



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**“Metodología de diseño y manufactura aditiva de componentes en  
unidades de preparación para despacho a farmacias en la cadena de  
suministro”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

**Previo a la obtención del Título de:**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE LA  
MANUFACTURA**

**Presentada por:**

**Jonathan Adrián Heredia Lucero**

**Javier Felix Bedoya Sánchez**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**Año: 2025**

# TRIBUNAL DE TITULACIÓN

---

**PhD. Emérita Delgado Plaza**

Profesor de Materia

---

**PhD. Carlos Helguero Alcivar**

Tutor de proyecto

## DECLARACIÓN EXPRESA

Nosotros, Jonathan Adrián Heredia Lucero y Javier Félix Bedoya Sánchez, acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. Los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 31 de marzo del 2025.

---

Jonathan Heredia Lucero

---

Javier Bedoya Sánchez

## RESUMEN

En una empresa de distribución y retail de productos de consumo masivo en la ciudad de Guayaquil, dentro de su línea de proceso de distribución logística, emplean contenedores rectangulares de geometría definida para la preparación y despacho de los productos a clientes. Dentro de este proceso, los contenedores, que son tratados para procesos externos (se entregan al cliente y retornan al centro de distribución), se ven afectados en daños a componentes específicos (bisagras). El proveedor que fabrica estos contenedores es de origen alemán, por lo que para su reparación/cambio, se manejan tiempos altos de respuesta y altos costos de importación. El fabricante no comercializa únicamente el componente como tal (bisagra), sino todo el conjunto (incluida la tapa o en su defecto todo el contenedor).

La metodología utilizada consistió en cinco etapas clave. Primero, se recopiló información técnica de las unidades de preparación y sus componentes, se realizó un análisis detallado de las bisagras y se identificó los patrones de falla, las condiciones de trabajo y se establecieron los parámetros de diseño alineados con DfAM para manufactura aditiva. A continuación, se desarrolla el diseño CAD de las piezas utilizando AutoDesk Inventor, basándose en datos geométricos y materiales previamente definidos. Posteriormente, se lleva a cabo la impresión 3D mediante extrusión, considerando la orientación de impresión, cambios de material y la necesidad de soportes. En la etapa de validación, se prueban las piezas impresas en un entorno operativo real, evaluando su funcionalidad en comparación con las originales y se va iterando, realizando rediseños hasta obtener la pieza final. Finalmente, se realiza un análisis de costo/beneficio, comparando la impresión 3D con la importación de piezas, con base en costos, tiempos y factores cualitativos para la toma de decisiones.

Luego de realizar tres iteraciones de rediseños y pruebas se obtuvo una bisagra de material ASA, con alta resistencia mecánica, que no necesita soportes de impresión, ni post procesos y tiene el menor tiempo de fabricación. Al realizar el análisis de costos entre la fabricación local de bisagras versus los costos relacionados a la importación de las UCPs, se obtuvo como resultado que en 95 días se podrá fabricar el stock suficiente de bisagras para la demanda de todo un año, siendo el costo unitario de cada bisagra de 0,68 USD. En comparación con los costos de importación, esto representa un ahorro aproximado de 19 mil dólares.

## ÍNDICE GENERAL

1	GENERALIDADES _____	10
1.1	Área de estudio _____	10
1.2	Objetivos _____	11
1.2.1	Objetivo general _____	11
1.2.2	Objetivos específicos _____	11
1.3	Problemática por resolver _____	11
1.4	Marco Teórico _____	11
1.4.1	Procesos logísticos involucrados _____	11
1.4.2	Materiales _____	12
1.4.3	Contenedores y sus componentes _____	12
1.4.4	Manufactura Aditiva _____	13
1.5	Estado del Arte _____	14
2	METODOLOGÍA _____	16
2.1	Estructuración de la metodología a emplear para el rediseño y manufactura aditiva de las piezas _____	17
2.1.1	Análisis de la problemática _____	17
2.1.2	Análisis de cargas y esfuerzos _____	17
2.1.3	Análisis experimental de elementos que han fallado _____	17
2.1.4	Listado de soluciones _____	17
2.1.5	Manufactura aditiva para el componente _____	17
2.1.6	Pruebas del prototipo _____	18
2.2	Resultados esperados _____	18
2.3	Análisis de costo/beneficio _____	18
3	RESULTADOS _____	19
3.1	Identificación de las piezas dañadas _____	19
3.1.1	Análisis estadístico de daños en unidades de preparación _____	19
3.2	Análisis de carga y esfuerzo _____	21
3.2.1	Diagrama de cuerpo libre _____	21
3.3	Aplicar la metodología de diseño para manufactura _____	22
3.3.1	Tecnología: Extrusión _____	22
3.4	Impresión 3D del diseño original de la bisagra _____	23
3.4.1	Pruebas realizadas en base al diseño original _____	23

3.5	Rediseño 1.0	24
3.5.1	Parámetros de impresión rediseño 1.0	24
3.5.2	Producto final rediseño 1.0	25
3.6	Rediseño 2.0	26
3.6.1	Parámetros de impresión rediseño 2.0	26
3.7	Rediseño 3.0	27
3.7.1	Parámetros de impresión rediseño 3.0	27
3.7.2	Producto final rediseño 3.0	28
3.8	Pruebas reales a través del rediseño seleccionado	28
3.9	Análisis comparativo de las alternativas de los rediseños	31
3.10	Análisis de la viabilidad de la replicabilidad del producto	31
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
4.1	Conclusiones	33
4.2	Recomendaciones	33
5	BIBLIOGRAFÍA	34
6	ANEXOS	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso de la unidad de preparación. Fuente: Elaboración propia. ____	10
Figura 2. Metodología de diseño y manufactura aditiva. Fuente: Elaboración propia_____	16
Figura 3. Bisagra rota en unidad de preparación. _____	19
Figura 4. Recepción, almacenamiento y limpieza de las UCPs. _____	20
Figura 5. Zona concentradora de esfuerzos, en bisagra. _____	21
Figura 6. Diagrama de cuerpo libre de la bisagra. Fuente: Elaboración propia. _____	21
Figura 7. Eventos donde las unidades de preparación sufren daños en las bisagras. _____	22
Figura 8. Impresión 3D en base al diseño original de la bisagra. _____	23
Figura 9. UCP ensamblada con bisagras impresas en 3D (diseño original). _____	24
Figura 10. Modelado CAD del rediseño 1.0. _____	24
<i>Figura 11. Simulación de impresión 3D rediseño 1.0. _____</i>	25
Figura 12. Parámetros de impresión rediseño 1.0. _____	25
Figura 13. Rediseño 1.0 con refuerzo en la zona concentradora de esfuerzos. _____	26
Figura 14. Rediseño 2.0 sin zona concentradora de esfuerzos. _____	26
Figura 15. Simulación impresión 3D rediseño 2.0. _____	26
Figura 16. Rediseño 3.0 con un enfoque hacia la manufactura aditiva. _____	27
Figura 17. Simulación impresión 3D rediseño 3.0. _____	27
Figura 18. Parámetros de impresión rediseño 3.0. _____	28
Figura 19. Comparación bisagra original vs rediseño 3.0. _____	28
Figura 20. UCP en un proceso de preparación regular. _____	29
Figura 21. UCP en el circuito de la zona automática. _____	29
Figura 22. UCP paletizada previo al envío a ruta. _____	30
Figura 23. UCP en proceso de embarque a la ruta correspondiente. _____	30
Figura 24. Costos por importación directa de unidades de preparación. Fuente: BITO Sistemas de Almacenaje. _____	36
Figura 25. Propiedades mecánicas en termoplásticos mediante extrusión de material. _____	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estado del arte: resumen de los estudios científicos representativos.....	15
Tabla 2. Estadística de UCPs despachadas y averiadas.....	20
Tabla 3. Tipos de fallas en UCPs. ....	20
Tabla 4. Características de diferentes materiales para la impresión de los componentes. ....	22
Tabla 5. Comparativa de criterios de fabricación y calidad del producto final entre los 3 rediseños propuestos. ....	31
Tabla 6. Detalle de los costos totales relacionados a la fabricación local de las bisagras y la importación de nuevas UCPs. ....	31

## ABREVIATURAS

<b>UCPs</b>	Unidades de carga de preparación
<b>UCAs</b>	Unidades de carga de almacenamiento
<b>CDE</b>	Centro de Distribución Especializado
<b>DfAM</b>	Diseño para Manufactura Aditiva
<b>CAD</b>	Computar Aided Desing (Diseño Asistido por Computadora)
<b>PLA</b>	Polylactic Acid (Ácido Poliláctico)
<b>ABS</b>	Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)
<b>ASA</b>	Acrylonitrile Styrene Acrylate (Acrilonitrilo Estireno Acrilato)
<b>HDPE</b>	High-Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad)
<b>PET</b>	Polyethylene Terephthalate (Polietileno Tereftalato)
<b>SMP</b>	Shape Memory Polymer (Polímero con Memoria de Forma)
<b>SMA</b>	Shape Memory Alloy (Aleación con Memoria de Forma)
<b>PP</b>	Polypropylene (Polipropileno)

# CAPÍTULO 1

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Área de estudio

La empresa de distribución farmacéutica en los últimos 4 años ha tenido un crecimiento exponencial, y ligado directamente a la demanda de productos de consumo masivo, la necesidad de disponer estos contenedores para la preparación de pedidos y despacho a clientes ha sido proporcional. Actualmente, son más los contenedores que se han averiado durante el proceso de preparación debido al incremento en la demanda de pedidos. Es necesario indicar que la cantidad de contenedores averiados no fueron contemplados en la compra inicial del proyecto. En relación con lo antes mencionado, la empresa importa nuevos contenedores con el fin de disponer de un stock suficiente para la preparación de pedidos.

