolacha azucarera, lactosa proveniente de lactosuero, y dextrosa procedente de almidón hidrolizado. La sacarosa refinada y glucosa son los más utilizados.

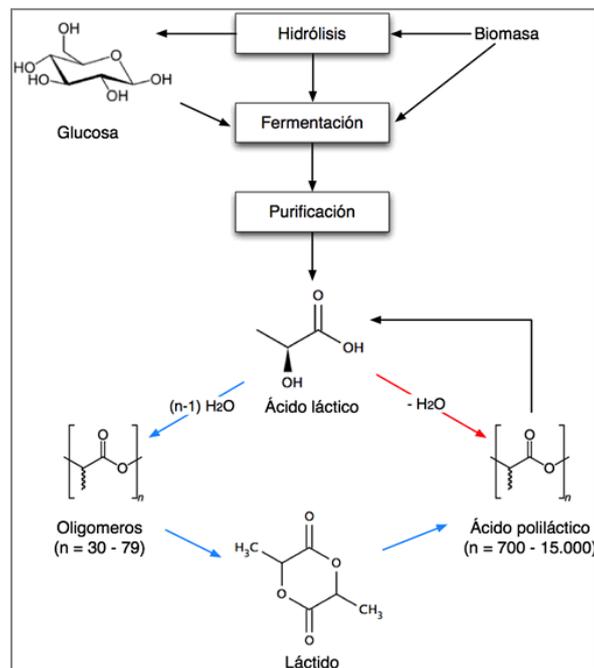


Figura I. 17 Metodología de obtención del PLA.

Se han desarrollado dos vías fundamentales para convertir el ácido láctico en polímeros de alto peso molecular: el proceso indirecto vía láctido, cuyo producto se denomina poliláctido, y el proceso directo de polimerización por policondensación, produciendo ácido poliláctico. Ambos productos son agrupados bajo la denominación PLA.

El primer camino, es un proceso continuo utilizando polimerización por apertura de anillo (ROP por sus siglas en inglés) del láctido. La condensación del ácido láctico acuoso produce un prepolímero (oligomero) de bajo peso molecular. El prepolímero se

II. Objetivos

depolimeriza incrementando la temperatura de policondensación, reduciendo la presión y utilizando un catalizador organometálico, resultando en una mezcla de estéreo isómeros de láctido. La mezcla de láctidos es purificada por destilación al vacío, puesto que su composición determina las propiedades del producto final. En el paso final, el polímero de alto peso molecular se produce por polimerización catalítica por apertura del anillo del diláctido. Los monómeros remanentes se extraen por vacío y se reciclan.

En la segunda vía, el ácido láctico es policondensado directamente en polímeros de alto peso molecular, manipulando el equilibrio entre: ácido láctico, agua y ácido poliláctico en un solvente orgánico.

I.1.4.3. Propiedades.

Las propiedades físicas y mecánicas, farmacéuticas y de reabsorción dependen de la composición del polímero, de su peso molecular y de su cristalinidad. La cristalinidad puede ajustarse desde un valor de 0% a 40% en forma de homopolímeros lineales o ramificados, y como copolímeros al azar o de bloque.

La temperatura de transición vítrea (T_g) está entre 60 y 125°C y depende de la proporción de D o L ácido láctico en el polímero. Sin embargo el PLA puede ser plastificado con su monómero o alternativamente con ácido láctico oligomérico y esto permite disminuir T_g .

El PLA tiene propiedades mecánicas en el mismo rango de los polímeros petroquímicos, a excepción de una baja elongación. Sin embargo esta propiedad puede ser afinada durante la polimerización (por copolimerización) o por modificaciones post polimerización (por ejemplo plastificantes).

El PLA puede ser tan duro como el acrílico o tan blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede además ser formulado para dar una variedad de resistencias. Las resinas de PLA pueden ser sometidas a esterilización con rayos gama y es estable cuando se expone a los rayos ultravioleta. Al PLA se le atribuyen también propiedades de interés como la suavidad, resistencia al rayado y al desgaste.

II. Objetivos

I.1.4.4. Transformación y proceso industrial.

El PLA es un polímero termoplástico, y debido a sus características puede utilizarse fácilmente en aplicaciones de moldeo por inyección, extrusión... por lo cual esta facilidad de moldeo lo ha popularizado en los últimos años como uno de los materiales más utilizados en impresoras 3D donde lo encontramos en forma de bobina, ya sea en un ámbito doméstico o profesional.

I.1.4.5. Aplicaciones y usos.

El PLA es un polímero versátil que tiene muchas aplicaciones, incluyéndose en la industria textil, en la industria médica y sobretodo en la de empaquetado. En esta última industria existen diferentes modalidades de PLA dependiendo de cuál sea el uso que se le vaya a dar, algunos films pensados para aguantar temperaturas relativamente altas presentando una gran estabilidad u otros se presentan con la característica de ser transparentes para ser utilizados en el embasado de alimentos.

El PLA debido a sus características se ha convertido en un material muy importante en la industria médica. Entre sus usos está, material de sutura absorbible, material de cirugía ortopédica, tornillos, broches, placas, grapas, etc. también es utilizado en la creación de matrices para regeneración guiada de tejidos y para microencapsular medicamentos de liberación lenta como insulina.

Dentro de la industria textil, el PLA también tiene aplicaciones potenciales en su presentación como fibra. Presenta una hidrofilia más elevada que el PET. Una densidad más baja, alta resistencia al doblado y moldeo y también tiende a ser estables a la luz ultravioleta, dando como resultado telas con poca decoloración. Es un material ignífugo y de baja generación de humos. Entre sus aplicaciones se destacan prendas de vestir, tapicerías, productos femeninos de higiene, toldos, cubiertas...

II. Objetivos

I.1.5. Modificación de formulaciones en aceites vegetales: Aceite de soja epoxidado acrilado AESO.

El aceite de soja posee un elevado contenido en ácidos grasos insaturados, principalmente linoleico, con un 53,2 % en peso, y oleico, con un 23,4 % en peso del aceite. Además, otra de sus características es que presenta una media de 4,6 dobles enlaces por triglicérido. A partir de los dobles enlaces presentes en los triglicéridos se puede funcionalizar químicamente de varias formas para obtener resinas con propiedades diferentes. Una de las modificaciones que se le pueden realizar es la epoxidación. La epoxidación de aceites vegetales se realiza formando anillos oxiránicos donde antes había dobles enlaces entre carbonos.

Los aceites vegetales epoxidados permiten que sus cadenas de triglicéridos se puedan entrecruzar por la rotura del anillo oxiránico con la incorporación de agentes convencionales de entrecruzamiento como aminas y anhídridos.

El aceite de soja epoxidado acrilado (AESO) se obtiene en dos etapas, primero se realiza la epoxidación del aceite de soja y seguidamente se hace reaccionar con ácido acrílico en presencia de un ácido como catalizador (**Figura I.18**), el nivel de acrilación es muy importante para las propiedades mecánicas ya que la temperatura de transición vítrea (T_g) incrementa linealmente con el número de acrilatos por triglicérido.

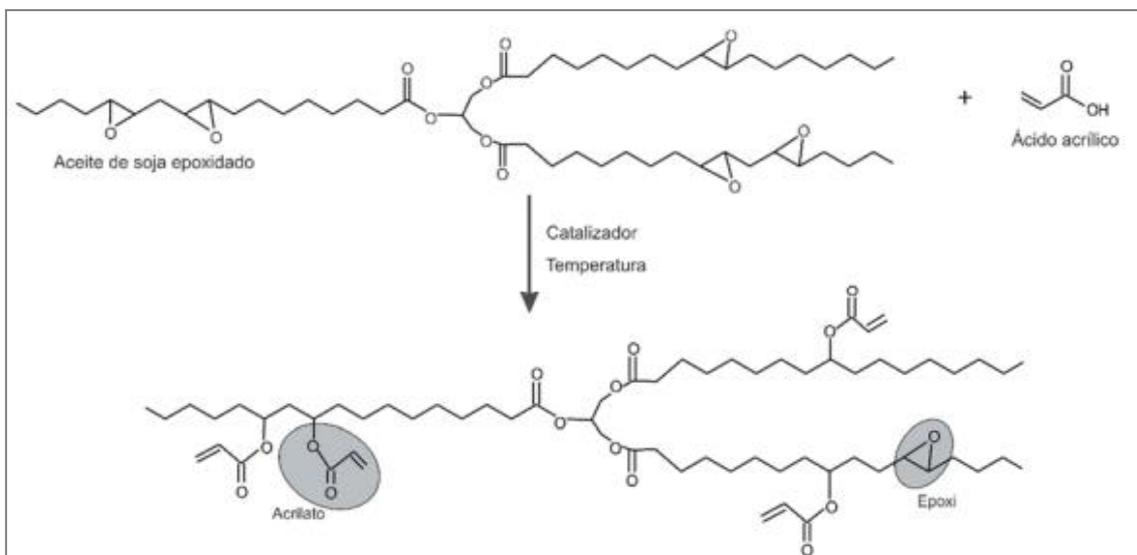


Figura I. 18 metodología de obtención de AESO.

II. Objetivos

II. OBJETIVOS

OBJETIVOS

II. Objetivos

II. Objetivos

II.1. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo principal de este proyecto es el de diseñar un funda protectora de dispositivos electrónicos, la cual esté compuesta por un material respetuoso con el medio ambiente y que sea capaz de soportar las mismas sollicitaciones mecánicas y variaciones térmicas que las de una carcasa de material no biodegradable. El proyecto se abordará desde el punto de vista de diversas disciplinas de la ingeniería mecánica: diseño CAD, desarrollo de un material, fabricación, estudio del comportamiento térmico y mecánico, y estudio económico.

II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

Los objetivos parciales son:

1. Desarrollar un material que, aparte de la biodegradabilidad, cumpla unos requisitos determinados de la pieza en cuestión.
2. Diseño en la plataforma Solidworks considerando los requerimientos mecánicos y térmicos de la pieza.
3. Simulación y análisis de la pieza en condiciones desfavorables de uso mediante herramientas basadas en el método de elementos finitos.
4. Estudio de la viabilidad económica del producto.

II. Objetivos

III. DESARROLLO PROYECTO

DESARROLLO PROYECTO

III. Desarrollo del proyecto.

III.1. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

El diseño de la pieza está claramente limitada en cuanto a geometría, ya que debe ceñirse por una parte, a las dimensiones del dispositivo (puesto que su finalidad fundamental es la de proteger a este), y por otra que el diseño debe cumplir con la normativa que exige el fabricante.

En este punto, el diseño que se propone es el de una lámina de material que se adapte al contorno del dispositivo, protegiendo la mayor superficie posible y que no interceda con los elementos de interacción entre dispositivo y usuario. El grosor del cual se determinará en función de los resultados del análisis de la simulación en el método de elementos finitos.

Como es lógico se pretende minimizar en la medida de lo posible el coste de producción en cuanto a cantidad de material que se debe utilizar con cada pieza, con lo que adaptar el diseño de la carcasa es fundamental. Además también se pretende elaborar un diseño lo más ergonómico posible además de cómodo, por lo que minimizar al máximo el tamaño de la protección resulta también beneficioso.

III. Desarrollo del proyecto.

III. Desarrollo del proyecto.

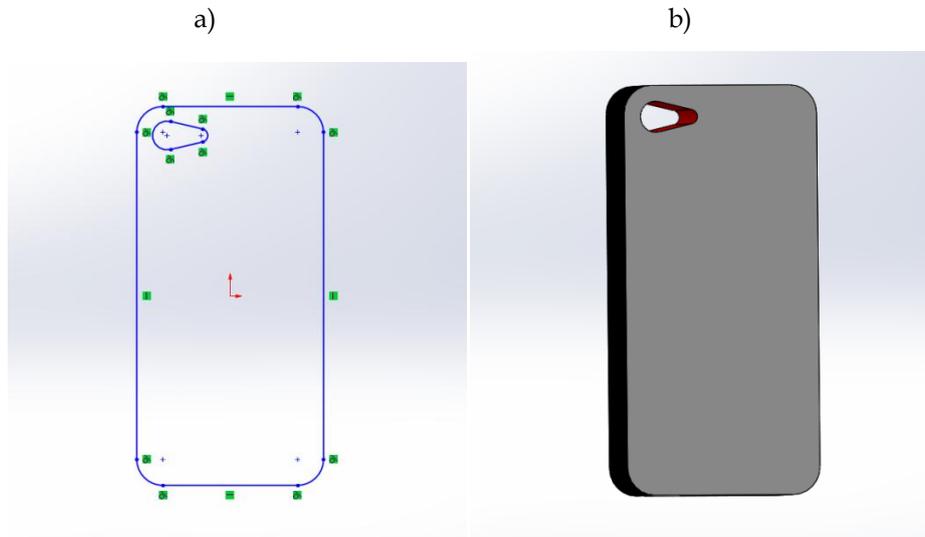


Figura III. 1 a) Definición general de las dimensiones de la forma base para construcción de la pieza, b) vista de la pieza después de la aplicación de una función de extrusión de 20 mm en la dirección perpendicular a la base.

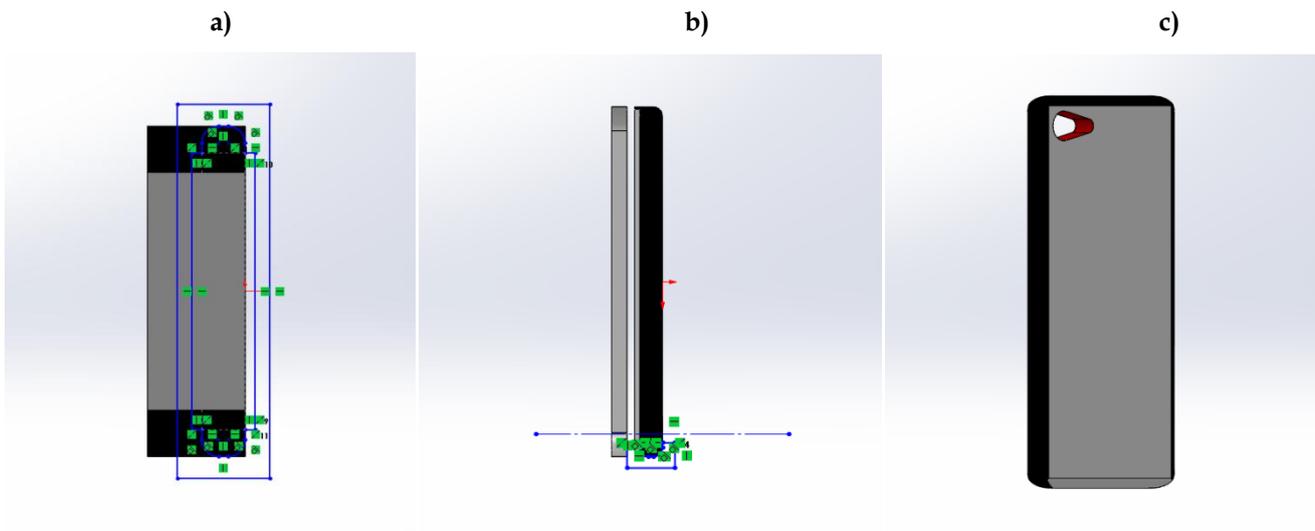


Figura III. 2 a) y b) croquis para realizar el corte extrusión, c) figura tras la operación.

III. Desarrollo del proyecto.

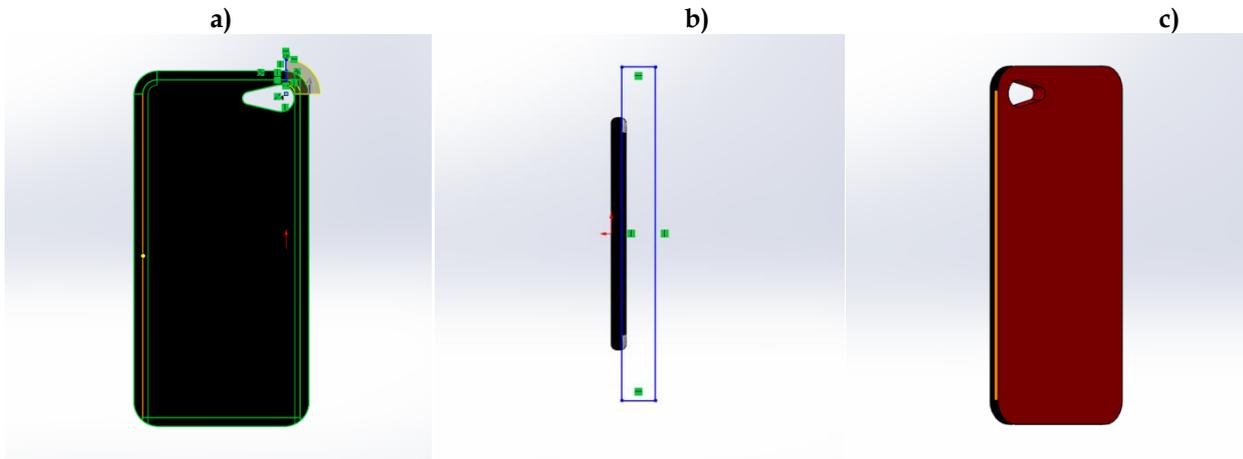


Figura III. 3 a) corte de revolución, b) croquis para realizar el corte extrusión, c) figura tras las dos operaciones.

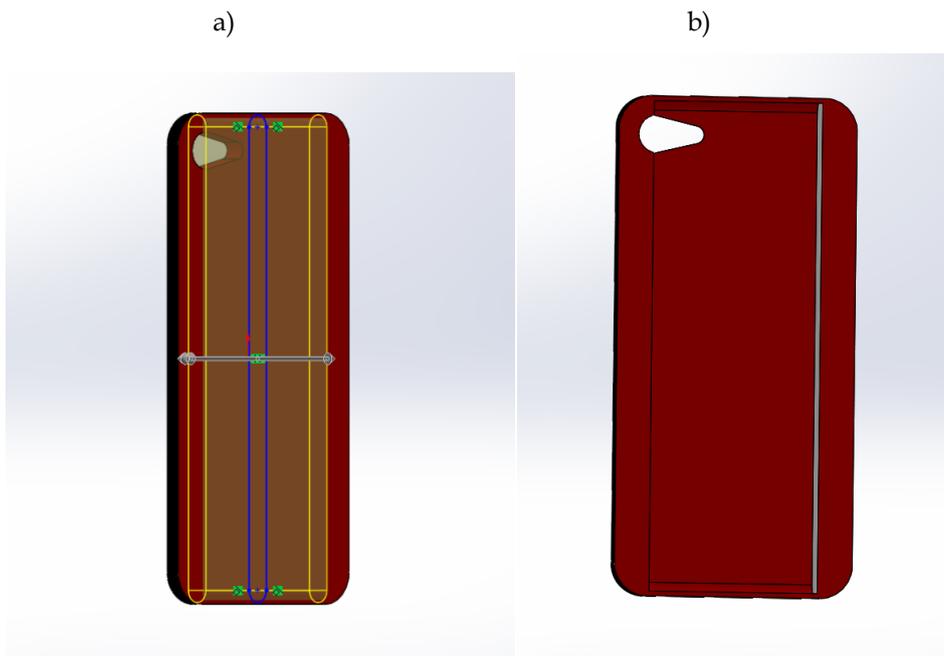


Figura III. 4 a)Corte extrusión de una profundidad de 24mm, para vaciar la figura y hacer espacio donde se situará el móvil, b)figura tras la operación

III. Desarrollo del proyecto.

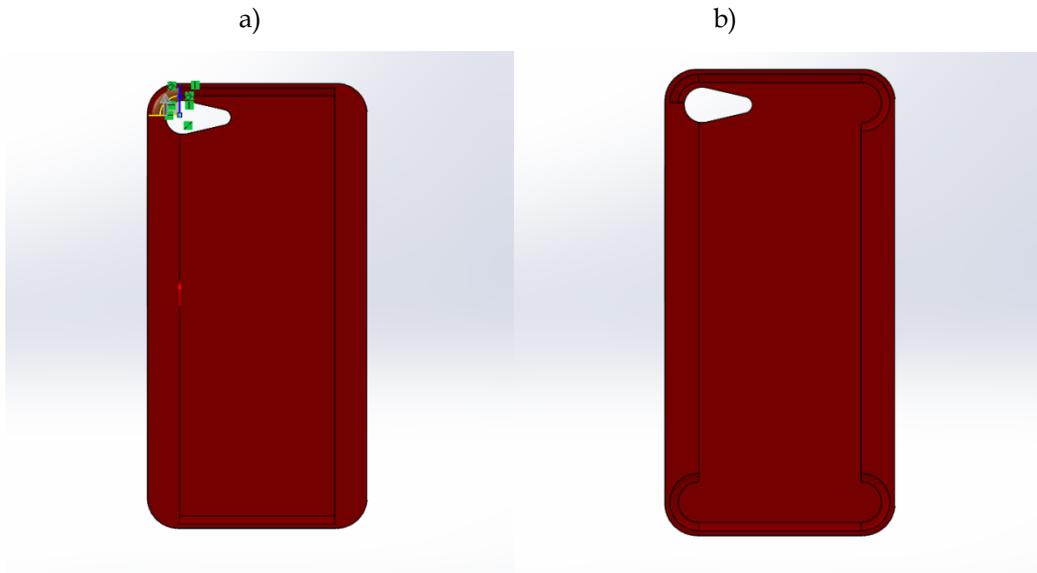


Figura III. 5a) corte de revolución de 90° en el interior, b) figura tras la operación en cada lado.

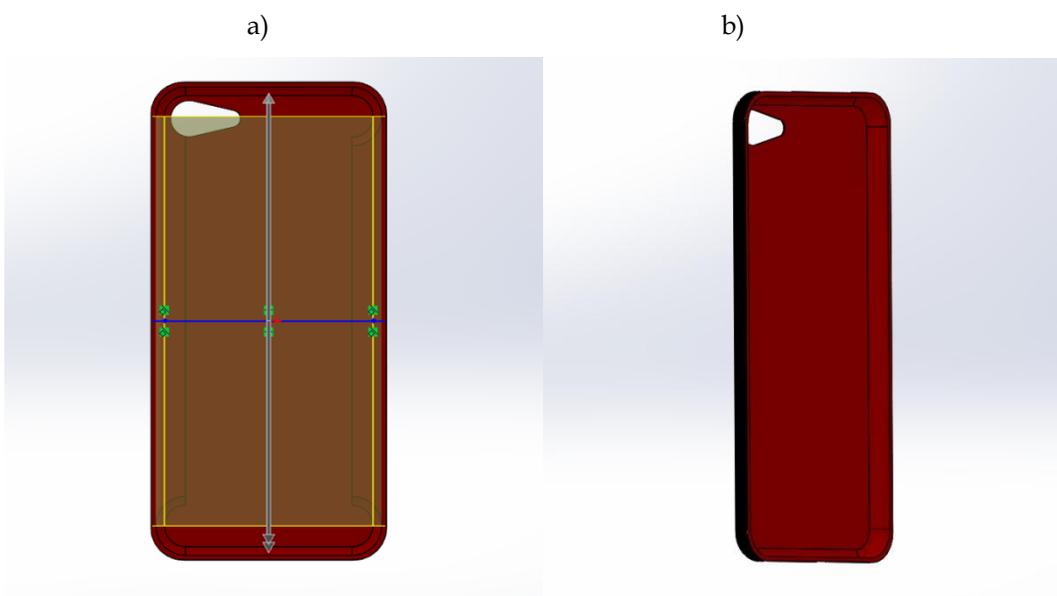


Figura III. 6 a) corte de revolución de 90° en el interior, b) figura tras la operación en cada lado.

III. Desarrollo del proyecto.

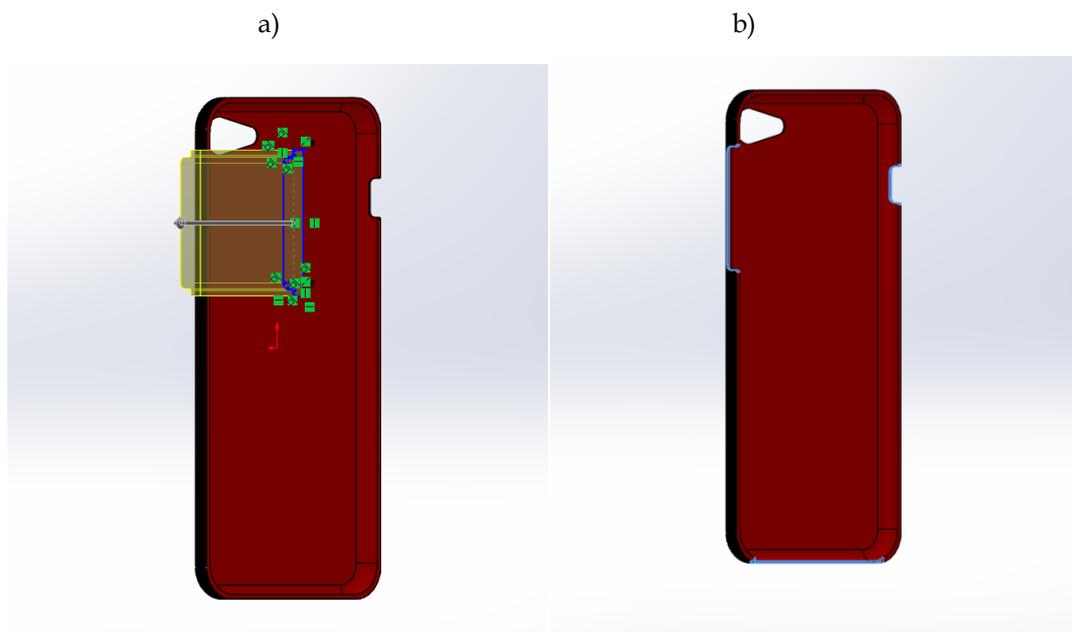


Figura III. 7 . a) Operaciones de corte extrusión para realizar el hueco necesario tanto para botones de voz y bloqueo como para altavoz y ranura de carga. b) pre diseño inicial

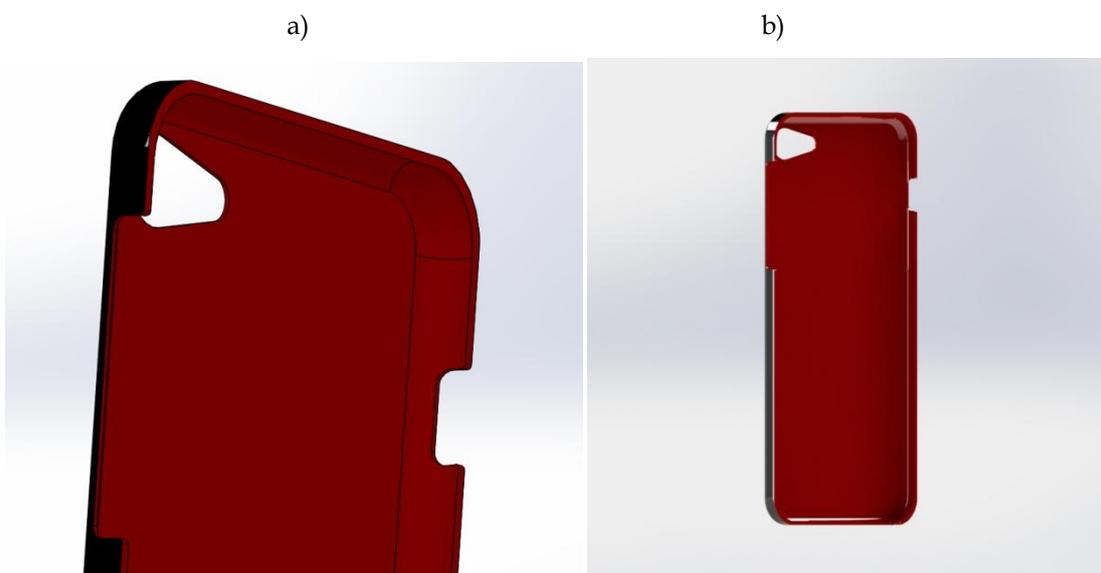


Figura III. 8 a) ampliación zona superior b) Renderizado del pre diseño.

III. Desarrollo del proyecto.

III.2. NORMATIVA APLICABLE.

En el caso particular en el que se sitúa este proyecto, se trata de la fabricación de un accesorio para un producto de una gran compañía, la cual publica una guía para el diseño de productos accesorios de su marca. En esta guía se detallan las especificaciones, requisitos, recomendaciones y permisos que la marca considera mínimos para el diseño de una pieza como la que se trata. En la misma se dan especificaciones para cada dispositivo que la marca tiene y/o ha tenido recientemente a la venta, en la cual se entra tanto en requisitos para el diseño, como la compatibilidad por radiofrecuencia que pueda existir, o que se aconseja evitar cualquier accesorio magnético por existir la posibilidad de producirse interferencias.

En lo referente a fundas protectoras, se establece que deben de proteger al dispositivo de caídas desde un metro de altura y cualquier orientación a una superficie dura. Además se recalca la importancia de proteger el cristal de la pantalla alejándola como mínimo 1 mm de cualquier superficie, creando un borde alrededor de la misma o como mejor convenga al diseñador, y de facilitar el acceso a controles, entradas o interconexiones.

Resumiendo en esta guía de diseño la marca especifica los requisitos técnicos y geométricos para poder fabricar accesorios para sus dispositivos. A continuación veremos un ejemplo de cómo se detallan.

III. Desarrollo del proyecto.

3.1.2.4 Touchscreen

The accessory should not have any edges that can collect water on the touch screen area when the Apple device is held at a 30° angle relative to the horizon.

Accessories must allow a 120° opening along the edges of the active area of the touchscreen to ensure compatibility with the Apple device touchscreen features. See [Figure 3-1](#) (page 15) for more information on the keep-out and [Device Dimensional Drawings](#) (page 36) device specific active display areas.

Figure 3-1 Touchscreen keep-out area

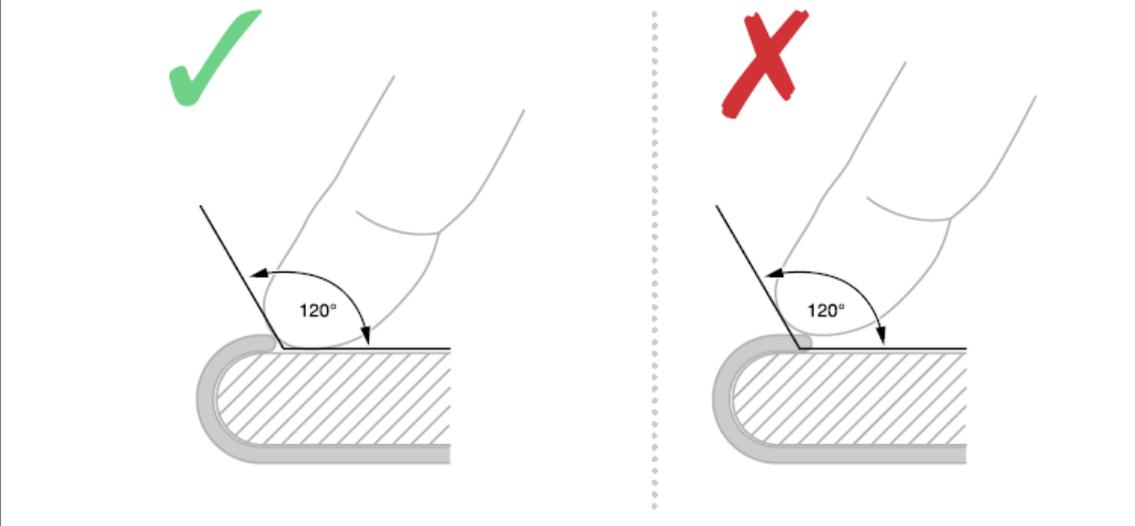


Figura III. 9 Fragmento de la guía de diseño de la marca.

En la Figura III.9 se aprecian algunas de las especificaciones que facilita la marca, concretamente en esta parte indica que entre los bordes de sus accesorios y la pantalla táctil del dispositivo debe existir un ángulo de 120°, para así asegurar que esta funciona sin ningún problema en todas sus aplicaciones. Por otra parte también se indica que cualquier accesorio no puede tener ningún borde que pueda acumular agua en la pantalla táctil estando el dispositivo a 30° respecto al horizonte.

III. Desarrollo del proyecto.

III.3. Desarrollo y caracterización de materiales flexibles con base PLA para fundas de teléfono.

Las solicitaciones mecánicas a las cuales puede verse sometida la pieza tratan básicamente golpes y caídas. Según se especifica en la guía de diseño, una carcasa debe proteger al dispositivo de una caída de un metro de distancia sea cual sea el ángulo de caída. Para este motivo se han utilizado herramientas de simulación que son capaces de recrear un escenario con estas condiciones.

Para este fin se recreó mediante diseño 3D un modelo con las mismas formas tamaño y peso que el dispositivo para el cual se quería diseñar la protección. Hecho esto, se simuló una caída de 1 metro de altura para así averiguar cuáles son las solicitaciones a las cuales este se vería sometido.

El software de diseño y simulación 3D proporciona un informe del cual se obtiene la información de tensión, deformación, desplazamiento, condiciones de simulación..., un informe que se muestra al final de este estudio en el apartado de apéndices.