El proyecto engloba algunos campos multidisciplinarios, siendo importante la integración de la manufactura aditiva en los procesos, el diseño previo de los repuestos/componentes y la mejora continua en los procesos logísticos con la finalidad de otorgar soluciones integrales. Esta solución fundamentada en la utilización de la impresión 3D para la fabricación bajo demanda de repuestos y componentes optimizan los procesos, reducen costos de importación asociados a la compra de nuevos contenedores y en consecuencia un menor impacto ambiental ligado a la fabricación y comercialización de estos productos.

En la figura 1 se detalla el diagrama de proceso para la unidad de preparación, desde su incorporación en la zona automática para la preparación de los pedidos, hasta el retorno al centro de distribución donde se evalúa físicamente la unidad y se determina si está apta o no para reingresar al proceso.



Figura 1. Diagrama de proceso de la unidad de preparación. Fuente: Elaboración propia.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

- Elaborar una metodología para diseño y manufactura aditiva de componentes en unidades de preparación, mediante los conceptos de DfAM y consideraciones generales de la tecnología de fabricación, para la reutilización de las unidades afectadas incorporándolas nuevamente al proceso de preparación y despacho de pedidos a farmacias en la cadena de suministro.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar las bisagras de las unidades de preparación y despacho de pedidos a farmacias, utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD).
- Evaluar la metodología de diseño para manufactura aditiva, a través de las diferentes tecnologías y consideraciones generales como anisotropía, material a usar, relleno y material de soportes.
- Comparar el impacto económico relacionando la continuación de la importación de componentes frente a la implementación de manufactura aditiva local, determinando la opción más viable en virtud de reducir costos y altos tiempos de reposición.

## 1.3 Problemática por resolver

El problema por resolver se centra en poder reutilizar estos contenedores que se encuentran obsoletos y han sido separados del proceso de preparación de pedidos, a través de la implementación de una metodología de diseño y manufactura aditiva, permitiendo la impresión 3D de estos componentes afectados, como una alternativa eficiente y sostenible. La reutilización de los contenedores a través de la manufactura aditiva permitirá a la empresa reducir los altos costos que representa la compra de nuevos contenedores.

## 1.4 Marco Teórico

### 1.4.1 Procesos logísticos involucrados

A partir de la revisión bibliográfica de los conceptos asociados a los sistemas de preparación de pedidos dentro de la cadena de suministro, el uso de contenedores plásticos, los diferentes tipos de bisagras, los materiales para la impresión 3D, las metodologías asociadas a la manufactura aditiva, y la optimización topológica, se presenta a continuación un análisis detallado de los procesos involucrados para el estudio.

#### **Sistemas de Almacenamiento**

El objetivo principal de un sistema de almacenamiento es guardar las mercancías bajo las mejores condiciones posibles para su utilización final, aprovechando al máximo el espacio disponible. De acuerdo con estudios especializados. La organización de la mercancía dentro del almacén implica colocar los productos sobre estanterías, lo cual optimiza el uso del espacio disponible, tanto en superficie como en altura. Según el Centro Europeo, para utilizar eficientemente todos los espacios tanto horizontales como verticales, se requiere de un sistema de almacenamiento que permita maximizar la capacidad. (CEUPE, 2018).

### **Fase picking**

A partir del estudio presentado por Ferrer, el proceso de picking consiste en la preparación del producto para su despacho. Se caracteriza por su elevada demanda de la mano de obra y por representar un costo significativo dentro de las operaciones logísticas. Durante esta fase, los productos son seleccionados del inventario, empacados o embalados y posteriormente embarcados para su envío (Ferrer, 2019).

### **Cross docking**

EL cross docking es una estrategia logística que facilita el traspaso rápido de los productos que son descargados desde el transporte de recepción hasta los de envío, minimizando los tiempos de almacenamiento y manipulación. En esta misma línea, se considera que es una técnica de consolidación y preparación de pedidos de productos provenientes de diferentes proveedores para su envío a varios destinos (Alvarado, 2018)

### **Fase de expedición**

Esta etapa tiene como objetivo enviar los productos desde el almacén hasta su destino final, esta entrega debe ser en el tiempo acordado y en perfecto estado (Mecalux, 2019).

### **Empaque**

El empaque es un sistema diseñado para proteger los productos durante su traslado desde el lugar de producción hasta su destino final. El objetivo también es lograr una relación comercial permanente entre un producto y el consumidor (Porrás & Hernández, 2015).

## **1.4.2 Materiales**

### **Polímeros**

Los polímeros son macromoléculas, formadas por “eslabones” orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes. Los eslabones están formados principalmente por átomos de carbono y pueden presentar grupos laterales o radicales con uno o más átomos. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos que conocemos y así como estructuras biológicas en organismos vivos (Hermida, 2011).

Hay diferentes maneras de clasificar a los polímeros. Podemos subdividir según su origen, o considerando la estructura de las macromoléculas también según su uso. Entre las clasificaciones más comunes están:

- Según su origen: Naturales y sintéticos.
- Según la estructura de la cadena: Lineal, ramificado, entrecruzado, homopolímero, copolímero.
- Según su respuesta termo-mecánica: termoplásticos, termorrígidos, elastómeros, Adhesivos, recubrimientos de superficie, fibras.

## **1.4.3 Contenedores y sus componentes**

Las cajas de plástico se utilizan desde hace décadas en la industria alimentaria como contenedores reutilizables para el envío de productos. Su uso más común ha sido para transportar leche, frutas y verduras, bebidas, y también como contenedor de almacenamiento en almacenes de fábricas.

Existen cinco métodos principales para fabricar estas cajas de plástico: moldeo por inyección; moldeo por compresión; moldeo por soplado; moldeo rotacional; y

termoformado. Cada uno tiene ventajas según la geometría del producto y el material utilizado. Pero el método más utilizado es el moldeo por inyección (Sathish, n.d).

Este proceso es ideal para producir contenedores de envío reutilizables debido a su capacidad para moldear formas complejas a altas tasas de producción. El HDPE es el material más utilizado para las cajas de plástico.

### **Bisagra**

El diseño de las bisagras requiere, una sección del alma lo suficientemente delgada como para permitir un fácil doblado, pero también lo suficientemente gruesa para garantizar una conexión sólida entre las piezas articuladas. Para aplicaciones de carga ligera, como cajas o estuches pequeños, el espesor ideal es de entre 0,2 - 0,3 mm. Sin embargo, cuando las bisagras deben flexionar bajo carga, se recomienda un mayor espesor de hasta 0,5 - 0,7 mm. Además, el ancho de la banda debe ser adecuado para evitar tensiones excesivas, ya que una banda demasiado estrecha podría causar problemas en el funcionamiento de la bisagra. En general, un ancho de 0,75 a 1,5 mm garantizará un funcionamiento suave y sin problemas de la bisagra. El diseño debe evitar bordes afilados para mejorar el flujo en el proceso de moldeo por inyección y también asegúrese de que la bisagra se doble en el punto correcto (Whittall, 1964).

#### **1.4.4 Manufactura Aditiva**

Así como el modelado de un objeto en una herramienta de software CAD para la diagramación de sólidos en 3D, facilita la elaboración de formas complejas. Las impresoras 3D facilitan la materialización de objetos sólidos en una maqueta real o en un modelo físico (Martínez & Rubio, 2014).

Las principales técnicas de fabricación aditiva basadas en líquidos incluyen:

- SL o Estereolitografía: Fue el primer sistema comercial de prototipado rápido creado en 1988.
- STL: Consiste en endurecer resinas líquidas mediante un láser ultravioleta. El proceso se realiza capa por capa hasta completar la pieza.
- Fotopolimerización: El proceso se realiza mediante una lámpara ultravioleta, que cura la resina de manera que se reemplaza por cera para la siguiente capa. Es un método muy rápido y no necesita elementos auxiliares de soporte, pero es costoso y la cera debe ser retirada posteriormente pues genera residuos.
- Impresión por inyección: Forma piezas mediante la aplicación controlada de un fotopolímero líquido que se solidifica bajo luz ultravioleta.
- Sinterización selectiva láser: Consiste en aplicar capas finas de polvo en una plataforma calentada a temperaturas cercanas a su punto de fusión. Un láser de CO<sub>2</sub> endurece el material en las áreas deseadas.

Mientras tanto, las técnicas basadas en sólidos incluyen:

- Laminación: Se adhiere una hoja de papel sobre una plataforma y se prensa con un rodillo caliente.
- Inyección de aglutinante: Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo sobre capas, consiste en la mezcla selectiva mediante la impresión de chorro de tinta de un material aglutinante.

Los Parámetros clave en la impresión 3D incluyen la velocidad de impresión, la temperatura adecuada para el filamento utilizado, y el diámetro de la boquilla, los cuales impactan la resolución, el tiempo de fabricación y la calidad final del producto.

### **Materiales usados en la impresión 3D**

En (Fonda, 2015) se realiza una breve descripción de los materiales que se utilizan en la impresión 3D destacando los siguientes:

- ABS–Poliacrilonitrilo butadieno estireno: Es un termoplástico amorfo extraído del petróleo con buenas propiedades mecánicas.
- PLA – ácido poliláctico: Es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico y es actualmente el polímero biodegradable más popular en la industria.
- El HIPS: Poliestireno de alto impacto es un material muy parecido al ABS, y que requiere los mismos perfiles de temperaturas.
- El PET: Tereftalato de polietileno es uno de los materiales más usados para las botellas y otro tipo de envases. Su principal propiedad es su capacidad de cristalización, generando piezas transparentes con efectos sorprendentes. Es muy fuerte y resistente a los impactos.
- Laywoo-d3: material que requiere condiciones de temperatura similares a las del PLA, con la peculiaridad de que, si se aumenta o disminuye unos grados, el color obtenido es más claro u oscuro.
- Ninjaflex: Revolucionario elastómero termoplástico (TPE) que permite crear piezas con una gran flexibilidad. La temperatura es muy parecida a la del PLA.
- Nylon: Es uno de los materiales más complejos para la impresión 3D. Su principal problema es la falta de adhesión de la pieza a la bandeja, que causa muchos fallos y deformaciones.

## **1.5 Estado del Arte**

### **Estudio de Bisagras para Cubetas plásticas utilizadas en la cadena de Suministro.**

El uso de bisagras en contenedores plásticos es crucial en la cadena de suministro, especialmente en la preparación de pedidos dentro de los centros de distribución de medicamentos, ya que permiten la manipulación eficiente y segura de los productos de farmacia.

Para el siguiente estado del arte se revisaron 11 estudios de los cuales se mencionan 4 fuentes que tienen un enfoque importante sobre los avances de diseño, materiales, durabilidad en las bisagras utilizadas en estos tipos de contenedores o elementos parecidos. Esta investigación hace alusión a los materiales más utilizados, las principales metodologías de fabricación, los factores que afectan la durabilidad, como la fatiga del material, exposición a condiciones extremas y carga mecánica excesiva, junto con soluciones innovadoras para mejorar la resistencia y funcionalidad de estas bisagras.

En la tabla 1 se resume los estudios más representativos incluyendo el enfoque, metodología y sus principales resultados.

Tabla 1. Estado del arte: resumen de los estudios científicos representativos.

Referencia	Enfoque	Materiales	Metodología	Resultados
<b>Wang &amp; Wang (2017)</b>	Bisagra inteligente híbrida para mejorar eficiencia de despliegue.	Polímero con memoria de forma (SMP) y lámina de resorte.	Análisis teórico del momento de flexión, verificación experimental y análisis paramétrico.	Las bisagras híbridas con SMP y lámina de resorte ofrecen una mejor capacidad de recuperación y flexión, siendo clave el grosor del resorte para su desempeño.
<b>Evers &amp; Johnson (2017)</b>	Implementación de bisagra en esquís plegables.	Aluminio, fibra de vidrio, cables recubiertos de PVC.	Pruebas de flexión en esquís con diferentes fuerzas para evaluar resistencia.	Las bisagras compuestas integradas en esquís mejoran su flexibilidad sin comprometer la resistencia, mostrando mayor durabilidad que la propia estructura del esquí.
<b>Jmerson (2024)</b>	Bisagras flexibles en contenedores de distribución de medicamentos.	Polipropileno, polietileno de alta densidad, nylon reforzado.	Comparación de bisagras vivas y mecánicas, evaluación de factores de desgaste.	La selección de materiales y el diseño de bisagras vivas o mecánicas influyen en la durabilidad. Tendencias futuras incluyen materiales biodegradables, nanotecnología y bisagras auto reparables.
<b>Willems, Dewulf &amp; Duflou (2007)</b>	Diseño de bisagras y sujetadores desmontables mediante optimización topológica.	SMP, SMA, polipropileno (PP).	Modelos de análisis finito y optimización topológica.	La optimización topológica permite el diseño de bisagras más eficientes, pero su fabricación presenta retos técnicos, especialmente en estructuras con cavidades cerradas.
<b>Conclusión</b>	Las investigaciones revisadas coinciden en que los diseños de bisagras han evolucionado gracias a la selección y optimización de materiales avanzados. Polímeros con memoria de forma y compuestos flexibles han permitido mejorar su resistencia, capacidad de recuperación y adaptabilidad a distintos entornos. Además, los estudios resaltan la importancia del análisis estructural y computacional para optimizar la distribución de cargas y evitar fallos prematuros, desde aplicaciones en equipos deportivos hasta sistemas industriales. Por otro lado, la búsqueda de soluciones más sostenibles ha impulsado el uso de materiales biodegradables y la integración de nanotecnología, aunque la fabricación de estructuras complejas sigue presentando un desafío.			

# CAPÍTULO 2

## 2 METODOLOGÍA

Para resolver la problemática planteada en el capítulo 1, se propone la siguiente metodología de diseño y manufactura aditiva para la fabricación de los componentes requeridos (Ver figura 2):

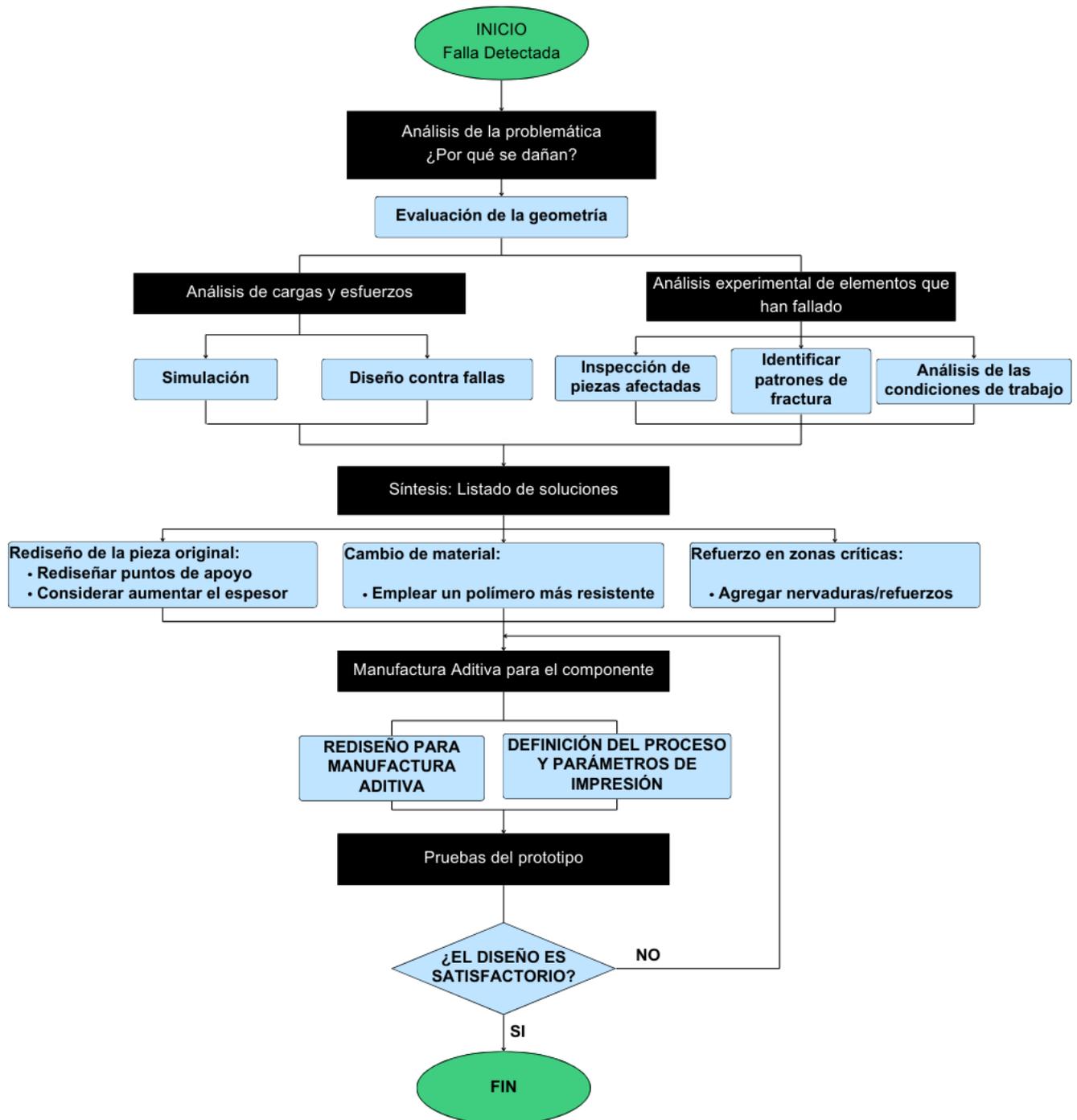


Figura 2. Metodología de diseño y manufactura aditiva. Fuente: Elaboración propia

## **2.1 Estructuración de la metodología a emplear para el rediseño y manufactura aditiva de las piezas**

### **2.1.1 Análisis de la problemática**

Se recopilará la información técnica de las unidades de preparación y sus componentes dadas por el fabricante. Adicional, se realizará la conceptualización de las piezas a fabricar, alineándonos con los conceptos de DfAM para poder diseñar una metodología de diseño y manufactura aditiva estructurada y enfocada en los componentes requeridos para reutilizar las unidades de preparación.