A continuación se muestra gráficamente la acumulación de tensiones que se producen en una caída de 1 metro, una reproducción de tamaño y peso de un dispositivo móvil para el cual se ha diseñado la carcasa protectora.

III. Desarrollo del proyecto.

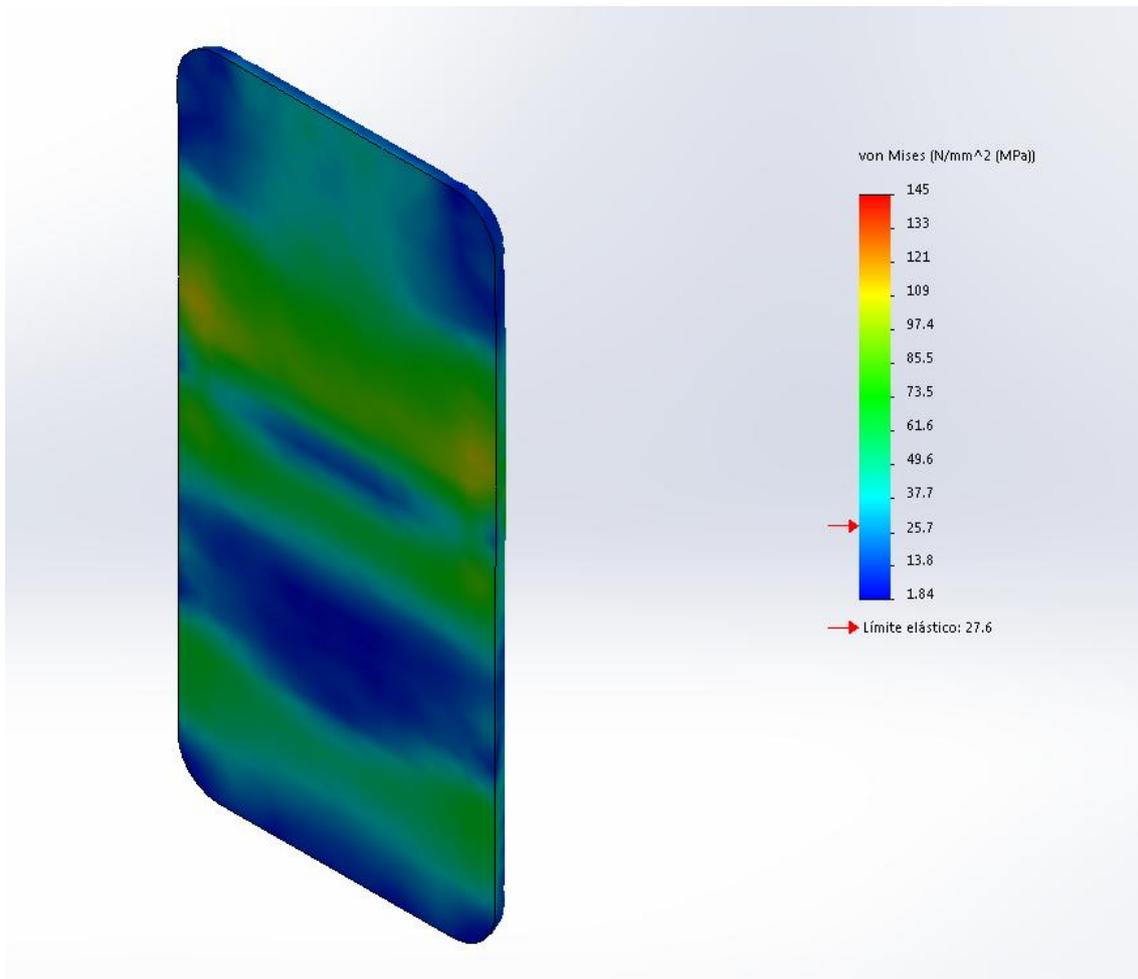


Figura III. 10 Resultado simulación tensional

Según se observa en la Figura III.10, existe una elevada acumulación de tensiones por toda la superficie del dispositivo con valores relativamente altos para el objeto que se ha simulado. Se ha definido la composición de la pieza como aluminio de aleación 1060 para que hubiese un parecido en composición real y se cumpliera el peso exigido, es por esto que nos aparece un límite elástico de 27,6 MPa, que han sido ampliamente superado por la tensión acumulada por la caída.

Por lo que de esta simulación nos proporciona el escenario con el que debe lidiar la pieza diseñada.

III. Desarrollo del proyecto.

III.3.1. Metodología.

III.3.1.1. Preparación del material.

El PLA Utilizado se calentó previamente para eliminar la humedad a una temperatura de 60°C durante 24 h.

III.3.1.2. Elaboración de compuestos.

La mezcla de los distintos porcentajes de materiales previa al procesado se realizó por agitación, posteriormente para asegurar una correcta mezcla, se procedió a realizar una extrusión. La extrusora cuenta con 4 zonas de calentamiento controlado, además del control de temperatura de la boquilla. El perfil de temperaturas aplicado desde la zona de alimentación a la boquilla fue de, 180°C, 185°C, 185°C y 190°C. En la zona de la boquilla la temperatura de control se situó en un 50% de su potencia calorífica. La velocidad de giro del husillo se situó en 20 rpm. El diámetro de la boquilla es de 3mm. Terminada la extrusión, se trituró en un molino el material y quedó preparado para proceder con la inyección.

III. Desarrollo del proyecto.

En la siguiente tabla se muestran las muestras y porcentajes utilizados:

Muestra	Materiales	Porcentajes	Cantidad (g)
1	PLA	100%	500
	PLA	97,5%	487,5
2	AESO	2,5%	12,5
	PLA	95%	475
3	AESO	5%	25
	PLA	92,5%	462,5
4	AESO	7,5%	37,5
	PLA	90%	450
5	AESO	10%	50
	PLA		

Tabla III. 1 Formulaciones desarrolladas con base ácido poliláctico y aceite de soja epoxidado.

III.3.1.3. Inyección de probetas.

Se inyectaron probetas normalizadas para los ensayos de tracción, flexión e impacto, empleando para ello la inyectora industrial modelo 270/75 de Mateu&Solé® (Barcelona, España). El perfil de temperaturas de proceso aplicado en este caso, desde la zona de alimentación, hasta la boquilla, fue de 170°C, 175°C, 180°C y 185°C. Se aplicó una fuerza de cierre de 75 T.

III. 3.1.4. Caracterización térmica.

Las temperaturas de transición térmica de los diferentes compuestos se determinaron por calorimetría diferencial de barrido (DSC), con una célula de medida Mettler-Toledo 821 (Mettler-Toledo Inc., Schwerzenbach, Switzerland). El peso de las diferentes muestras se encontraba entre 5 y 10 mg , el programa térmico establecido

III. Desarrollo del proyecto.

estuvo compuesto de tres fases. La primera incrementaba la temperatura a 10 °C/min desde 30°C hasta 200°C, con la finalidad de eliminar el historial térmico de la muestra. La segunda fase disminuía la temperatura hasta los 0°C a razón de 10°C/min. Y el tercer ciclo incrementaba la temperatura desde los 0°C hasta los 350°C nuevamente a 10°C/min en atmosfera de aire. Para la realización de los ensayos las muestras fueron introducidas en crisoles de aluminio sellados de 40 µl de capacidad.

La cristalinidad se calculó de acuerdo con la entalpía teórica de fusión al 100% de cristalización (ΔH_m^0) del PLA 3251D (93,0 J /g) mediante el uso de la siguiente fórmula, donde el contenido de AESO también se tuvo en cuenta:

$$X_c = \left[\frac{\Delta H_m - \Delta H_c}{\Delta H_m^0 \cdot (1 - w)} \right] \cdot 100$$

Dónde ΔH_m y ΔH_c (J/g) son las entalpias de fusión y cristalización en frío, (ΔH_m^0) (J/g) es la entalpia de fusión para 100 % de cristalización y w es la fracción de AESO.

También se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) con ayuda de una termobalanza Mettler-Toledo TGA/SDTA 851 (Mettler-Toledo Inc., Schwerzenbach, Switzerland). El peso de las muestras analizadas oscilaba entre los 5 y los 10 mg. Los ensayos se realizaron bajo atmosfera de aire para permitir las reacciones oxidativas. El programa térmico establecido incrementaba la temperatura desde los 30°C hasta los 700°C a 20°C min⁻¹. Los crisoles porta-muestras utilizados fueron de óxido de aluminio de 70 µl.

III. 3.1.5. Caracterización mecánica.

Para la realización de la caracterización mecánica de los compuestos elaborados se realizaron ensayos de: tracción, flexión, dureza e impacto. Los ensayos de tanto de

III. Desarrollo del proyecto.

tracción como de flexión se realizaron utilizando una máquina electromecánica de tracción Elib 50 (S.A.E. Ibertest, Madrid, España). Los ensayos de tracción se realizaron siguiendo las indicaciones de la norma ISO 527-1:2012 y los de flexión atendiendo a la norma ISO 178:2011. Se estableció una carrera constante de 5 mm/min en ambos ensayos y la célula de carga utilizada fue de 5 kN. Por otra parte, el ensayo de dureza se realizó según la norma ISO 868:2003, utilizando un durómetro Modelo 676-D (J. Bot Instruments, Barcelona, España). Respecto al ensayo de impacto se realizó según la norma ISO 179-1:2010, con una máquina de ensayo de péndulo de 6 J de Metrotec (San Sebastián, España). Para cada ensayo de los anteriormente descritos se utilizaron 5 probetas para cada material, sin entalla, cuyos resultados se muestran según el promedio de estas 5 muestras. La temperatura para todos los ensayos fue de 21°C.

Para completar la caracterización mecánica se llevó a cabo un análisis mecánico dinámico (DMA) con un reómetro oscilatorio modelo AR-G2 de TA Instruments (New Castle, EEUU), equipado con un sistema de mordazas de torsión para muestras sólidas, dispuesto en modo torsión-cizallamiento. Las muestras ensayadas presentaban unas dimensiones de 4x10x40 mm. El módulo de almacenamiento y el factor dinámico de pérdida ($\tan \delta$) fueron determinados a una frecuencia de 1 Hz, con una velocidad de calentamiento de 2°C/ min desde los 30°C hasta 140°C y bajo una tensión controlada de 0,1%.

III. 3.1.6. Caracterización termomecánica.

Se realizaron ensayos de temperatura de reblandecimiento VICAT y temperatura de flexión bajo carga (HDT), El equipo utilizado fue Vicat/HDT modelo VHDT 20 (Metrotec S.A., San Sebastián, España). Para la determinación de la temperatura de reblandecimiento se realizó el procedimiento según la norma UNE-EN ISO 306, empleando el método B50, aplicando una fuerza de 50 N a una velocidad de calentamiento de 50°C/h. Para la determinación de la temperatura HDT se han respetado las indicaciones de la norma UNE-EN ISO 75-1, siendo las dimensiones de las probetas utilizadas (4x10x80 mm), y la distancia entre apoyos (60 mm), el cálculo de la fuerza a aplicar daba como resultado un valor de 320 gr. La velocidad de calentamiento aplicada ha sido de 120°C/h.

III. Desarrollo del proyecto.

III. 3.1.7. Water Up-take.

La cinética de absorción de agua de los diferentes compuestos se obtuvo después de un periodo de 8 semanas. Para ello muestras de 4x10x80 mm de los diferentes compuestos fueron sumergidas completamente en agua destilada a $23 \pm 1^\circ\text{C}$. Las muestras se retiraban del agua semanalmente, se eliminaba toda el agua superficial, se limpiaban con un paño seco y se pesaban con una balanza analítica de $\pm 0,1$ mg.

III. Desarrollo del proyecto.

III.4.4. Resultados y discusión.

III.4.4.1. Propiedades térmicas.

- DSC

En la siguiente tabla se aprecian, los resultados proporcionados por el ensayo DSC.

Muestras	DSC					
	Tg (°C)	ΔH_c (J/g)	Tc (°C)	ΔH_m (J/g)	Tm (°C)	Xc (%)
PLA	62,7	12,5	96,3	34,4	169,6	27,2
PLA+2,5%AESO	60,7	30,4	108,	33,1	171,1	6,8
PLA+5%AESO	61,5	24,9	98,8	42,1	171,6	23,5
PLA+7,5%AESO	59,9	26,7	101,5	34,0	169,8	9,9
PLA+10%AESO	59,3	26,6	100,8	38,2	169,3	17,7

Tabla III. 2 Propiedades térmicas obtenidas del DSC.

Lo primero que vemos al observar los resultados de la (Tabla III.2), es que la incorporación del plastificante al PLA, provoca una disminución en la Tg del material. Esta disminución es mínima ya que la mayor diferencia que encontramos que es la existente entre el PLA y el PLA+10%AESO es de unos 3 °C.

III. Desarrollo del proyecto.

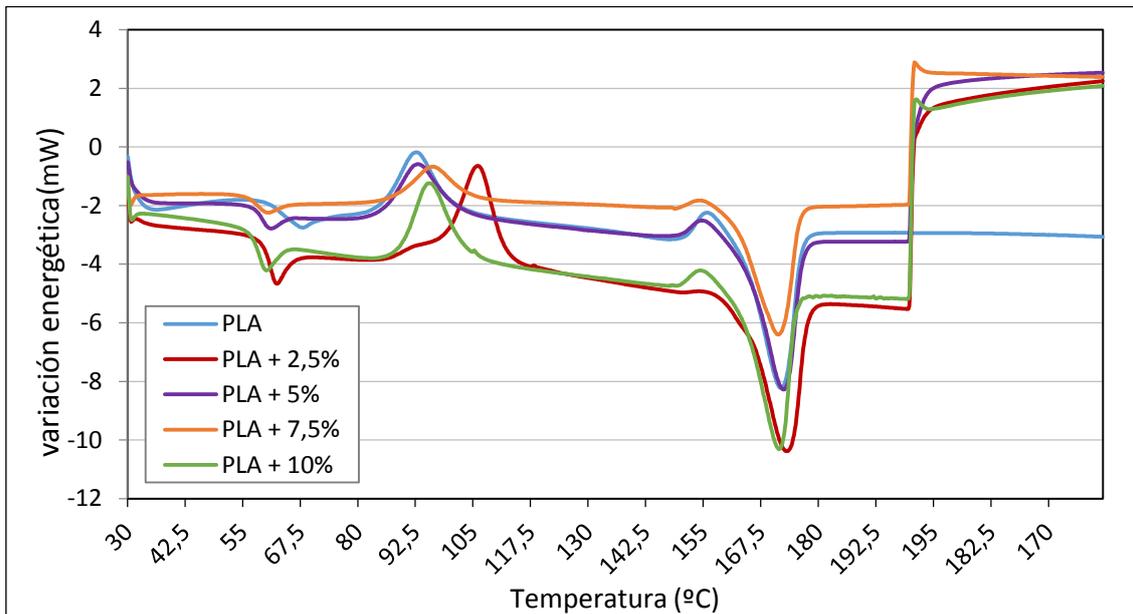


Figura III. 11 Gráfica de con resultados DSC de 30° a 170°.

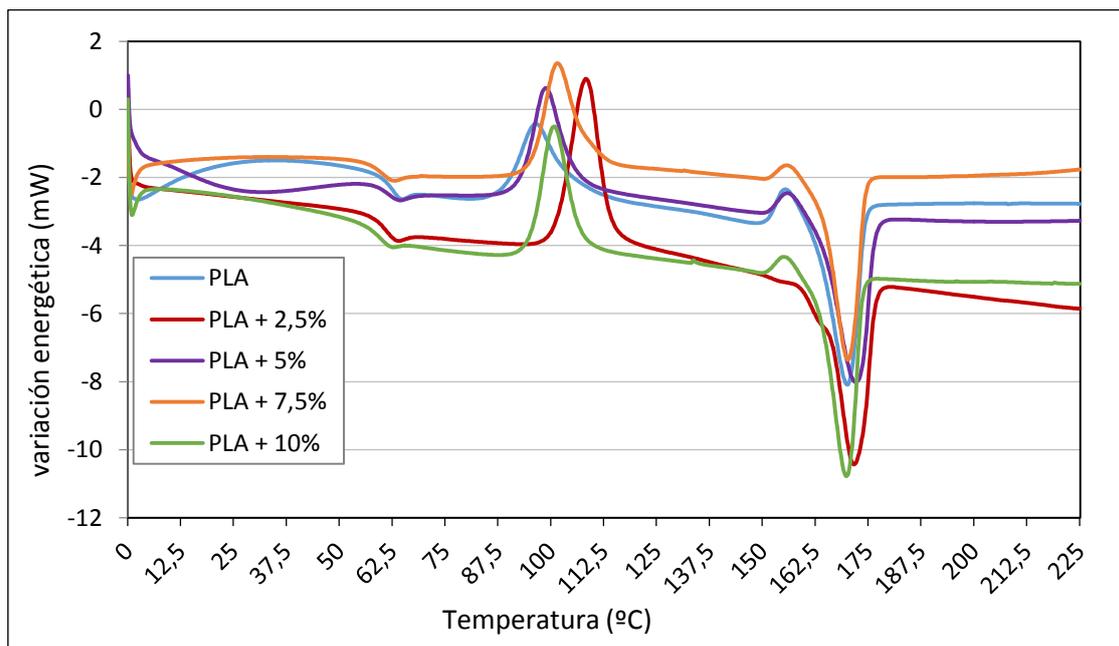


Figura III. 12 Gráfica con resultados DSC de 0° a 225°.