Se realizará una lluvia de ideas identificando las principales causas que generan la falla de la pieza, enfocado en la geometría. Se enlistarán posibles causas de falla a través de un enfoque operativo, sin embargo, se realizará el rediseño a partir de la geometría.

### **2.1.2 Análisis de cargas y esfuerzos**

Se partirá de un diagrama de cuerpo libre de la pieza, analizando las fuerzas involucradas y cómo actúan éstas sobre los concentradores de esfuerzo. Partiendo de este análisis, se realiza un diseño de la pieza contra fallas, modificando las zonas concentradoras de esfuerzos.

### **2.1.3 Análisis experimental de elementos que han fallado**

En este punto se observará a detalle una bisagra afectada, identificando cualquier evidencia visible que indique el origen de la falla. A través del origen de la falla, se tomará una muestra de varios contenedores determinando el patrón de la fractura en cada una de las bisagras. Finalmente, se evaluará las condiciones de trabajo de los componentes, identificando posibles escenarios (ambientales, térmicos, entre otros.) que contribuyan al fallo de las bisagras.

### **2.1.4 Listado de soluciones**

Partiendo del diseño original, donde previamente se identificaron los concentradores de esfuerzos, geometrías irregulares y áreas sin refuerzos o nervaduras, se realizarán los rediseños mitigando dificultades a nivel de resistencia mecánica, durabilidad y rendimiento de la pieza. Adicional, se define previamente el material original de la pieza y se realiza una comparación a nivel de propiedades mecánicas con el material que se empleará para la impresión del componente.

### **2.1.5 Manufactura aditiva para el componente**

Se definen las decisiones de diseño como la selección del material, complejidad del diseño y las tecnologías de manufactura aditiva disponibles que cumplan con las condiciones de los componentes requeridos.

Previo al diseño CAD, se definen datos de material y datos geométricos generales, medidas directamente desde el contenedor con respaldo de la ficha técnica. Se empleará el software AutoDesk Fusion/Inventor para el diseño CAD de los componentes.

En este punto se definen los parámetros de impresión, espesor de la pieza, orientación de impresión, tecnología de impresión y demás consideraciones de diseño.

### **2.1.6 Pruebas del prototipo**

Para las pruebas, se ensamblarán las bisagras en diferentes contenedores y se simulará un proceso de preparación y despacho real, siguiendo la ruta asignada de preparación en todo el sistema automático. Esta prueba se realizará asignando a cada contenedor un promedio de 10 rutas.

La idea es que la pieza impresa trabaje exactamente de igual manera que una pieza de fábrica.

## **2.2 Resultados esperados**

Entre los resultados esperados, se encuentra; los prototipos fabricados que cumplan con los requisitos de funcionalidad y operación, reducir el costo a través de la manufactura aditiva local y por último mantener un stock de unidades de preparación disponibles para los procesos de preparación.

## **2.3 Análisis de costo/beneficio**

Se realiza una recopilación de datos tanto para la impresión en 3D de las piezas (costos directos e indirectos.) y para importación (costos de las piezas en el exterior, tiempos de entrega.).

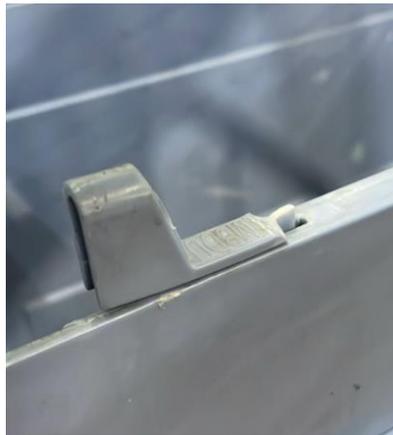
Se basará la decisión final en una matriz de costo/beneficio, evaluando resultados cuantitativos (costos y tiempos) y cualitativos (riesgos, flexibilidades y funcionalidad).

## CAPÍTULO 3

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Identificación de las piezas dañadas

Las causas objeto de estudio que generan el daño en las bisagras (ver figura 3) tiene un enfoque centrado en su geometría. A nivel geométrico, estos componentes tienen variaciones en sus espesores y radios de curvatura, haciendo que estas zonas sean altamente susceptibles a deformaciones y rupturas.



*Figura 3. Bisagra rota en unidad de preparación.*

#### Causas de daño en las unidades de preparación

- La bisagra posee ángulos agudos con radios pequeños, aumentando la probabilidad de fisura en estos puntos
- La forma irregular de la bisagra donde tiene una transición brusca entre la zona de anclaje y la parte móvil genera un concentrador de esfuerzo en este punto
- El diseño no tiene refuerzos o nervaduras para una mejor distribución de la carga
- La sección transversal de la bisagra es delgada en comparación con el resto de la estructura, lo que reduce su resistencia mecánica

##### 3.1.1 Análisis estadístico de daños en unidades de preparación

En la figura 4 se muestra el espacio físico donde se lleva a cabo la recepción, almacenamiento y limpieza de las unidades de preparación que retornan al centro de distribución logístico. En este espacio las unidades que retornan de las diferentes farmacias a nivel nacional se revisan que físicamente no tengan algún daño, para posteriormente ser limpiadas y paletizadas previo a su reintegración al proceso de despacho. Todas las unidades que se encuentren con daños físicos son separadas, almacenadas y posteriormente desechadas.

En la tabla 2 se detalla la muestra levantada de unidades de preparación que son despachadas a farmacias, las unidades que retornan al centro de distribución y las

unidades que a partir de ese total de unidades que retornaron, presentan fallas o daños físicos a nivel general.

La tabla 3 muestra, del total de unidades con daño o falla, una segregación en función del tipo de falla.



Figura 4. Recepción, almacenamiento y limpieza de las UCPs.

Tabla 2. Estadística de UCPs despachadas y averiadas.

Estadística de UCPs despachadas y averiadas en el centro de distribución					
Media de pedidos producción/día	3100				
Días de producción/semana	5				
	<b>Semana 1</b>	<b>Semana 2</b>	<b>Semana 3</b>	<b>Semana 4</b>	<b>Total</b>
UCPs producidas	15500	15500	15500	15500	<b>62000</b>
UCPs averiadas	32	28	38	31	<b>129</b>
Media de UCPs averiadas/semana	32				

Tabla 3. Tipos de fallas en UCPs.

TOMA DE TIPOS DE FALLAS EN UCP		
# Semana	Tipo de Falla	
	Falla en bisagra	Falla en tapa
Semana 1	25	7
Semana 2	28	0
Semana 3	35	3
Semana 4	26	5
<b>Total</b>	<b>114</b>	<b>15</b>

## 3.2 Análisis de carga y esfuerzo

### 3.2.1 Diagrama de cuerpo libre

Las fuerzas representadas en el diagrama de cuerpo libre que se observan en la figura 6 resultan de las interacciones mecánicas que actúan sobre la bisagra debido a su función de sostener la tapa mientras ésta permanece abierta durante la preparación del pedido.

Para el caso de los concentradores de esfuerzos, estos se ubican entre la unión de la base y los laterales de la bisagra (Figura 5A); justamente en este punto existe un cambio brusco de geometría (Figura 5B), generando una acumulación de esfuerzos.

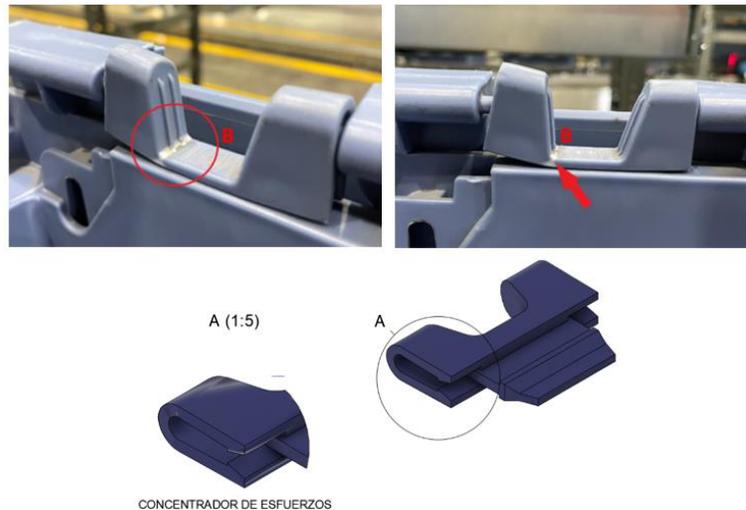


Figura 5. Zona concentradora de esfuerzos, en bisagra.

La fuerza en los pines ( $F_P$ ) se ejerce unilateralmente en los extremos de la bisagra y corresponde al peso de la tapa. Esta fuerza genera un esfuerzo de corte en la misma dirección.

La reacción en el anclaje ( $R_A$ ) contrarresta el peso de la tapa en dirección contraria a esta fuerza ( $F_P$ ). Básicamente corresponde a una reacción de apoyo.

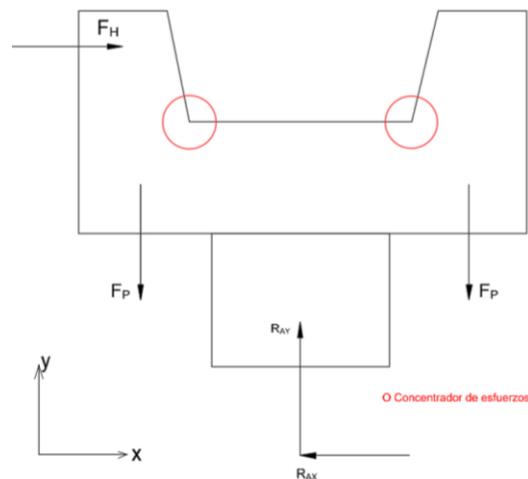


Figura 6. Diagrama de cuerpo libre de la bisagra. Fuente: Elaboración propia.

$F_P$ : Fuerza ejercida por el peso de la tapa (pines)

$R_{AX}/R_{AY}$ : Reacción en el anclaje entre la bisagra y la estructura de la cubeta

$F_H$ : Fuerza horizontal ejercida sobre el área transversal de la bisagra debido a los impactos

### 3.3 Aplicar la metodología de diseño para manufactura

#### 3.3.1 Tecnología: Extrusión

##### ***Definición de Problema y Requerimientos***

*Función de la pieza y condiciones de uso:* Las bisagras sirven para abrir y cerrar las tapas de los contenedores sin la necesidad de piezas externas, y el montaje se da a precisión sin tornillos ni adhesivos. Por malas maniobras operativas y condiciones del proceso de logística (ver figura 7), los contenedores suelen sufrir deformaciones por impactos en las bisagras, específicamente en la que se encuentran en los extremos del contenedor.



Figura 7. Eventos donde las unidades de preparación sufren daños en las bisagras.

##### *Selección de materiales*

La tabla 4 nos muestra una comparación detallada de tres materiales utilizados en impresión 3D: PLA, ABS y ASA, donde se analizan la resistencia mecánica, durabilidad, resistencia a la intemperie y costo, seguida de una explicación más detallada de sus usos recomendados. Con esta información se seleccionó el material ASA, el cual es el que mejor se adapta a nuestros requerimientos técnicos.

Tabla 4. Características de diferentes materiales para la impresión de los componentes.

<b>Características</b>	<b>PLA</b>	<b>ABS</b>	<b>ASA</b>
Resistencia mecánica	Buena, pero más frágil	Ligeramente más resistente y flexible	Alta resistencia a impactos y a la fatiga
Resistencia a la intemperie	Baja, se degrada rápidamente	Buena, inferior al ASA	Excelente, resistente a la exposición UV
Durabilidad	Menos resistente al impacto y desgaste	Más duradero y resistente al impacto	Altamente durable y resistente
Costo (rollo filamento)	\$23	\$25	\$38
Uso recomendado	Piezas decorativas, prototipos, piezas sin altas exigencias mecánicas o térmicas.	Piezas funcionales, piezas sometidas a esfuerzos mecánicos o calor.	Piezas que requieran resistencia rayos UV, altos esfuerzos mecánicos y térmicos

### ***Diseño Conceptual***

- **Espesor mínimo:** 0.1 mm
- **Tolerancia:** (0.2-0.5 mm de holgura) entre el eje de la cubeta y el orificio de la bisagra de esta manera se podrá mover sin trabarse.
- **Evitar voladizos extremos:** Con la finalidad de evitar el uso de soportes, se recomienda diseñar los voladizos a 45°.

### ***Diseño para Manufactura Aditiva (DfAM)***

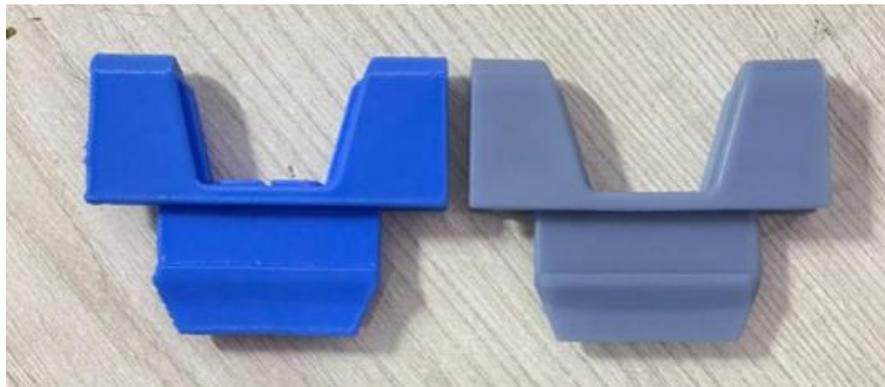
- Orientación de impresión: Analizando los impactos que sufren las unidades de preparación en los trayectos que recorren hacia las diferentes estaciones de despacho, esta fuerza es horizontal en dirección +x en un plano xy. En función de esto, la impresión de las capas deberá ser perpendicular a esta fuerza.
- Agregar chaflanes y redondeos para mejorar la adhesión de capas.
- Minimización de voladizos y puentes largos para reducir soportes.

## **3.4 Impresión 3D del diseño original de la bisagra**

En esta primera impresión 3D, se mantuvo la geometría y diseño en base a la bisagra original en su totalidad; se buscó únicamente realizar la impresión de la pieza y analizar su comportamiento en condiciones normales de operación.

El material de impresión fue ABS y se usó un alto porcentaje de relleno.

En la figura 8 se muestra la comparativa entre la bisagra impresa en 3D (izquierda) y la bisagra original (derecha). Como se observa en la figura, su diseño/geometría es exactamente la misma.



*Figura 8. Impresión 3D en base al diseño original de la bisagra.*

### **3.4.1 Pruebas realizadas en base al diseño original**

Se realizó el ensamble (ver figura 9) de las bisagras impresas en la unidad de preparación, con el fin de evaluar su comportamiento durante el despacho y demás condiciones de operación.

Las pruebas se realizaron simulando una ruta normal de operación y preparación, donde la UCP estuvo en las diferentes estaciones de preparación, estaciones donde regularmente las bisagras son susceptibles a daños por los constantes choques.

Dado que se mantuvo diseño y geometría en función de la bisagra original, los resultados no fueron favorables. La bisagra impresa en 3D tuvo fracturas en la zona concentradora de esfuerzo, incluso siendo más frágil que la bisagra original, ya que esta última al menos tiende a deformarse o ceder y no se fractura inmediatamente al primer impacto.



Figura 9. UCP ensamblada con bisagras impresas en 3D (diseño original).

### 3.5 Rediseño 1.0

En este rediseño se buscó mejorar la zona de los concentradores de esfuerzos, aumentando el espesor en el cambio de la sección. Adicional, se ha suavizado la transición entre la base y los soportes laterales con radios más grandes. En la figura 10 se muestran el modelado CAD del rediseño 1.0 con las modificaciones antes mencionadas.

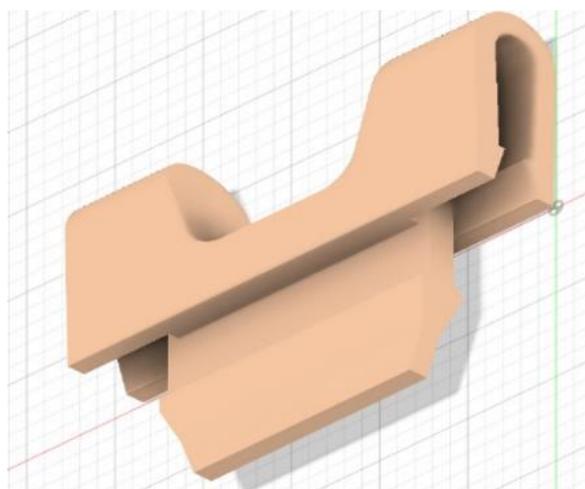


Figura 10. Modelado CAD del rediseño 1.0.