Este punto queda corroborado por los **GRÁFICOS** los cuales corresponden a los dos incrementos de temperatura del programa térmico siendo el segundo el más importante por no tener historia térmica. En ambos se aprecia como el PLA aparece con la Tg a una temperatura superior (más desplazada a la derecha) respecto a los

III. Desarrollo del proyecto.

demás elementos y pese a que la variación en la cantidad total de AESO para cada mezcla es muy pequeña, se aprecia una tendencia a disminuir la temperatura de reblandecimiento a medida que incrementamos este porcentaje.

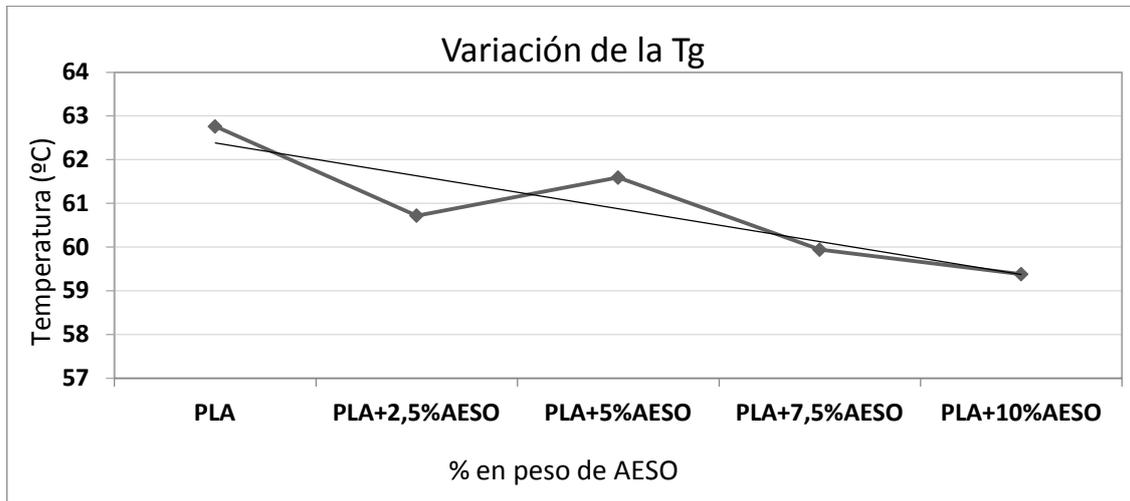


Figura III. 13 Variación de la Tg Respecto al incremento de % de AESO.

Exponer la pieza a una temperatura relativamente alta, ya que en diferentes condiciones un dispositivo móvil puede alcanzar este tipo de temperaturas, ya sea por un mal funcionamiento de la batería, o simplemente por estar expuesto al sol. Estas temperaturas podrían alcanzar 70°C en algunas partes del dispositivo. Podemos suponer que la respuesta sería similar sea cual sea el material de los estudiados el que forme la carcasa. Según los datos obtenidos, podría darse el caso de que el producto se viera sometido a un esfuerzo como una caída, soportando temperaturas superiores a la Tg. No obstante la diferencia máxima es de unos 3°C por lo que no representa una diferencia significativa.

Algo que también se observa en la (Tabla III.2), es el del porcentaje de cristalinidad que obtenemos en cada mezcla. En los resultados obtenidos se observa una gran variación en los datos de cristalinidad, por lo que el valor en sí de cada muestra no resulta demasiado convincente, no obstante si se traza la línea de tendencia como en el (Figura III.16), esta tiende a disminuir el porcentaje de cristalinidad en la medida que se incrementa el de AESO.

III. Desarrollo del proyecto.

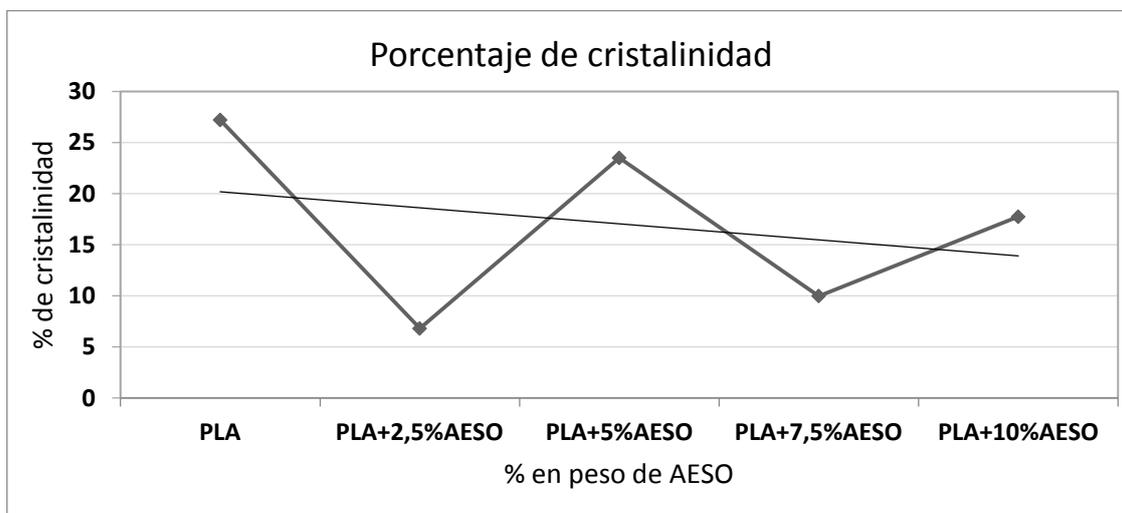


Figura III. 14 Variación del % de cristalinidad respecto a incremento de % de AESO.

III. Desarrollo del proyecto.

- TGA

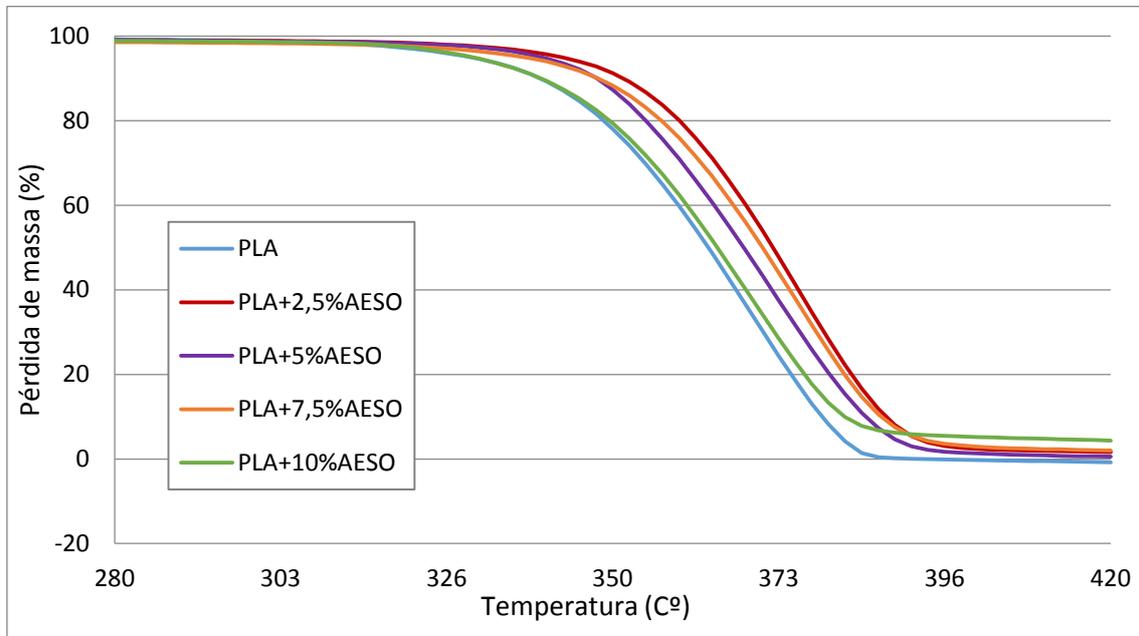


Figura III. 15 Gráfica de resultados TGA.

El ensayo TGA, muestra la pérdida de masa que se produce en una muestra a medida que se incrementa la temperatura. Como se aprecia en la **figura III.18** hasta alcanzar prácticamente los 300°C, no existe ninguna pérdida de masa, por lo que para el uso de la pieza que se pretende diseñar, no existe ningún problema en este aspecto puesto que el rango de temperaturas en el que se puede encontrar la pieza durante su utilización está notablemente por debajo de este límite.

III. Desarrollo del proyecto.

III.4.4.2. Propiedades mecánicas.

En la tabla 3, se recogen los resultados obtenidos sobre las propiedades mecánicas de las diferentes mezclas de base PLA y AESO.

Muestras	E tracción (MPa)	σ tracción (MPa)	E flexión (MPa)	σ flexión (MPa)	Dureza Shore	Charpy (J/m ²)
PLA	1972,3	65,9	3382,0	93,7	88	20,7
PLA+2,5% AESO	2110,7	64,4	3361,8	99,7	81,6	25,7
PLA+5% AESO	2122,9	64,5	3337,9	99,7	79,6	26,9
PLA+7,5% AESO	2143,6	63,7	3641,4	101,4	78,2	31,7
PLA+10% AESO	2189,2	59,7	3558,5	100,7	78,5	35,8

Tabla III. 3 Resultados de las propiedades mecánicas de tracción y flexión de polímeros con base PLA modificados con diferentes porcentajes de AESO.

Sobre los resultados obtenidos, según se observa en la tabla, se aprecia como el módulo de Young de tracción a medida que se añade más cantidad % de AESO sigue una clara tendencia decreciente, entre 2.4% y un 9.5%, pasando de 65,9 MPa del PLA a 59,7 del PLA+10% AESO, la resistencia a la tracción (**Tabla III.3**) va aumentando entre un 7% y un 11% pasando de 1972,3 MPa del PLA a 2189,2 MPA del PLA+10%AESO una diferencia de 216,9 MPa de incremento , es decir, que lo que estos resultados nos empiezan a indicar que la adición de AESO, aporta a la mezcla características dúctiles, siendo a priori un resultado buscado de la adición de un agente plastificante .

III. Desarrollo del proyecto.

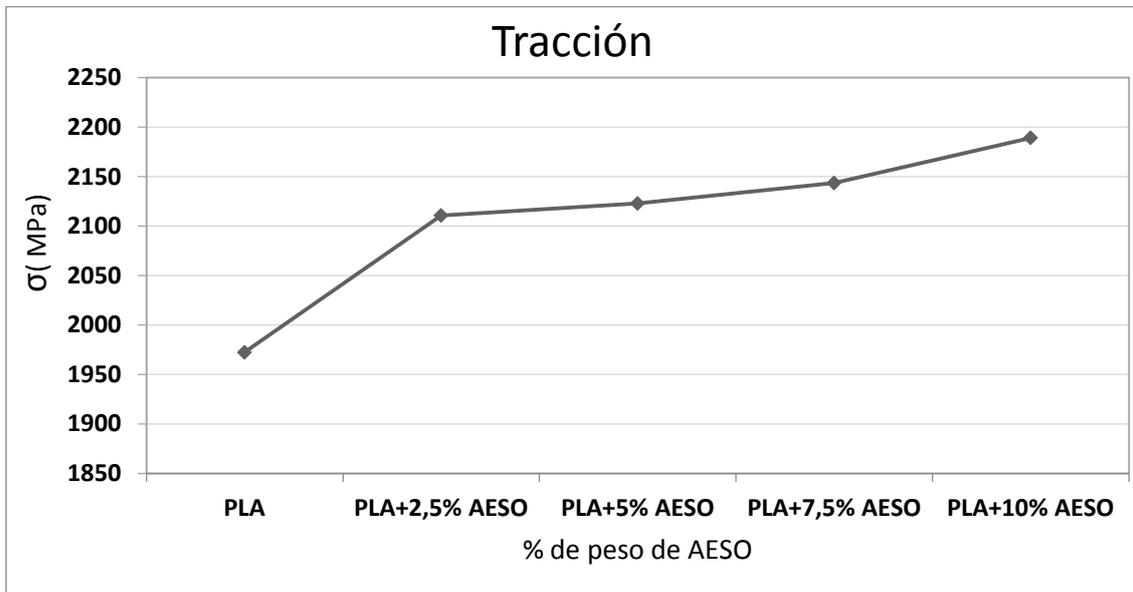


Figura III. 16 Variación de σ con el incremento de % de AESO.

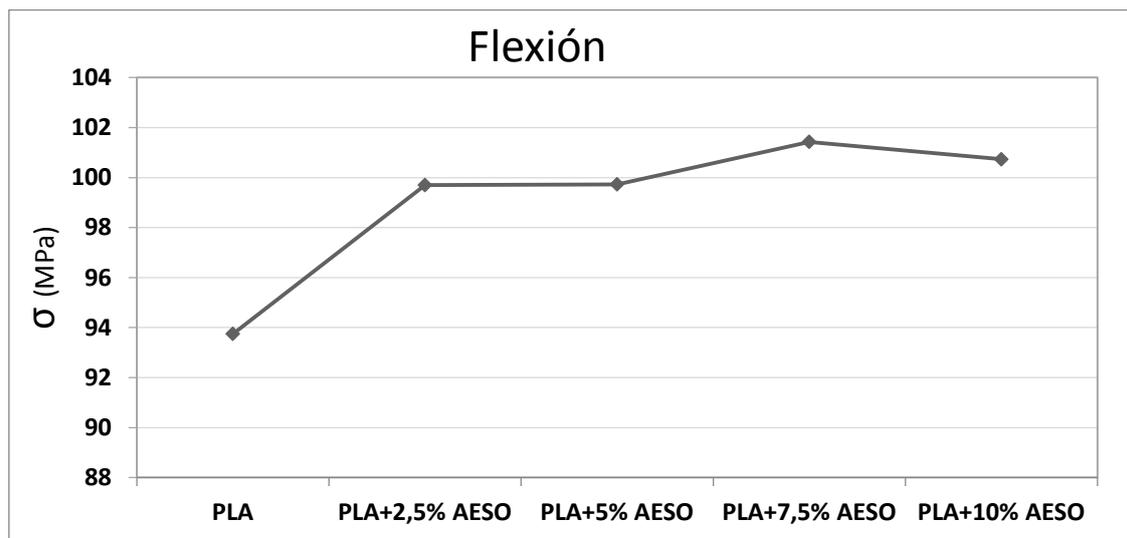


Figura III. 17 Variación de resistencia a flexión con el incremento de % de AESO.

Los resultados de flexión siguen una tendencia similar, La resistencia a la flexión (Figura III.17) mejora (6,34%-7,44%) y el modulo de Young decrece (0,59%-5,2%) pasando de 93 MPa del PLA a 100 MPa del PLA+10%AESO. Los resultados del ensayo de Flexión complementan la información extraída con el ensayo de tracción por que nos están indicando una mayor capacidad de flexión del material con el incremento de AESO.