#### 3.5.1 Parámetros de impresión rediseño 1.0

Para el rediseño 1.0, la impresión de la pieza se realiza en un plano XZ con la pieza vertical totalmente, mostrando claramente el uso de soportes representados en la región de color celeste (ver figura 11).

En cuanto a los ajustes de impresión (figura 12), se configuró una calidad estándar (0.2 mm entre capa y capa), un porcentaje de relleno del 30% y velocidad de impresión de 60 mm/2; con esta configuración, se logra la impresión de 1 pieza en un tiempo aproximado de 120 minutos.

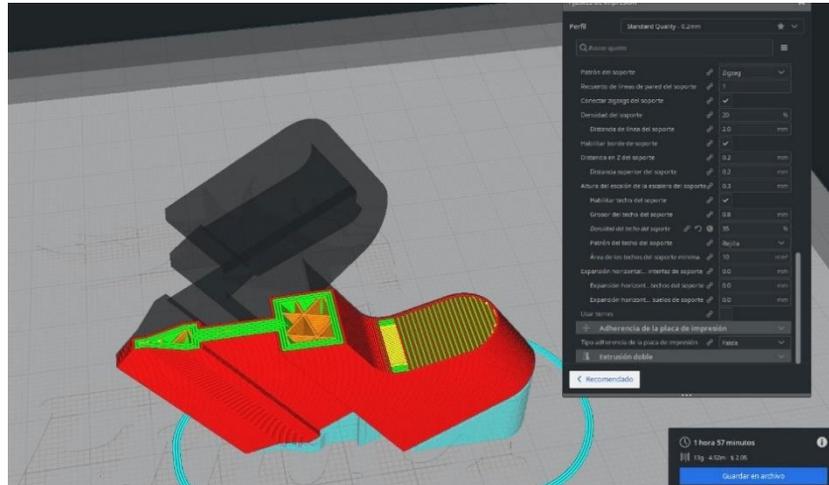


Figura 11. Simulación de impresión 3D rediseño 1.0.

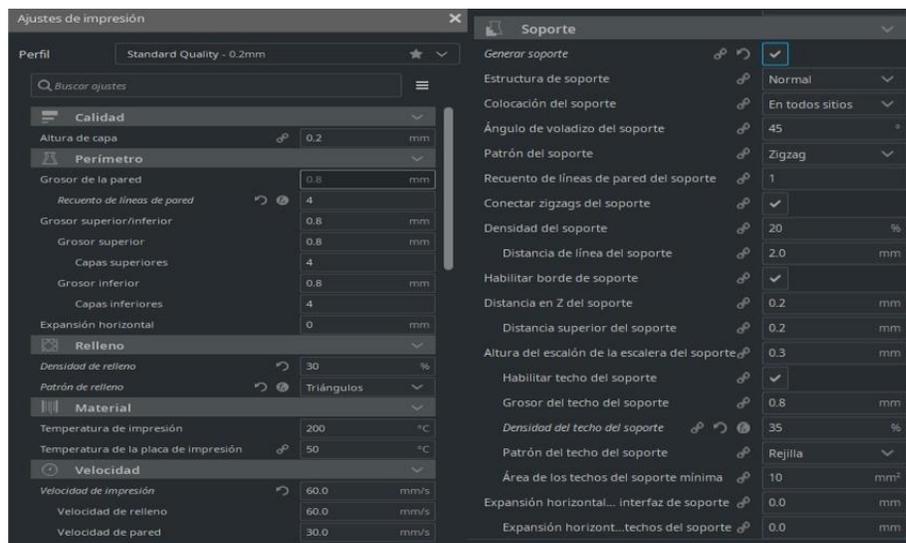


Figura 12. Parámetros de impresión rediseño 1.0.

### 3.5.2 Producto final rediseño 1.0

La figura 13 muestra la comparativa entre la pieza original (izquierda) y el rediseño 1.0 (derecha). El material empleado fue PLA con un alto porcentaje de relleno. Se observa las zonas suavizadas y el mayor espesor en la zona concentradora de esfuerzos.



Figura 13. Rediseño 1.0 con refuerzo en la zona concentradora de esfuerzos.

### 3.6 Rediseño 2.0

En el rediseño 2.0 (ver figura 14) se buscó eliminar el canal intermedio propio del diseño original. Con este rediseño, se logra mitigar la zona concentradora de esfuerzos al mínimo, obteniendo una pieza más resistente en los puntos de mayor impacto.

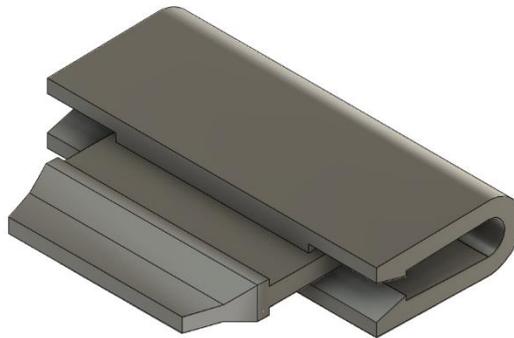


Figura 14. Rediseño 2.0 sin zona concentradora de esfuerzos.

#### 3.6.1 Parámetros de impresión rediseño 2.0

En la figura 15 se puede observar el uso de soportes (región de color celeste) para la orientación de impresión configurada; estos soportes se generan debido a la curvatura exterior de la base y a los voladizos cuyos ángulos son mayores a  $45^\circ$ .

Dentro de los parámetros de impresión se configuró una calidad estándar (0.2 mm la altura entre capa y capa), un porcentaje de relleno del 30% y una velocidad de impresión de 50 mm/s; con esta configuración logramos imprimir 1 pieza en un tiempo promedio de 140 minutos.

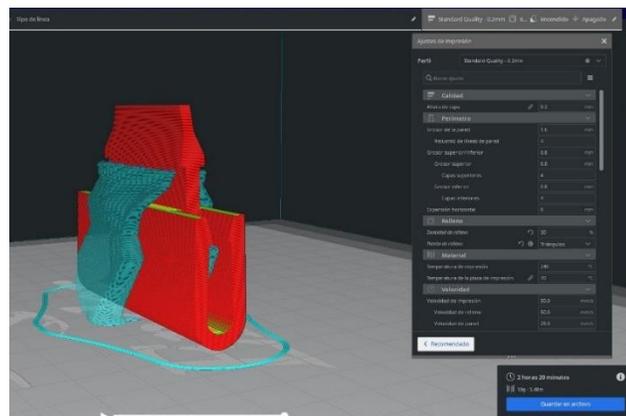


Figura 15. Simulación impresión 3D rediseño 2.0.

### 3.7 Rediseño 3.0

En el rediseño 3.0 (ver figura 16), con un enfoque más profundo hacia la manufactura, se pensó en la orientación de impresión, eliminando el arco exterior logrando que sea lineal de modo que se pueda imprimir la pieza en un plano XZ, eliminando los soportes que se generaron en el rediseño 2.0.

Adicional, se llevaron las diagonales a 45° con el fin de eliminar los soportes que se generarían inicialmente con las diagonales cuyos ángulos eran *mayores a 45°*.

Con estas modificaciones, el rediseño 3.0 tiene un enfoque más hacia la manufactura aditiva, optimizando el uso de material (con la eliminación de los soportes), reduciendo el tiempo de impresión y logrando que la pieza cumpla con las condiciones de operación requeridas (resistencia a los impactos en la dirección +x).

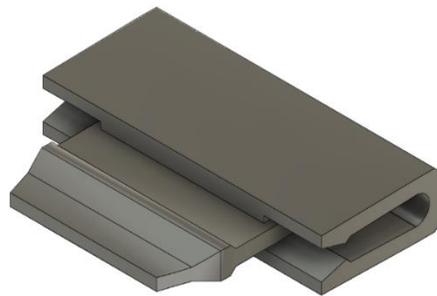


Figura 16. Rediseño 3.0 con un enfoque hacia la manufactura aditiva.

#### 3.7.1 Parámetros de impresión rediseño 3.0

En la figura 17 se observa que, durante toda la fase de impresión de la pieza, no existe región alguna que indique el uso de soportes. Eliminar el uso de soportes se logra llevando los extremos voladizos a un ángulo no mayor a 45° y eliminando el arco exterior de la bisagra, haciéndolo completamente lineal de manera que se pueda imprimir la pieza en un plano XZ.

En cuanto a los ajustes de impresión (ver figura 18), se configura una calidad estándar (0.2 mm la altura de capa y capa), un porcentaje de relleno de 30% y velocidad de impresión de 50 mm/s; con esta configuración logramos imprimir 1 pieza en un tiempo promedio de 117 min.

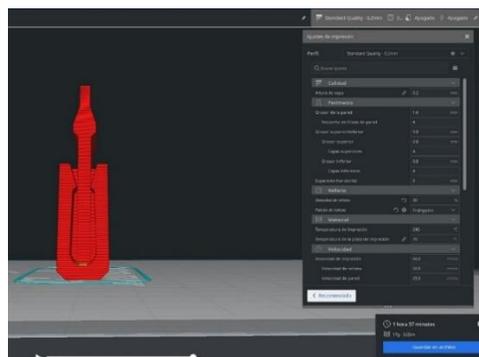


Figura 17. Simulación impresión 3D rediseño 3.0.

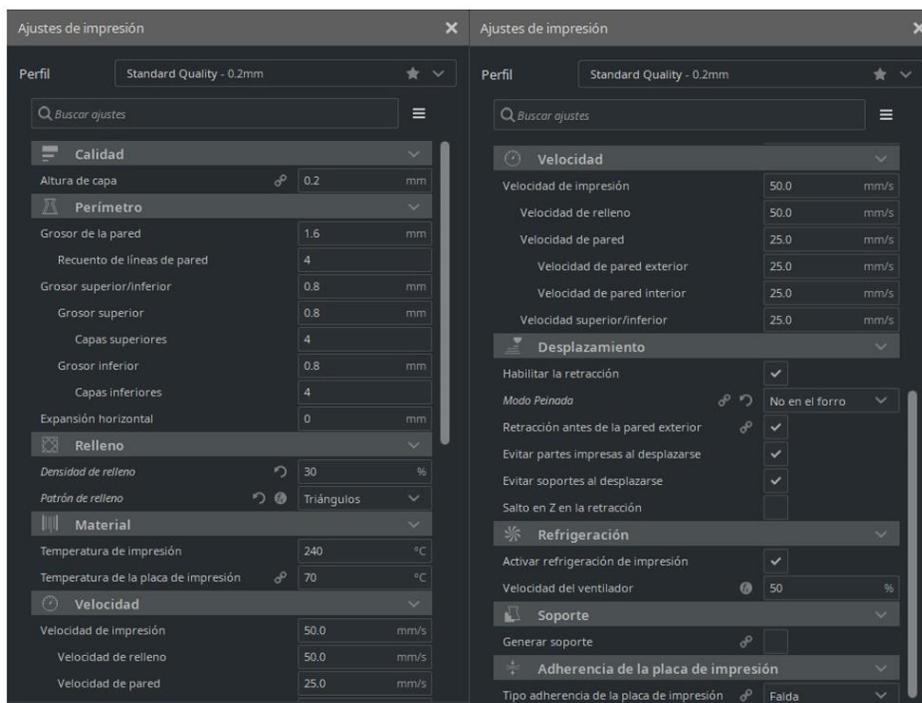


Figura 18. Parámetros de impresión rediseño 3.0.

### 3.7.2 Producto final rediseño 3.0

La figura 19 muestra la comparativa entre la bisagra original (izquierda) y la bisagra impresa en 3D (derecha). El material empleado para la impresión del rediseño 3.0 fue ASA, material con una muy buena resistencia mecánica en comparación con los materiales usados para los rediseños previos (PLA y ABS).



Figura 19. Comparación bisagra original vs rediseño 3.0.

### 3.8 Pruebas reales a través del rediseño seleccionado

Las pruebas realizadas se realizaron en un periodo de *15 días*, utilizando una unidad de preparación con las 4 bisagras instaladas en sus extremos. Para las pruebas, se realizó la simulación de un proceso normal de operación, comenzando desde el ingreso de la unidad de preparación (con las bisagras del rediseño 3.0) a la zona automática para la preparación del pedido (ver figuras 20 y 21); esta parte del proceso es esencial dado que representa el escenario donde regularmente las UCPs son susceptibles a daños físicos en sus bisagras y tapas.



*Figura 20. UCP en un proceso de preparación regular.*



*Figura 21. UCP en el circuito de la zona automática.*

Finalmente, el proceso culmina en el consolidado de los pedidos y posterior embarque hacia la ruta correspondiente (ver figuras 22 y 23), donde si bien la unidad de preparación también es susceptible a daños físicos en sus componentes, estas causas están ligadas a factores operativos relacionados a la manipulación incorrecta de las UCPs por parte de los operadores, incorrecto paletizado superando la carga máxima admitida por la UCP.



Figura 22. UCP paletizada previo al envío a ruta.



Figura 23. UCP en proceso de embarque a la ruta correspondiente.

Durante este periodo de prueba (15 días), la unidad de preparación ingresó al circuito de preparación de 4 veces. En cada uno de los ingresos al proceso de preparación, la unidad de preparación de prueba tuvo constantes impactos por choques en estructuras, transportadores o con otras unidades de preparación, que fueron tolerados sin mayor complicación por la bisagra correspondiente al diseño 3.0.

### 3.9 Análisis comparativo de las alternativas de los rediseños

En la tabla 5 se muestra la comparativa entre los 3 rediseños, evaluando criterios a nivel de fabricación y calidad del producto final. En esta comparativa, el rediseño 3.0 tiene la mejor evaluación en la mayoría de los criterios analizados; menor tiempo de fabricación, mayor resistencia mecánica debido al material empleado (ASA) y no requiere el uso de soportes debido a su diseño enfocado en la manufactura aditiva.

Tabla 5. Comparativa de criterios de fabricación y calidad del producto final entre los 3 rediseños propuestos.

Criterio	Rediseño 1.0	Rediseño 2.0	Rediseño 3.0
Tiempo de fabricación	1H 50 min	2H 20 min	1H 47 min
Material de fabricación	PLA/ABS	PLA/ABS	ASA
Soportes de impresión	Si requiere	Si requiere	No requiere
Post procesamiento	Si requiere	Si requiere	No requiere
Resistencia mecánica	Baja	Baja	Alta
Capacidad de producción a escala	Baja	Baja	Baja
Acabado final	Regular	Regular	Bueno

### 3.10 Análisis de la viabilidad de la replicabilidad del producto

Para analizar la factibilidad del proyecto, se realizó un análisis de costo entre la fabricación local a través de manufactura aditiva de las bisagras en un año, versus la adquisición de las bisagras a través de la importación directa de las UCPs. Partiendo que nuestra muestra nos indicó que la cantidad de UCPs con falla de bisagras en un mes es de 114 unidades (ver tabla 3), se obtuvo que la proyección anual es de 1368 UCPs; en base a este resultado, se obtuvo todas las consideraciones para el análisis de costos, detallados en la Tabla 6.

Tabla 6. Detalle de los costos totales relacionados a la fabricación local de las bisagras y la importación de nuevas UCPs.

COSTO DE PRODUCCIÓN DE BISAGRAS VS COSTO DE IMPORTACIÓN UCPs				
Cantidad de UCPs al año (und)	1368			
Cantidad de bisagras por UCPs (und)	4			
Cantidad de bisagras (und)	5472			
Peso de bisagra (gr)	17			
Cantidad de rollos de filamento (und)	93			
Cantidad de impresoras (und)	5			
Tiempo de impresión de bisagra (horas)	0.42			
Consumo eléctrico impresoras (KWh)	1.75			
Tiempo total de impresión (horas)	2280.00			
Tiempo total de impresión (días)	95.00			
COSTO DE PRODUCCIÓN DE BISAGRAS				
Ítem	Unidad	Cantidad	Cost. Unitario	Valor
Rollo de filamento	UND	93	\$ 38.00	\$ 3,534.91
Impresora 3D	UND	5	\$ 350.00	\$ 1,750.00

<i>Consumo eléctrico total</i>	KWh	3990	\$ 0.09	\$ 359.10
<i>Laca para adherir</i>	UND	2	\$ 5.00	\$ 10.00
<b>Total</b>				<b>\$ 5,654.01</b>
<b>COSTO DE IMPORTACIÓN DE UCPs</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Cost. Unitario</b>	<b>Valor</b>
<i>Cantidad de cubetas</i>	UND	1368	\$ 18.50	<b>\$ 25,308.00</b>

Esta proyección nos da como resultado que en 95 días podremos fabricar el stock necesario de bisagras para cubrir la demanda de todo un año. Adicional, el costo unitario de cada bisagra es de 0,68 ctvs. Comparando con la compra e importación directa de la misma cantidad de UCPs que se recuperarán, nos muestra un ahorro de 19,653.99 USD.

# CAPÍTULO 4

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

1. La manufactura aditiva local es la mejor opción para la producción de las bisagras, ya que permite recuperar 1368 cubetas al año con un costo de 5,654.01 USD en solo 95 días. En comparación, la importación de la misma cantidad de cubetas requeriría 120 días y un gasto de 25,308 USD. Optar por la manufactura aditiva local no solo reduce los tiempos de reposición de las cubetas, sino que representa un ahorro de 19,653.99 USD, haciendo que esta alternativa sea la más eficiente y rentable.
2. De los rediseños planteados, el rediseño 3.0 satisface las condiciones de operación requeridas, además de que su diseño con un enfoque más profundo hacia la manufactura aditiva, a diferencia de los otros rediseños, no genera soportes durante la fase de impresión, por lo tanto, no se generan desperdicios. Adicional, el tiempo de impresión resulta menor en comparación con los otros rediseños, en una diferencia aproximada de 23 min (117 min vs 140 min).
3. Durante la evaluación de la metodología de diseño para manufactura aditiva, se consideró la tecnología de extrusión y la fabricación a través de materiales como ABS, PLA y ASA. Finalmente, el material seleccionado fue ASA para el rediseño 3.0, resultando en la opción más viable debido a sus mejores propiedades tanto a nivel de operación (mecánicas) y de impresión 3D. La evaluación de la metodología de diseño permitió optimizar material (al no usar soportes) y satisfacer las condiciones mecánicas mínimas requeridas a través de la aplicación del principio de anisotropía.