III. Desarrollo del proyecto.

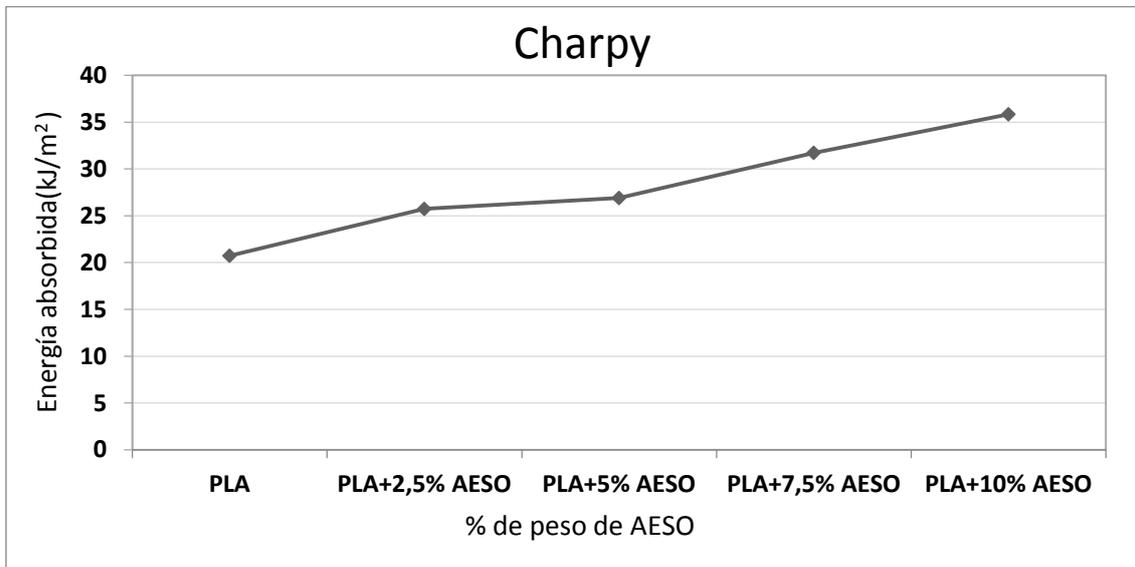


Figura III. 18 Variación de la energía absorbida por método Charpy con el incremento de % de AESO.

La información que nos proporciona el ensayo Charpy (Figura III.18) nos indica que la capacidad de absorción de energía de los materiales aumenta en medida que aumentamos también el porcentaje de AESO, pasando de unos 20 (KJ/m²) del PLA hasta pasados los 35 (KJ/m²) del incremento de AESO en un 10%.

Siendo la variación de esta capacidad de entre un 24% y un 72% como máximo, este resultado si parece más representativo pues resulta un gran incremento en la capacidad de absorción de energía ante un impacto, cuestión que se buscaba al introducir AESO en la mezcla, puesto que cuanto mayor cantidad de energía sea capaz de absorber el material del que está compuesta la funda, menos impacto recibirá el dispositivo. Hay que decir que esta absorción debe de tenerse en cuenta a la hora de elegir el material, puesto a que la estructura de la funda no se debe de deformar en exceso hasta cierto margen, a partir del cual la funda dejaría de cumplir su función.

III. Desarrollo del proyecto.

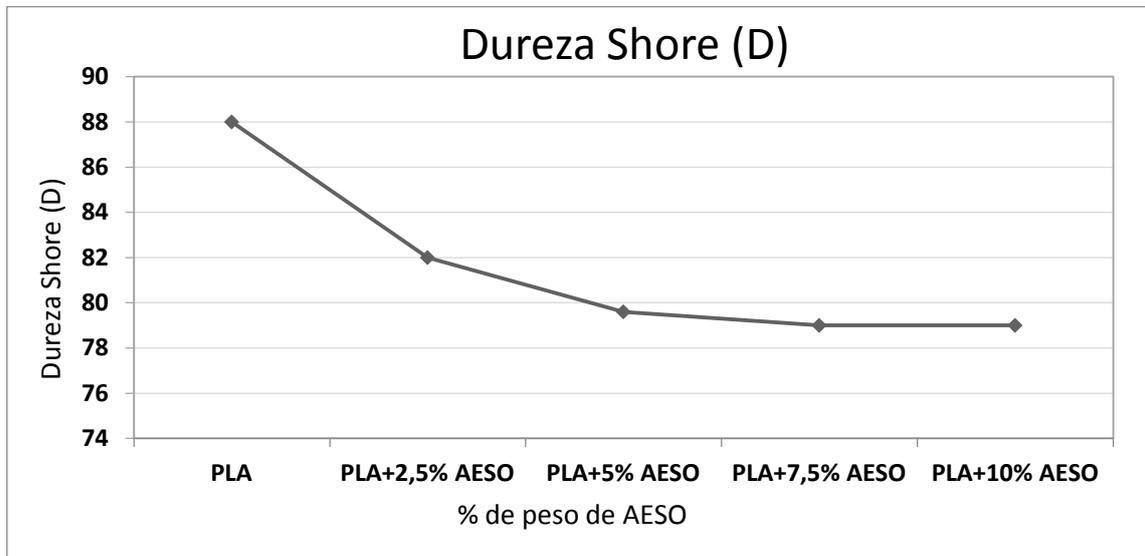


Figura III. 19 Variación de la dureza Shore(D) con el incremento del % de AESO.

Respecto al ensayo de dureza, los resultados siguen la misma tendencia que los demás, pues la dureza tiende a disminuir a medida que aumentamos el porcentaje de AESO, se aprecia una gran disminución con la adición de AESO en un primer momento (2,5%), no obstante esta se estabiliza con el aumento del % de AESO (5% y 7%), aunque como ya se ha comentado, esta disminución debe de controlarse para que se encuentre un equilibrio entre la absorción de energía y la dureza del material para poder mantener su estructura y seguir cumpliendo su función, ya que el espesor de la pieza no permite la inclusión de una gran cantidad de material entre el dispositivo y un hipotético sólido contra el que se produzca una colisión.

Llegados a este punto por lo que respecta a los ensayos mecánicos, si analizamos la información de todos ellos, la adición de AESO al PLA, en efecto cumple su función como plastificante sin empobrecer las otras propiedades y conseguimos así un material con las propiedades dúctiles buscadas.

III. Desarrollo del proyecto.

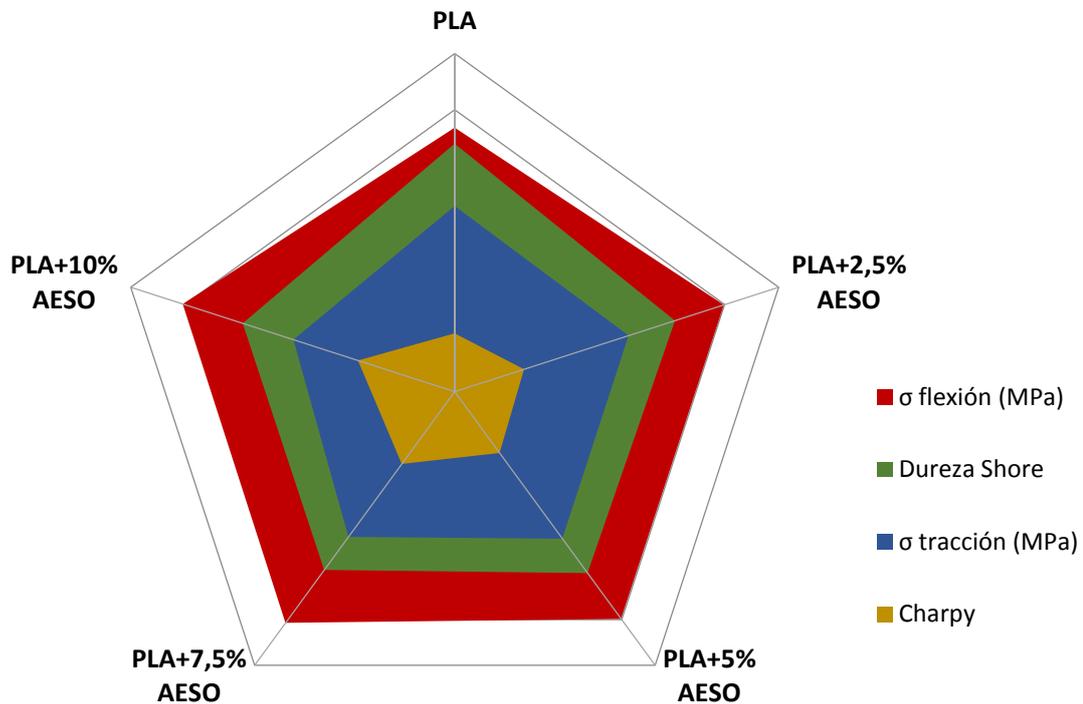


Tabla III. 4 Resumen de propiedades mecánicas de polímeros con base de PLA y diferentes mezclas de AESO.

En la **Tabla III.4** se observa cómo el PLA +10% de AESO tiene una gran influencia en la capacidad de absorción de energía ante impacto respecto a todos los demás, y como la dureza del PLA también resulta mayor. Vemos también una gran influencia de la adición de PLA en la σ de flexión en cómo va aumentando a la par con el % de AESO y como ocurre lo contrario con la tracción. En conclusión esta tabla nos muestra un resumen de lo anteriormente comentado y según se aprecia en la **Tabla III.4**, podemos concluir que los ensayos de naturaleza mecánica indican que el incremento de porcentaje de AESO en la mezcla con base PLA aumentan las propiedades dúctiles del material, siendo desde un principio este resultado el buscado, pues el PLA resultaba demasiado rígido y de comportamiento frágil para la finalidad del diseño.

III. Desarrollo del proyecto.

III.4.4.3. Caracterización termomecánica.

- VICAT

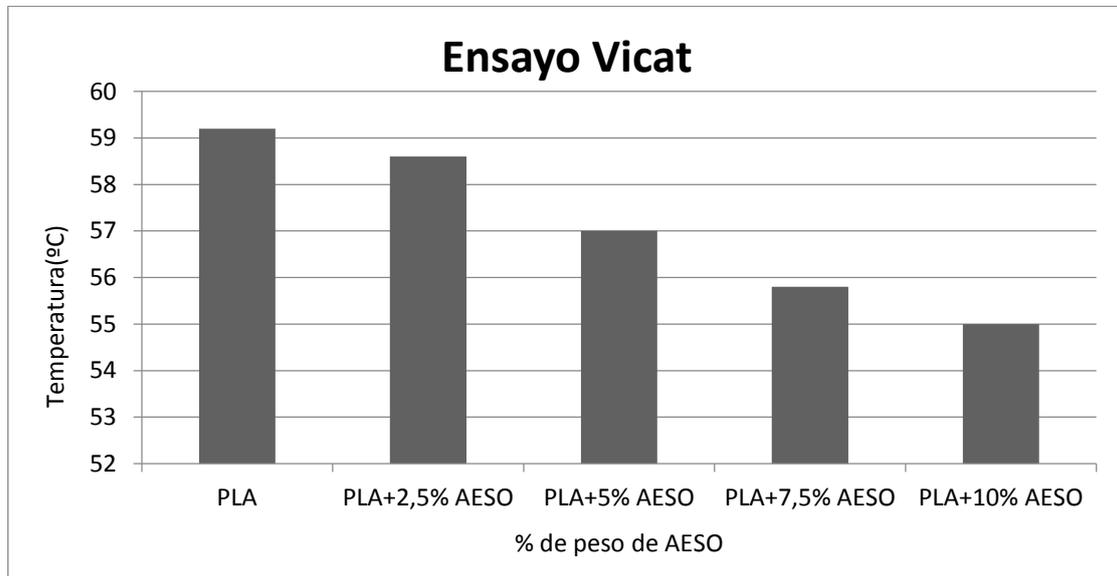


Figura III. 20 Resultados ensayo Vicat.

Según se observan los resultados de la temperatura de reblandecimiento Vicat, muestran una situación similar a la que obteníamos al analizar la Tg, es decir que al añadir AESO, disminuye la temperatura a la que el material empieza a reblandecerse bajo la acción de una carga.

III. Desarrollo del proyecto.

- HDT

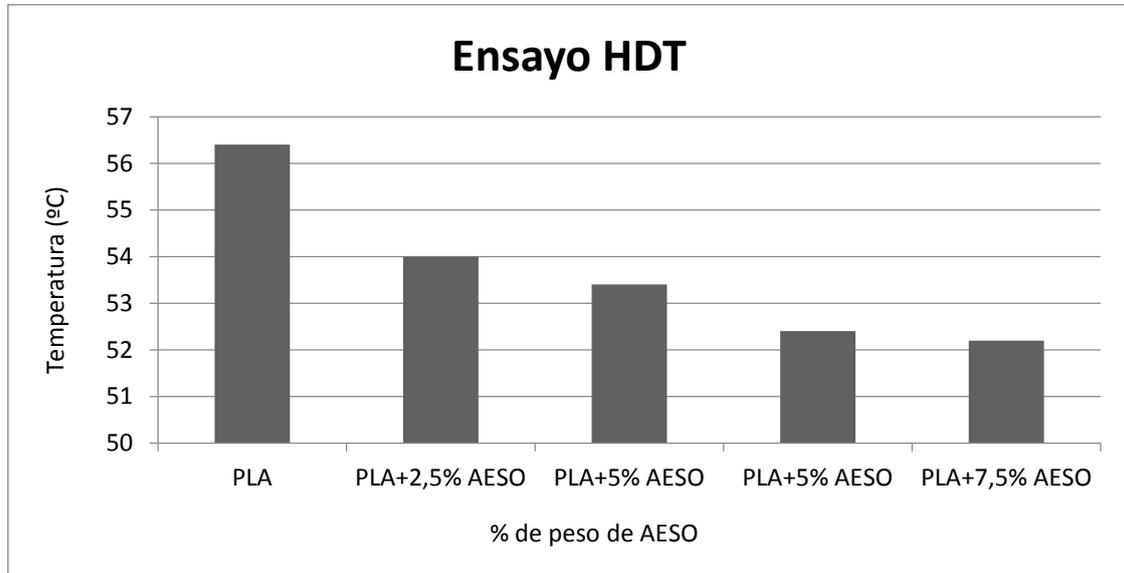


Figura III. 21 Resultados ensayo HDT.

Los resultados que nos proporciona el ensayo HDT, siguen la misma dirección que el ensayo VICAT, nos indican que a medida que incrementamos el porcentaje de AESO, la temperatura de flexión bajo carga. Esta información nos resultará útil ya que el rango de temperaturas del estudio se acerca al posible máximo de temperaturas en las que puede trabajar un dispositivo móvil. Ya que a la hora de elegir finalmente un material para fabricar la pieza se deberán de tener en cuenta tanto las propiedades mecánicas como termomecánicas.

III. Desarrollo del proyecto.

III.4.4.5. Water Up-take.

Muchos de los dispositivos móviles que están a la venta hoy en día se pueden sumergir en el agua sin ningún problema, por tanto se debía verificar la capacidad de absorción que tenían los materiales estudiados.

Los resultados del ensayo se muestran en el (Figura III.22), donde aparecen los resultados del incremento porcentual de peso de las probetas semana a semana.

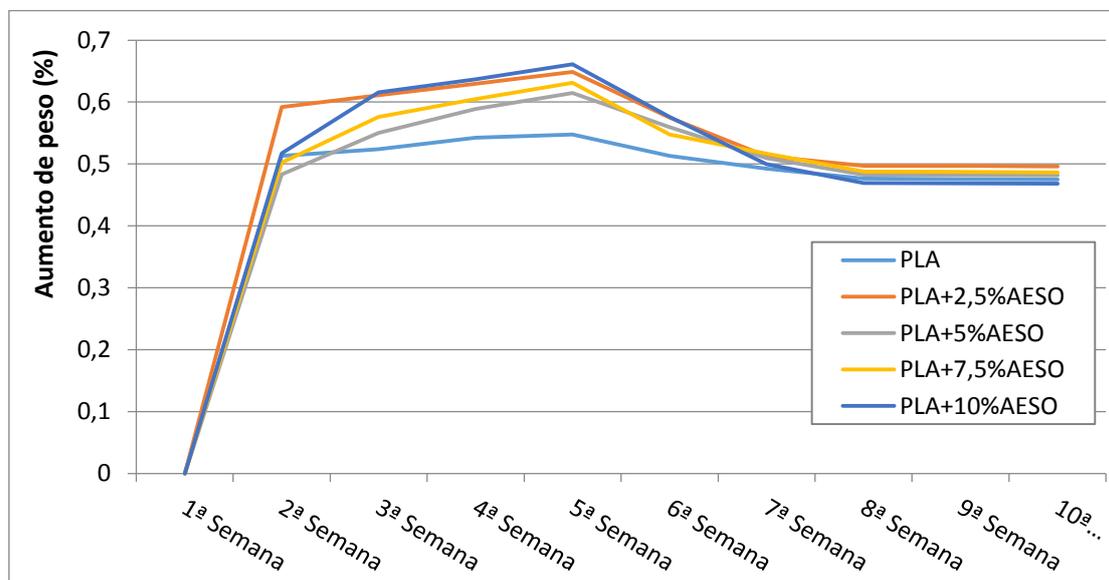


Figura III. 22 Resultados Water Up-take.

El comportamiento general ensayo de todos los materiales durante el transcurso del ensayo ha sido similar, un rápido incremento durante las dos primeras semanas tras lo cual se observa una pendiente más moderada que finaliza en el máximo incremento durante la 5ª semana, en este punto el incremento de peso disminuye hasta estabilizarse entre un 0,45 y un 5% semanal.

Particularmente según muestra el gráfico, observamos que semanalmente el material cuyo porcentaje menos crece es el de PLA y el que suele crecer más corresponde al PLA+10%AESO, además también se aprecia que hay una pequeña distancia entre el PLA y los demás materiales que incorporan AESO, lo que quiere decir que la incorporación de AESO aumenta la cantidad de agua que absorbe el material.

III. Desarrollo del proyecto.

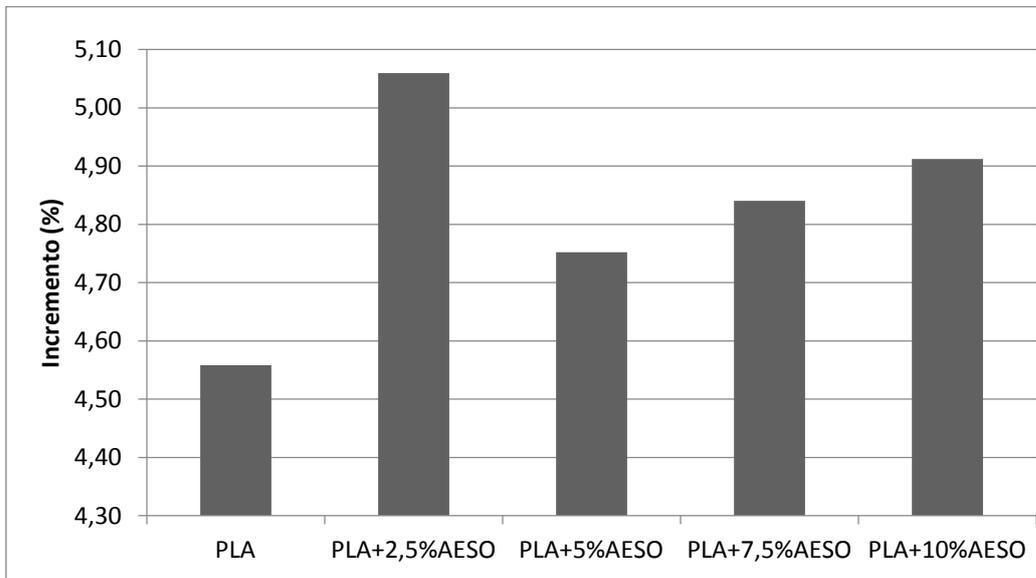


Figura III. 23 Variación Water Up-take segun el incremento de % AESO.

En el **figura III.23** se observa el aumento total de peso que han tenido las probetas tras 10 semana de ensayo, a parte del resultado del PLA+2.5%AESO que ha sido el material que más ha crecido, los demás muestran un aumento casi perfecto según el cual cuanto más aumentamos la cantidad de AESO, proporcionalmente también crece el porcentaje de agua absorbida. Este hecho vendría a reforzar la hipótesis anterior que decía que estudiando el incremento semanal parecía haber una tendencia según la cual el AESO influye en la cantidad de agua que absorbe el material.

Tiene sentido en este punto, proceder a la parte de simulación que nos indicara según el diseño realizado, cuál de las mezclas analizadas de PLA y AESO resulta más óptima para poder conseguir lo que anteriormente se ha comentado, de obtener una pieza capaz de absorber una cantidad máxima de energía sin comprometer otras propiedades que permitieran una deformación no deseada. La cuestión es buscar un equilibrio entre ambas para que el diseño que sea capaz de cumplir con su función de la forma más eficaz.

III. Desarrollo del proyecto.

III.4. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

III.4.1. Modelo FEM proyecto.

Tras la realización de los ensayos nombrados en anteriores apartados, se dispone de toda la información que el programa de simulación requiere para poder definir cada material.

La metodología seguida ha sido la siguiente; en primer lugar se ha realizado un ensamblaje de ambas piezas, de la recreación del dispositivo y de la carcasa protectora que se ha diseñado.

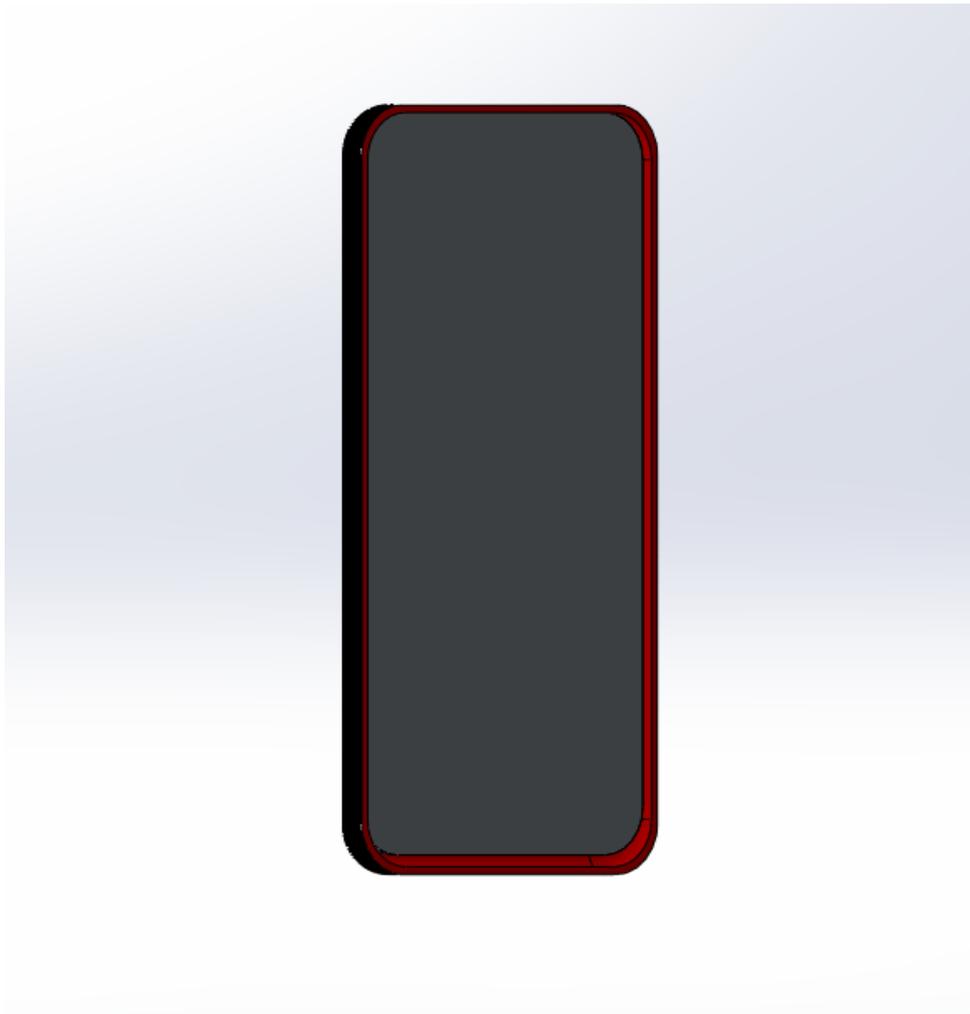


Figura III. 24 Ensamblaje de dispositivo móvil y protección

III. Desarrollo del proyecto.

Posteriormente se ha procedido a realizar las simulaciones, primero las simulaciones de caídas y posteriormente el estudio térmico.

Para las simulaciones de caídas, el procedimiento seguido ha consistido en definir diferentes ángulos de caída y a continuación realizar una caída de un metro de altura para cada ángulo y cada material estudiado, posteriormente se ha realizado un pequeño estudio de los datos obtenidos, ya que el programa permite extraer los datos para cada punto de la superficie. Para este estudio se han volcado los datos en un programa de hojas de cálculo y se han realizado diferentes análisis..

III.4.1.2. Modelo FEM, resultados simulación de caídas.

Como se ha comentado anteriormente los datos obtenidos han sido tratados con la finalidad de realizar un análisis, el cual nos indique que material es el más idóneo o responde mejor ante los esfuerzos a los que puede ser sometido.

Estos estudios nos permiten también realizar una comparación con la simulación realizada al dispositivo móvil anteriormente, y apreciar cuales son los cambios al incluir una protección.

III. Desarrollo del proyecto.

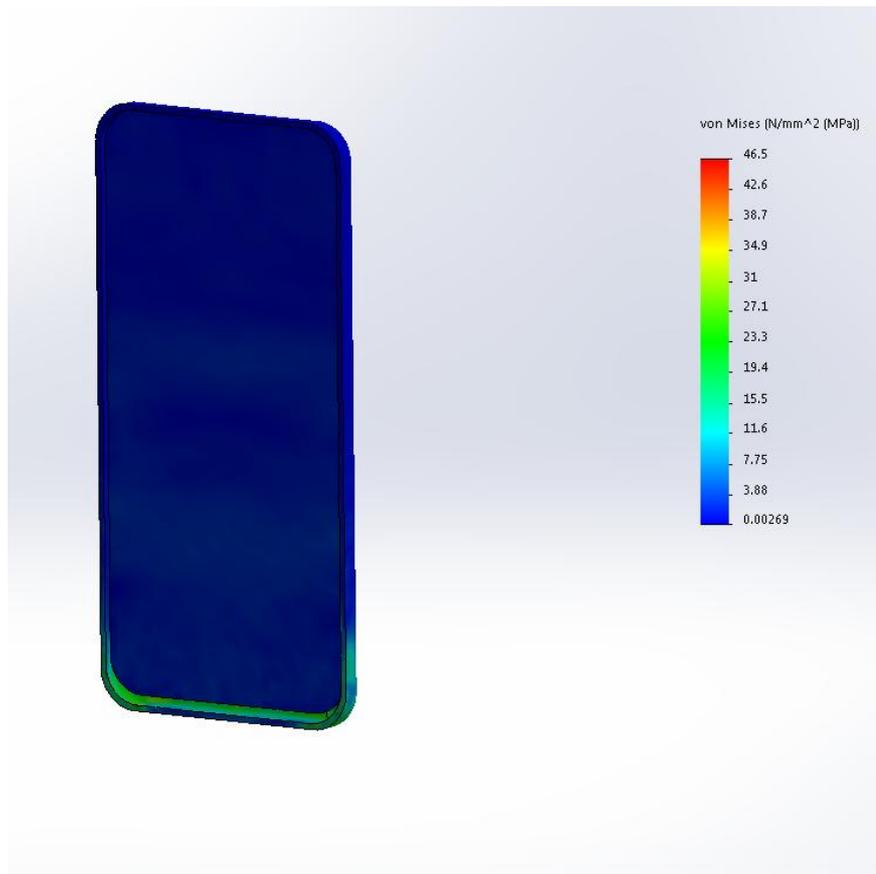


Figura III. 25 Tensiones producidas tras caída de PLA+5%AESO con inclinación de 0°.

Si observamos la imagen superior, se aprecia que concretamente esta simulación corresponde a una caída con el dispositivo totalmente vertical, en la cual toda la tensión se acumula en el borde inferior de la pieza, una de las peores situaciones posibles puesto que la superficie de contacto con el suelo es menor.

Sin embargo, se aprecia una gran disminución de tensión respecto a la misma simulación sin protección. Además, tal y como se pretendía, la energía es absorbida por la carcasa y la tensión que se transmite al dispositivo ha sido ampliamente amortiguada. De modo que el diseño y el material se comportan tal cual se había previsto. La cuestión en este punto es la de elegir cuál de todos los materiales registra un mejor comportamiento.

III. Desarrollo del proyecto.

III.4.1.2.1. Análisis de estados tensionales y deformaciones.

En este apartado se dividirán los resultados en dos partes, en primer lugar una serie de ensayos en los que la finalidad ha sido la de comprobar el correcto funcionamiento de la pieza diseñada mediante caídas desde diferentes orientaciones. Y en segundo lugar, la simulación de la misma caída pero en este caso la variación ha sido el tipo de material de la pieza, con la finalidad de obtener la mejor respuesta del grupo de materiales estudiados.

Tipo de caída	Media	Máximo
Sobre borde inferior	1,15	45,3
Sobre pantalla	5,93	46,4
Sobre el lateral	1,72	39,9
Sobre parte posterior	8,61	43,1
Desviación estándar	3,55	2,87

Tabla III. 5 Resultados simulación con diferentes orientaciones de caída.

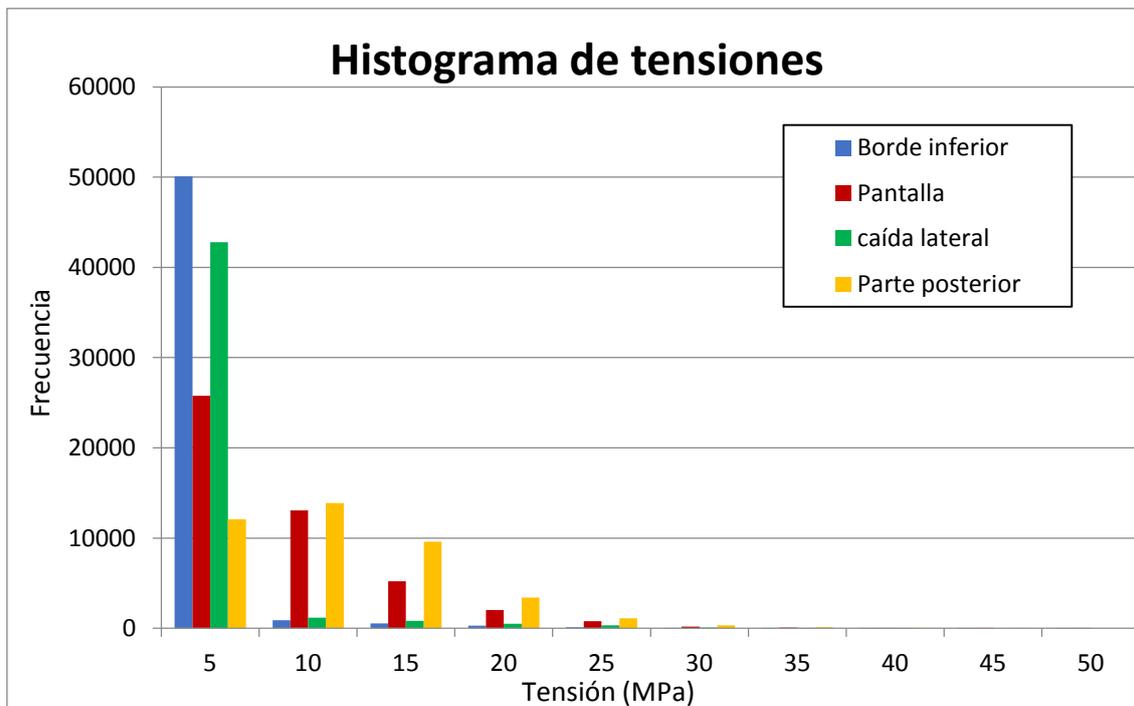


Figura III. 26 Histograma de tensiones de simulaciones con diferentes orientaciones de caída.

III. Desarrollo del proyecto.

Los resultados de la Tabla III.5 y la Figura III.26 nos proporcionan el análisis de los datos de todos los puntos de la superficie para cada caída. La información que proporciona histograma, cuadra con la realidad puesto que aquellas caída con una superficie de contacto menor, tienen una concentración de puntos mucho menor en el rango de valores entre 0-5, 5-10 y 10-15 MPa, pero por otra parte tienen unos valores máximos mayores, es decir, que toda la energía en vez de repartirse por una zona amplia de contacto, queda concentrada en una zona más pequeña. La única excepción ha sido la caída sobre la parte posterior, este hecho se puede explicar ya que en teoría sería la caída con mas contacto con la superficie, pero el resultado obtenido se produce debido a que las zonas más sensibles a una acumulación de energía han sido reforzadas con una sección con un diámetro un poco mayor.

Respecto a la respuesta proporcionada por la pieza, todos los resultados muestran valores dentro de lo esperado, ninguno supera el límite elástico del material, y tenemos el mayor valor máximo con 46,4 MPa con una desviación estándar inferior a 3 para el resto de valores. Así que la evaluación del diseño respecto a la actuación ante golpes o caídas resulta acertada ante las condiciones que proporcionaba el fabricante.