### 4.2 Recomendaciones

1. Para reducir aún más los costos en la manufactura aditiva local, se recomienda realizar una iteración adicional en el diseño de la bisagra, aplicando la optimización topológica. Esto permitiría disminuir la cantidad de filamento utilizado y reducir el tiempo de impresión, haciendo el proceso más eficiente y económico.
2. En virtud de evaluar la impresión 3D de las bisagras a través de otra tecnología, es posible aplicar la tecnología de fotopolimerización. Si bien en este proyecto se analizó la tecnología de extrusión únicamente, fotopolimerización tiene aplicaciones fuertemente ligadas a partes funcionales, lo que se requiere justamente en la bisagra. La evaluación se puede realizar a nivel de costos (más costosa que la tecnología de extrusión) y a nivel de características de impresión, donde se sabe ciertamente que las propiedades del material suelen cambiar con el tiempo, además de la complejidad en la manipulación de la resina durante el retiro de la pieza de la impresora.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, F. (2018). ¿Qué es el cross docking y para qué sirve? *School, EAE Business*. (C. Esan, Entrevistador) Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2018/10/que-es-el-cross-docking-y-para-que-sirve/>

Androsenko, A. (11 de 07 de 2024). *Patente n° 20240228155*.

Balderrama-Armendariz, C. O., MacDonald, E., Roberson, D. A., Ruiz-Huerta, L., Maldonado-Macias, A., Valadez-Gutierrez, E., . . . Espalin, D. (2019). Folding behavior of thermoplastic hinges fabricated with polymer extrusion additive manufacturing. 233-245. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-019-04196-x>

Bandyopadhyay, A., Gualtieri, T., & Bose, S. (2015). Global Engineering and Additive Manufacturing. *Additive Manufacturing*, 1-18. doi:10.1201/b18893-2

Bocanegra, A. T., Fernández, D., & Ubaqui, V. C. (2013). *Estereolitografía: Conceptos básicos*. Revista Estomatología Herediana. Obtenido de <https://doi.org/10.20453/reh.v23i2.2300>

CEUPE. (2018). *¿Qué son los sistemas de almacenaje?* Obtenido de <https://www.ceupe.com/blog/que-son-los-sistemas-de-almacenaje.html>

Evers, J., & Johnson, K. (7 de 2017). *Investigation of a Method to Determine Mechanical Properties of Integral Composite Hinges for Application in Foldable Skis*. Obtenido de Investigation of a Method to Determine Mechanical Properties of Integral Composite Hinges for Application in Foldable Skis

Fernando, V. A. (27 de 06 de 2018). Automatización en la preparación de pedidos (Picking) en un centro de distribución de consumo masivo con tecnología Pick to light. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10654/17827>.

Ferrer, V. (2019). *El Picking en Logística*. Obtenido de <https://vicentferrer.com/el-picking-en-logistica/>

Fonda, C. (2015). *Guía Práctica para tu Primera Impresión 3D*. Obtenido de [https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/guc3ada-prc3a1ctica-para-tu-primera-impresic3b3n-3d\\_carlo-fonda1.pdf](https://impresion3denelictp.files.wordpress.com/2014/03/guc3ada-prc3a1ctica-para-tu-primera-impresic3b3n-3d_carlo-fonda1.pdf)

Hermida, É. (2011). Polímeros. En I. N. Tecnológica, *Polímeros*. Buenos Aires, Argentina.

Jada, E., & Kathryn, J. (2017). *Investigation of a Method to Determine Mechanical Properties of Integral Composite Hinges for Application in Foldable Skis*. The Faculty of the Materials Engineering Department California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

Jmerson, L. (2024). Bisagras vivas: Principios de diseño, funcionalidad y aplicaciones, de bisagras vivas. *First Mold*. Obtenido de <https://firstmold.com/es/tips/living-hinges/>

Larkin, N. R., Makridou, E., & Comerford, G. (1998). Plastic storage containers: A comparison. *The Conservator*, 22:1,81-87. doi:10.1080/01410096.1998.9995130

Martínez, C. A., & Rubio, J. P. (Abril de 2014). Tecnologías de fabricación aditiva. La impresora 3D, antecedentes y funcionamiento. doi:10.52143/2711-029X.92

Mecalux. (9 de 10 de 2019). *Expedición de mercancías: fases y claves para el éxito*. Obtenido de <https://www.mecalux.com.co/blog/expedicion-mercancias>

Porras, R., Alonso, W., Hernández, P., & Alexander, J. (2015). Caracterización de la Logística de la Cadena de Abastecimiento de Envases, Empaques y Embalajes de Plástico en Bogotá. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/3037>

Porras, W. A., & Hernández, J. A. (2015). Caracterización de la Logística de la Cadena de Abastecimiento de envases, empaques y embalajes de plástico en Bogotá. *Proyecto Circular de Ingeniería Industrial*. Universidad Distral Francisco José de Caldas, Bogotá.

Sathish, H. (n.d). *PLASTICS BASED PACKAGE FORMS & SPECIALITY PACKAGING FOR FOOD PRODUCTS*. Central Food Technological Research Institute, Mysore, India.

Vásquez, R. M. (3 de 07 de 2015). *Zona logística*. Obtenido de El Picking... ¿Problema o Solución?: <https://www.zonalogistica.com/el-picking-problema-o-solucion/>

Wang, C., & Wang, Y. (2017). The mechanical design of a hybrid intelligent hinge with shape memory polymer and. *Composites Part B*. doi:10.1016/j.compositesb.2017.09.039

Whittall, A. (1964). The polypropylene hinge. *Production Engineer*, 389-393. doi:10.1049/tpe.1964.0052

Willems, B., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2007). Active snap-fit development using topology optimization. *International Journal of Production Research*. doi:10.1080/00207540701440311

## 6 ANEXOS

### ANEXO A

#### COSTOS POR IMPORTACIÓN DIRECTA DE UCPS

##### 2. PRECIOS Y MODALIDAD DE PAGO

Ref.	Cantidad	Precio (FOB Amberes - Bélgica)	Precio total (neto, s/impuestos)
<b>Cubetas BITO MBDU64321 incl. logotipo "Difare"</b>	3.888 uds	17,90 €/ud	69.595,20 €
<b>Medias tapas MBDU64</b>	2.000 uds	3,85 €/ud	7.700,00 €

Figura 24. Costos por importación directa de unidades de preparación. Fuente: BITO Sistemas de Almacenaje.

### ANEXO B

#### PROPIEDADES MECÁNICAS EN MATERIALES PARA LA TECNOLOGÍA DE EXTRUSIÓN

Propiedades mecánicas de termoplásticos para extrusión de material					
Product	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (MPa)	Tensile elongation, break (%)	Flexural strength (MPa)	Flexural modulus (MPa)
CYCOLAC™ AMMG94F ABS [8]	ASTM D638 26 (XY) 26 (ZX) 27 (XZ) Break	ASTM D638 2030 (ZX) 2065 (XY) 2132 (XZ)	ASTM D638 1.8 (ZX) 5.9 (XZ) 6.9 (XY)	ASTM D790	ASTM D790 1772 (ZX) 1997 (XY) 2017 (XZ)
ABS B 10 3D [8]	ISO 527 47	ISO 527 2350			
ABS-BSC-WHITE [9]	ASTM D638 42			ASTM D790 68	ASTM D790 2255
ABS-M30 [10]	ASTM D638 28.1 (XZ) 26.8(ZX) Ultimate	ASTM D638 2400 (XZ) 2300 (ZX)	ASTM D638 8.1 (XZ) 1.8 (ZX)	ASTM D790 58.7 (XZ)	ASTM D790 2220 (XZ) 1960 (ZX)
PC-ABS [10]	ASTM D638 34 (XZ) 25 (ZX) Ultimate	ASTM D638 1980 (XZ) 1800 (ZX)	ASTM D638 4.7 (XZ) 1.8 (ZX)	ASTM D790	ASTM D790 45 (ZX)
PC-PRM-175-750 [11]	ISO 527 66	ISO 527 2400	ISO 527 6		
E-PLA [12]	ISO 527 58 (break)	ISO 527 2870	ISO 527 8	ISO 178 120	ISO 178 3155
BigRep PLA [8]	ISO 527 60				ISO 178 3800

Figura 25. Propiedades mecánicas en termoplásticos mediante extrusión de material.