Vamos a estudiar ahora el comportamiento que ha tenido cada material para una misma prueba, la metodología empleada ha sido la siguiente, se ha elegido una caída común que en este caso corresponde a la caída sobre el borde inferior del ensamblaje y la única variación ha sido el tipo de material, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

III. Desarrollo del proyecto.

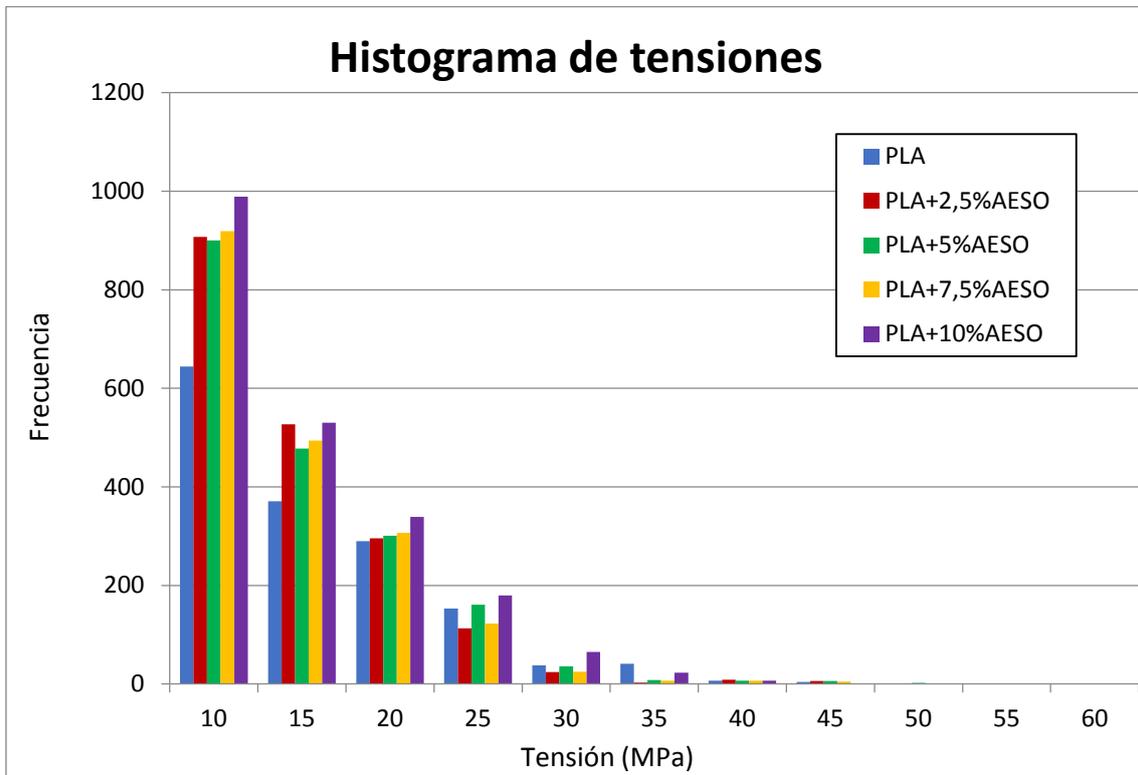


Figura III. 27 Histograma de tensiones para diferentes materiales.

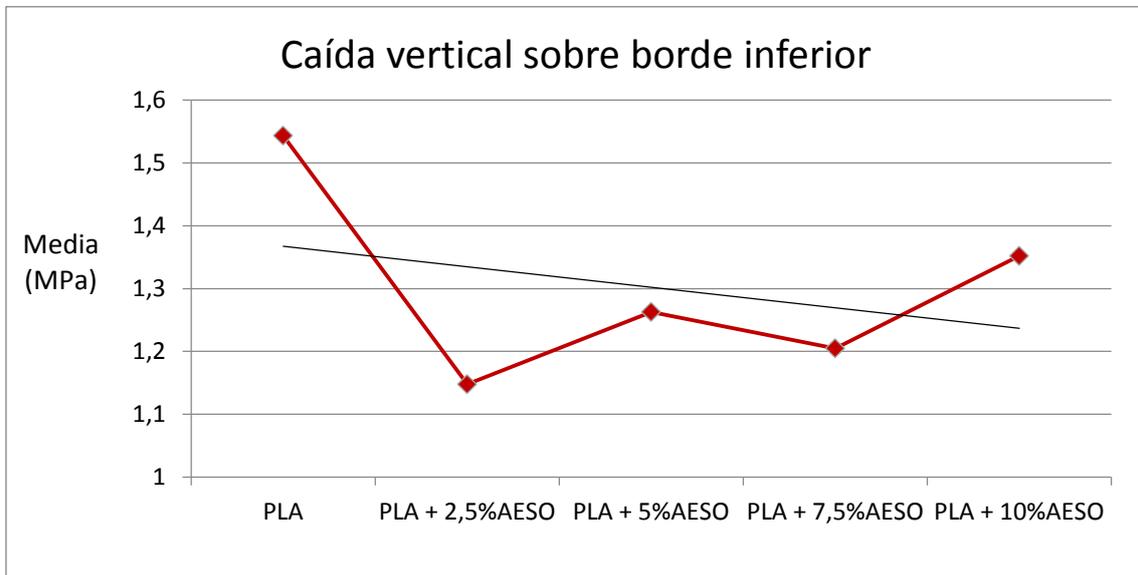


Figura III. 28 Variación de la media para diferentes materiales.

III. Desarrollo del proyecto.

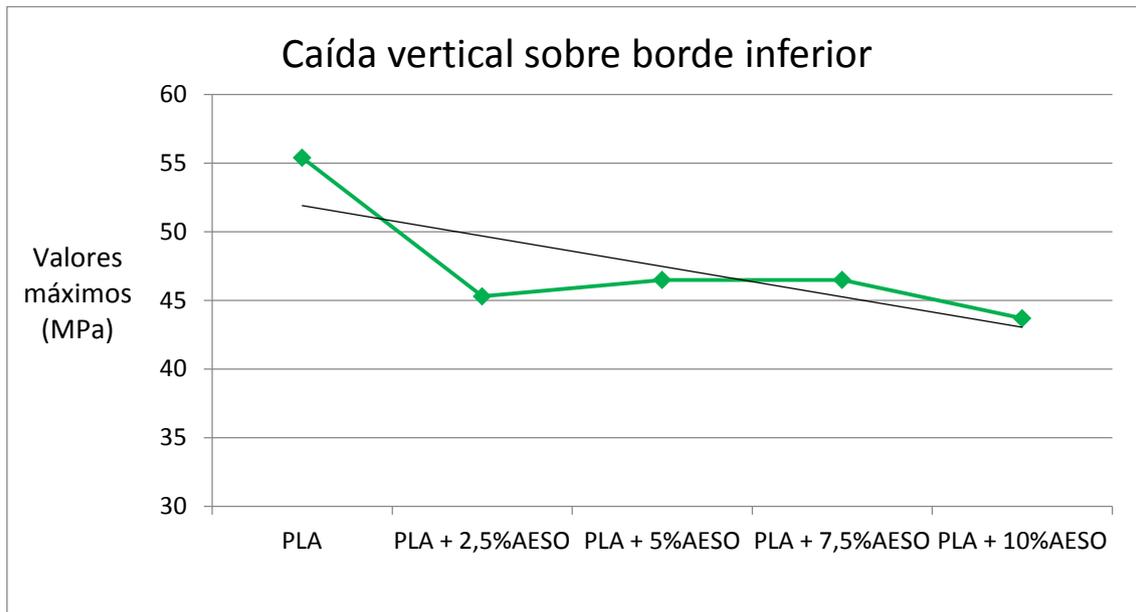


Figura III. 29 Variación del valor máximo para diferentes materiales.

En primer lugar vamos a analizar el histograma, el cual nos muestra una variación de valores similar para cada rango, este hecho no está producido por otra razón que por la elección de mallado que ha proporcionado diferente número total de puntos para cada solución, pero como ya se ha comentado, la variación en la frecuencia para los diferentes rangos es similar. La información más importante se proporciona en las figuras III.28 y III.29, donde vemos la evolución de la reacción de el incremento de porcentaje de AESO que se produce en la respuesta de tensión. Como se aprecia en ambos gráficos el incremento de AESO produce una disminución en los valores medios y máximos como indican sendas líneas de tendencia. Lo que nos indica que efectivamente la incorporación de el aceite de soja epoxidado y acrilado mejora las características de absorción de energía.

III. Desarrollo del proyecto.

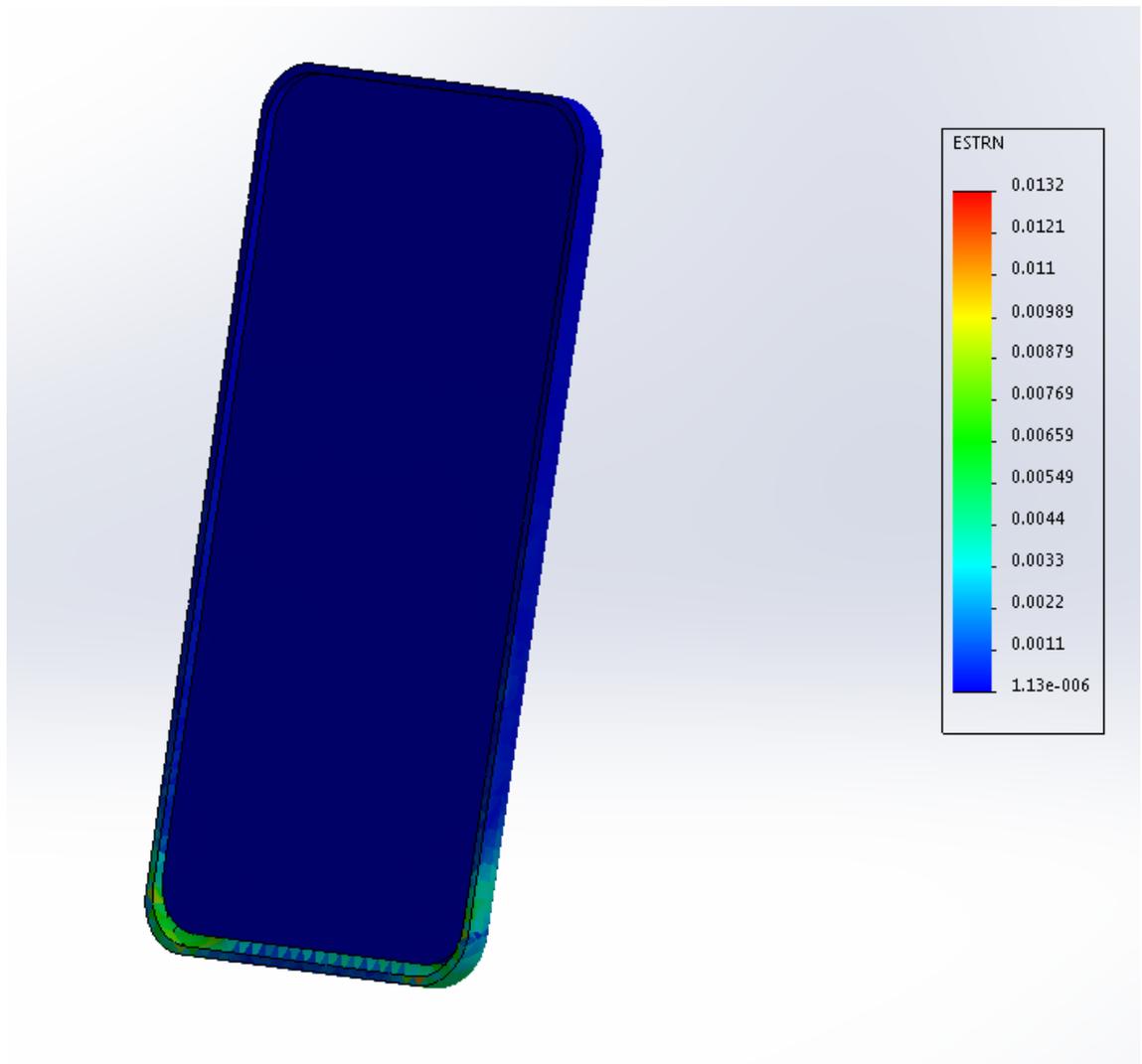


Figura III. 30 Deformación unitaria para la simulación PLA+2,5%AESO

Con lo que respecta a las deformaciones a continuación se presentan dos tablas que resumen los datos obtenidos de las simulaciones para diferentes materiales anteriormente comentados.

III. Desarrollo del proyecto.

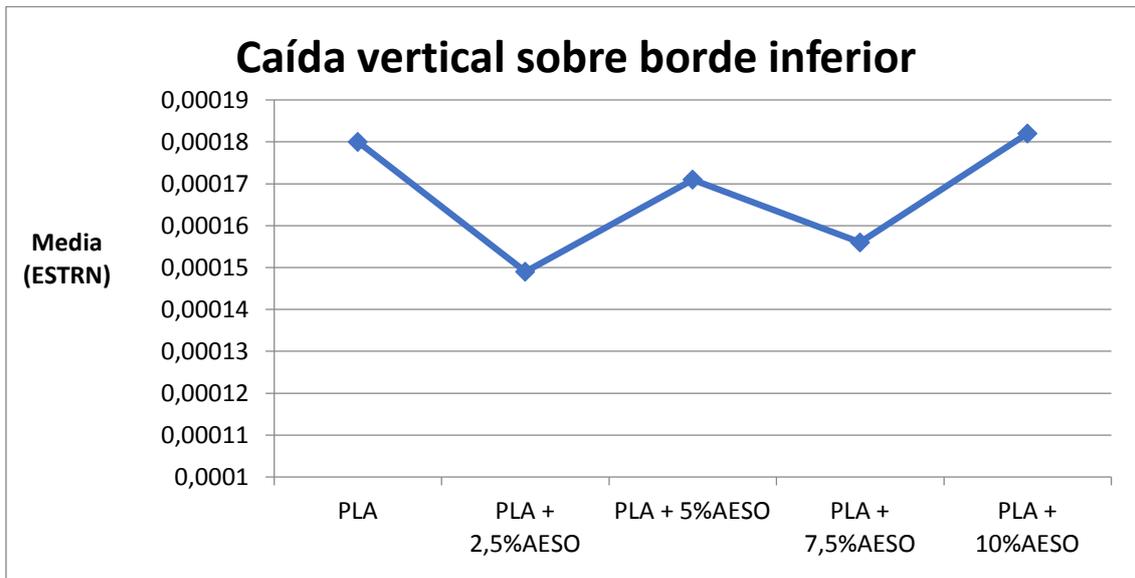


Figura III. 31 Variación de media de deformaciones para cada material.

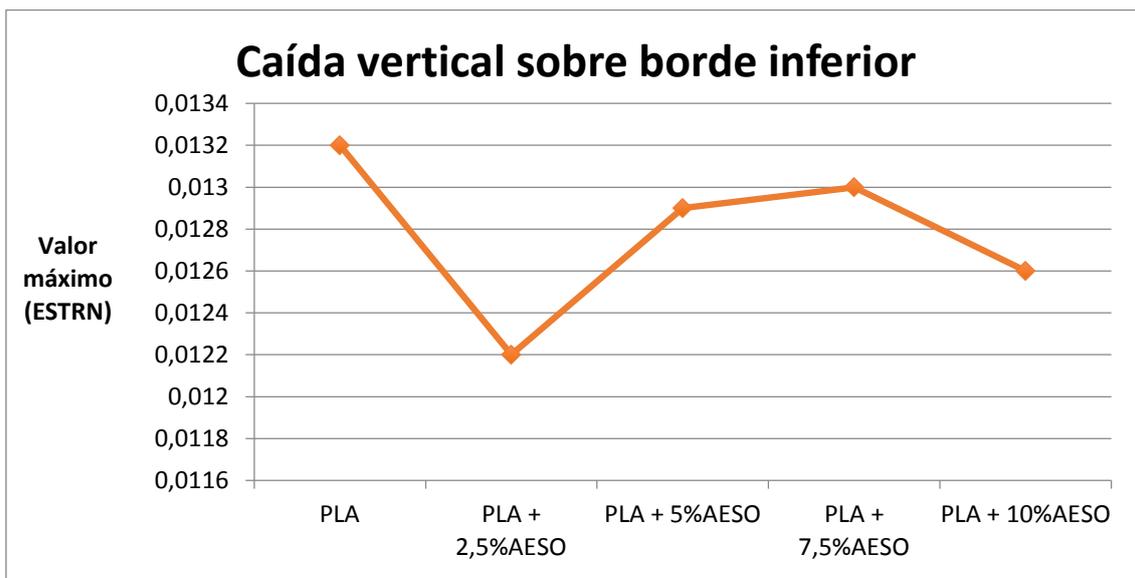


Figura III. 32 Variación de valores máximos de deformación para cada material.

Los resultados de deformación unitaria obtenidos indican que en este aspecto no presentan un problema, siendo valores muy moderados. Además como muestra la Figura III.30 estos quedan acumulados en el borde de la protección donde se produce el impacto, cumpliendo con la función de amortiguado del golpe y protegiendo el dispositivo.

Respecto a la variación presentada por cada material, tampoco representan una gran diferencia, como se observa en las figuras III.31 y III.32, no se observan grandes

III. Desarrollo del proyecto.

cambios que representen una variación significativa como para tener un gran peso en la elección final de un material u otro para el diseño. Si que se aprecia que en ambos gráficos el material que mejor responde, es decir, que menos deformación presenta es el PLA+2,5% de AESO.

En resumen, respecto a las simulaciones de caídas, en cuanto a forma y tamaño se dispone de un diseño que cumple con los requisitos que se tenían a priori, además todos los materiales han respondido de forma satisfactoria a las simulaciones realizadas, falta por concretar cuál es exactamente el que se adapta mejor a todos los requisitos. Hay que decir, que el material que mejor ha respondido ante los criterios de tensión/deformación, ha sido el PLA+2,5%AESO.

III.4.1.3. Resultados estudio térmico.

El estudio térmico que se ha realizado ha consistido en aplicar una carga térmica que proviene del dispositivo móvil. Este tipo de dispositivos suelen trabajar a temperaturas muy por debajo de la elegida, pero se han elegido 70°C para asegurar una respuesta adecuada en cualquier caso. Los resultados que nos proporciona el programa abarcan dos ámbitos, la interrelación de ambas piezas, ya que aunque la temperatura del móvil aumente alcanzando los 70°C, la temperatura de la carcasa permanece a una temperatura ambiente de 23°C. Y por otro lado, también se estudian las posibles deformaciones causadas por la temperatura.

III. Desarrollo del proyecto.

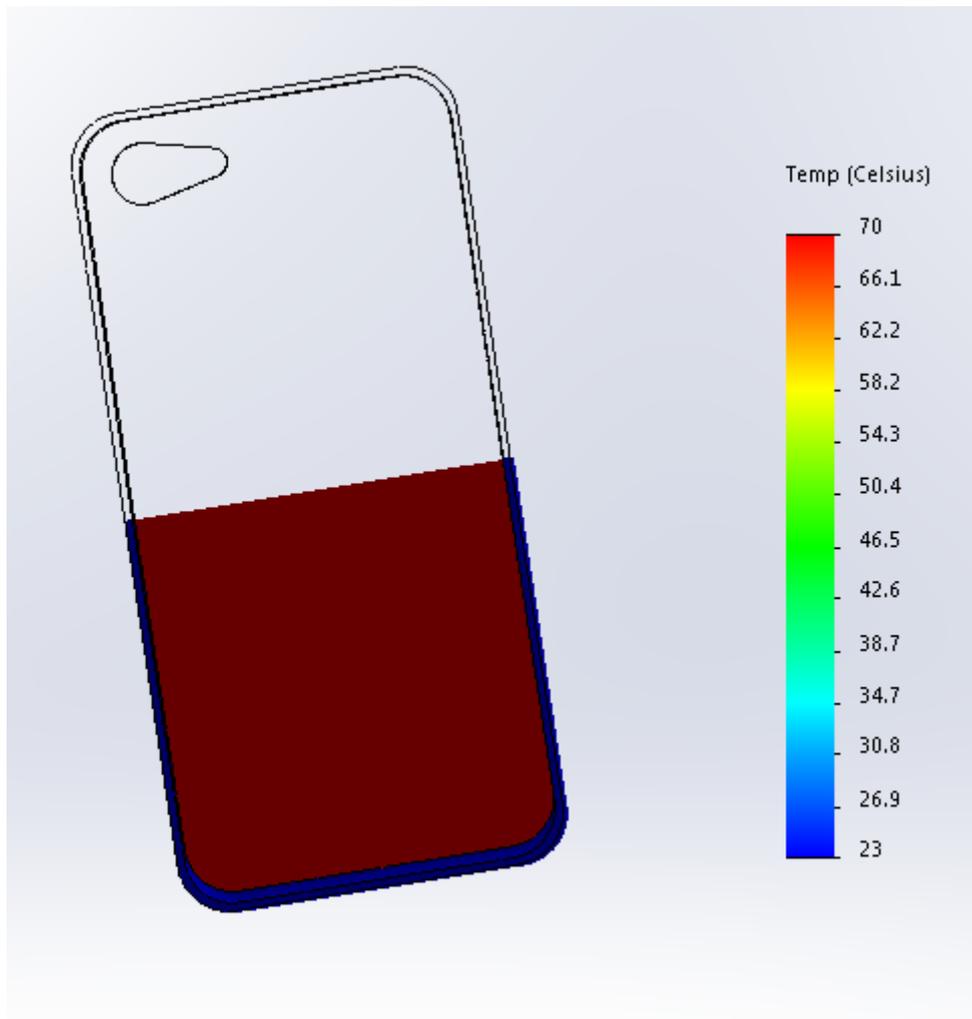


Figura III. 33 Resultado gráfico del estudio térmico proporcionado por el programa.

Como se observa en la Figura III.33 se ha realizado un corte en ambas piezas para poder observar cómo se afectan ambas temperaturas. A continuación se muestra un gráfico de esta sección vista desde la parte superior, donde se aprecian estos cambios.

III. Desarrollo del proyecto.

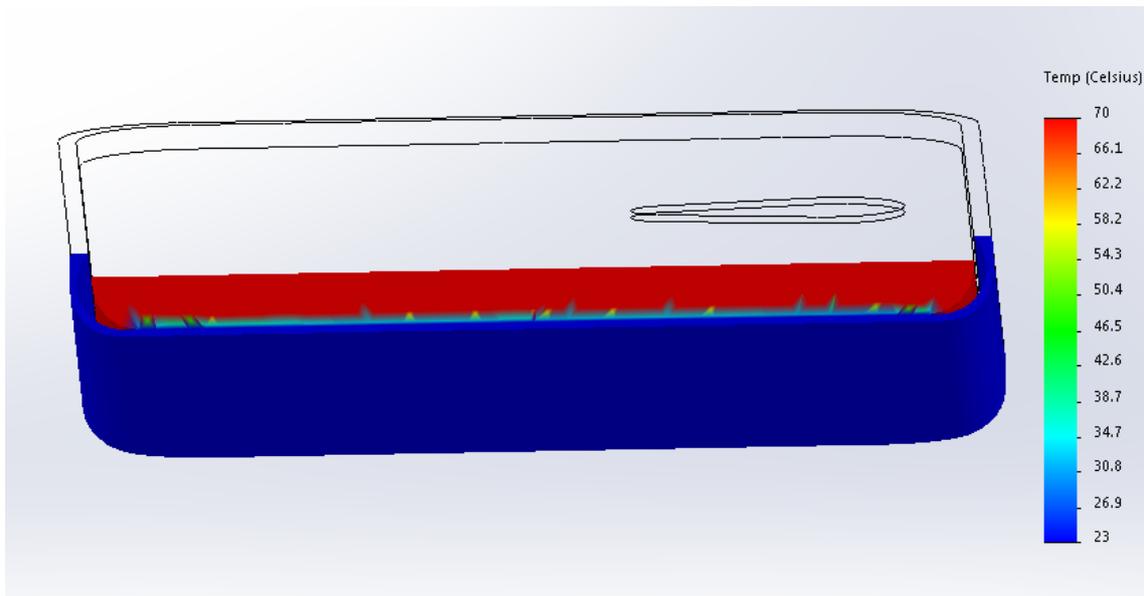


Figura III. 34 Sección del resultado del estudio térmico.

Como se observa en la Figura III.34, en la parte posterior es donde se acumula más temperatura, se produce un intercambio de temperatura entre ambas piezas, ya que en parte el PLA actúa como aislante y en un primer momento se alcanzarían entre 50 y 60 °C en la pieza de PLA, alcanzando la Tg del material que es un poco superior a los 60°C. Aunque como apreciaremos en la siguiente imagen:

III. Desarrollo del proyecto.



Figura III. 35 Resultados de desplazamientos en el estudio térmico.

La **Figura III.35** nos muestra lo que ya nos decía la teoría, que aunque se alcance la T_g , esto solo supone la temperatura de reblandecimiento y apenas se ha alcanzado, y no por ello deberíamos de encontrarnos necesariamente con un desplazamiento, de hecho como ya se ha comentado, la temperatura a la que se ha sometido la pieza en la simulación se ha exagerado y los dispositivos móviles disponen de sensores térmicos que limitan su funcionamiento a unos 45 o 50°C con la finalidad de auto protegerse.

III. Desarrollo del proyecto.

III.5. DISEÑO FINAL.

A la hora de elegir un diseño final para la pieza, el diseño planteado en 3D ha respondido de forma satisfactoria durante la simulación por método de elementos finitos, no se ha encontrado un fallo de diseño que obligue a variar la forma y medidas de la pieza. La elección más importante en este punto gira en torno a cuál va a ser el material elegido de los estudiados. La elección se debe de apoyar en dos columnas principales que son las características mecánicas por una parte, y la respuesta térmica del material por otra. En cuanto a la respuesta mecánica se dispone de información proporcionada por los ensayos, de base más teórica y también de la simulación FEM que nos indica más concretamente la respuesta de la pieza para cada material.

La información proporcionada por los diferentes ensayos mecánicos nos indicaba que efectivamente la incorporación de AESO al material mejoraba la absorción de energía, pero no nos indicaba en qué medida este hecho resultaba positivo para nuestra pieza en particular, y en qué incremento empezaba a empeorar su respuesta. En lo relativo a los ensayos térmicos y termomecánicos, sí que nos proporcionan una información aplicable al caso en sí directamente, pues en el uso diario de los dispositivos móviles, se producen incrementos de temperatura que pueden afectar a las características de la pieza. Por lo que de los diferentes materiales estudiados, aquel que responde de forma más equilibrada a los diferentes puntos que se han enunciado es la mezcla en base PLA que incorpora un 2,5% de AESO. La simulación FEM nos indica que el comportamiento de este material no es ampliamente mejorado por los demás, y a su vez los dos ensayos termomecánicos, nos indican que la temperatura de reblandecimiento bajo carga del material disminuye también con el aumento de la cantidad de plastificante. Con lo que se concluye que este será el polímero que mejor responde de todos los estudiados.

III. Desarrollo del proyecto.

III.6. PROCESO FABRICACIÓN.

La fabricación del producto debe de analizarse desde el dos puntos de vista principalmente, en primer lugar el material del que se compone y en segundo lugar cual va a ser el lote de producto que se desee producir.

En cuanto al material, tratándose de un termoplástico se deben de estudiar diferentes tipos de moldeados y siendo un producto con una geometría compleja, se pueden descartan diferentes tipos de fabricación salvo inyección e impresión 3D. Según la cantidad de unidades a producir deberemos de elegir entre uno de estos dos métodos, entendiendo que si lo que se desea es crear piezas a modo de prueba o prototipo, se puede utilizar la impresión 3D. Pero que sí lo que se desea es empezar un producción con el fin de incluir en el mercado el producto, la solución más viable será la de utilización de fabricación por inyección.

III. Desarrollo del proyecto.

III.7. ESTUDIO ECONÓMICO.

En este apartado se procederá a realizar una previsión del coste de producción del producto estudiado. Para ello se tiene que hacer un planteamiento de producción como si se fuera a lanzar al mercado el producto, es decir, se simulará una fabricación de un número elevado de unidades. Por otra parte en cuanto a la fabricación, se deberán de tener en cuenta variables como el coste del molde, el coste de la mano de obra, la maquinaria etc.

III.7.1. Coste de material.

Ya que el material elegido es una mezcla de diferentes materiales, se ha realizado un cálculo con el coste de cada material (€/Kg) . Para obtener el precio de un Kg de mezcla de ambos materiales.

	Precio (€/KG)	Cantidad	€/1Kg
PLA	1,8	97,50%	1,755
AESO	1,6	2,50%	0,04
TOTAL			1,795 (€/Kg)

Tabla III. 6 Coste de material I.

Los datos tanto como de volumen como peso se conocen y se encuentran disponibles en el programa Solid Works. Así que sabiendo que se ha previsto una producción inicial de 600.000 unidades, podemos calcular cuales van a ser tanto las necesidades totales como por unidad de material.

	Peso (g)	Volumen (mm ³)	Densidad (mg/mm ³)
Pieza	7,6	6075,26	1,25

Tabla III. 7 Coste de material II.

En la siguiente tabla se encuentra la cantidad total necesaria de cada material, se han supuesto unas pérdidas de en torno a un 5% de material en concepto de mermas, bebederos y material sobrante que ya se han contabilizado.

III. Desarrollo del proyecto.

	PLA	AESO	Total
Masa Producto (Kg)	4668,3	119,7	4788

Tabla III. 8 Coste de material III.

Con lo que establecidas las cantidades de material, podemos establecer los costes tanto totales como por unidad de material. Los precios son orientativos.

Material	Masa (Kg)	Precio (€/Kg)	Total (€)
PLA	4668,3	1,8	8402,94
AESO	119,7	1,6	191,52

Tabla III. 9 Coste de material IV.

Por lo que tendríamos un coste total de material de 8594,46 €

-Coste de material 0,0143 €/pieza.

III.7.2. Coste del molde.

Se ha establecido un coste del molde de 5000 €, Si asociamos el coste del molde a la cantidad de unidades que se desea producir.:

- Coste molde 0,01 €/pieza.

III.7.3. Coste de mano de obra.

Se ha estimado un coste de 30 €/h. Se sabe que un operario puede estar al cargo de 4 maquinas inyectoras, luego el coste por maquina y por hora será de 7,5 €/h/maquina.

Se va a trabajar en dos turnos y se espera una producción de 12.000 unidades diarias, por lo que tendremos 750 piezas por hora:

- Por lo que tenemos un coste de operario 0,01 €/pieza .

III. Desarrollo del proyecto.

III.7.4. Montaje del molde, preparación y puesta en marcha.

Se ha establecido que para todo el proceso de montaje preparación y puesta en marcha del molde sean necesarias unas 4h, por lo que si tenemos en cuenta el coste de 30 €/h de un operario, obtenemos que este apartado cuesta 120€.

- Coste montaje 0,0002 €/pieza

III.7.5. Alquiler de maquinaria.

Supondremos que no somos propietarios de maquinaria de inyección y que tenemos que alquilar, por lo que establecemos el coste en 100 €/h de alquiler, si como se ha comentado se trabaja en dos turnos de 8 horas, tenemos 1600 €/día.

Establecido el tamaño del lote en 600.000 unidades y sabemos que producimos 750 unidades por hora, finalizaremos la producción en 50 días. Por lo que acumularemos un coste de 80000€.

-Coste maquinaria 0,134 €/pieza.

III.7.6. Coste total.

Así que si realizamos un resumen de todos los costes analizados hasta este punto:

Coste de material	Coste molde	Coste mano de obra	Montaje molde	Alquiler maquinaria	Total
0,0143 (€/pieza)	0,01 (€/pieza)	0,01 (€/pieza)	0,0002 (€/pieza)	0,134 (€/pieza)	0,1685 (€/pieza)

Tabla III. 10 Coste total.

En conclusión, siendo el coste total de fabricación por pieza de un 17 céntimos de euro, resulta un precio aceptable puesto que el precio en el mercado de una funda protectora como la estudiada puede rondar los 5€. Por lo que este resultado permite obtener un margen por el que su comercialización resulte viable.

III. Desarrollo del proyecto.

IV. APÉNDICES

APÉNDICES

III. Desarrollo del proyecto.

IV.1. REFERENCIAS

ALVIRA, M.I. (2007). Los plásticos como residuos Antecedentes y Problemática Ambiental. *Boletín Ambiental IDEA*, Universidad Nacional de Colombia.

ANAIP, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE INDUSTRIALES DE PLÁSTICOS.

Chibani N, Djidjelli H, Dufresne A, Boukerrou A, Nedjma S. Study of effect of old corrugated cardboard in properties of polypropylene composites: Study of mechanical properties, thermal behavior, and morphological properties. *Journal of Vinyl & Additive Technology*. 2016 Sep;22(3):231-8. PubMed PMID: WOS:000382940900008.

Das O, Bhattacharyya D, Sarmah AK. Sustainable eco-composites obtained from waste derived biochar: a consideration in performance properties, production costs, and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*. 2016 Aug;129:159-68. PubMed PMID: WOS:000378183900016.

Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *Journal of Polymers and the Environment*. 2002 Apr;10(1-2):19-26. PubMed PMID: WOS:000179201800004.

LENZ, R. W. (1993). Biodegradable polymers. *Advances in Polymer Science*, 107: 1-40.

"Desarrollo y optimización de 'green composites' basados en matrices derivadas de aceites vegetales modificados y refuerzos de fibras minerales" M^a Dolores Samper Madrigal JUNIO 2015

" Estudio de la biodegradabilidad y desintegración de películas a base de almidón y pva que incorporan diferentes sustancias antimicrobianas" Marta Peinado Devís septiembre 2015

III. Desarrollo del proyecto.

IV.3. PLANOS ACOTADOS.

