



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PARA LA ELABORACIÓN
DE PLATOS DESECHABLES A PARTIR DE MATERIAL BIODEGRADABLE
DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**

AUTOR: Brayan Manuel Guamán Cando

TUTOR: Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PARA LA ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES A PARTIR DE MATERIAL BIODEGRADABLE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**, elaborado por el Sr. Brayan Manuel Guamán Cando portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0550230056, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



.....
Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Brayan Manuel Guamán Cando, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0550230056, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PARA LA ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES A PARTIR DE MATERIAL BIODEGRADABLE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**, así como también las ideas de diseño, parámetros, criterios, análisis, graficas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



Brayan Manuel Guamán Cando

C.I. 0550230056

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta, y procesos de investigación según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



.....
Brayan Manuel Guamán Cando

C.I. 0550230056

AUTOR

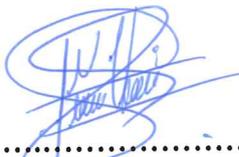
APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Brayan Manuel Guamán Cando de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOLDE PARA LA ELABORACIÓN DE PLATOS DESECHABLES A PARTIR DE MATERIAL BIODEGRADABLE DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**.

Ambato, febrero 2024

Por constancia firman:


.....
Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR


.....
Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios, por haberme guiado en el camino del conocimiento y la sabiduría, por brindarme la fortaleza necesaria en momentos difíciles, otorgándome salud y voluntad para cumplir mis metas y objetivos; y por haberme bendecido con una gran familia.

A mis queridos padres, Amada y Manuel, quienes son los pilares fundamentales de mi vida, agradecerles por sus valiosos consejos y enseñanzas, que me ayudan a sobresalir en cualquier situación que se me presente.

A mis queridos hermanos, Darío y Mauricio, quienes me brindan su cariño y apoyo incondicional.

También se la dedico a mi familia, en especial a mis queridos abuelitos: Manuel y Aurora por parte de mi padre; Rosalino y Diocelina por parte de mi madre, quienes me brindan su apoyo, sabiduría y fuerza para lograr este objetivo.

Y finalmente, dedico a todas las personas que creyeron en mí y me brindaron su ayuda a lo largo de la carrera universitaria.

Brayan Manuel Guamán Cando

Ryan

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud y vida, otorgándome la oportunidad de estudiar. Agradezco de manera muy especial a mis queridos padres y hermanos, quienes han depositado su confianza en mí. Gracias por su apoyo incondicional y por sus buenos consejos.

Agradezco a toda mi familia, en especial a mis abuelitos, quienes, con su apoyo, sabiduría y fuerza, son una fuente de inspiración que me impulsa a seguir adelante.

Un especial agradecimiento a todos los docentes de la Carrera de Mecánica, a quienes les debo mi conocimiento y formación profesional. Agradezco al Ing. Mg. Jorge López tutor del presente trabajo de titulación, quien con su conocimiento y experiencia supo ayudarme y guiarme en la realización de este trabajo.

Finalmente, agradezco a la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por brindarme la oportunidad de formar parte de ella y formarme como profesional.

Brayan Manuel Guamán Cando

Ryan

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| APROBACIÓN DEL TUTOR | ii |
| AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | iii |
| DERECHOS DE AUTOR..... | iv |
| APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO | v |
| DEDICATORIA | vi |
| AGRADECIMIENTO..... | vii |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS..... | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| RESUMEN EJECUTIVO | xv |
| ABSTRACT..... | xvi |
| CAPITULO I..... | 1 |
| MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes investigativos | 1 |
| 1.1.1 Tema..... | 1 |
| 1.1.2 Antecedentes | 1 |
| 1.1.3 Justificación..... | 3 |
| 1.1.4 Fundamentación Teórica | 6 |
| 1.1.4.1 Materiales biodegradables | 6 |
| 1.1.4.2 Caña de azúcar | 7 |
| 1.1.4.3 Elaboración de platos biodegradables..... | 10 |
| 1.1.4.4 Normas relacionadas..... | 10 |
| 1.1.4.5 Molde..... | 13 |
| 1.1.4.6 Metales destinados a la matricería alimentaria | 14 |
| 1.1.4.7 Termoformado | 20 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| 1.1.4.8 | Parámetros de diseño | 24 |
| 1.1.4.9 | Método de elementos finitos..... | 26 |
| 1.2 | Objetivos | 28 |
| 1.2.1 | Objetivo general | 28 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 28 |
| CAPITULO II | | 29 |
| METODOLOGÍA | | 29 |
| 2.1 | Materiales | 29 |
| 2.2 | Métodos | 33 |
| 2.2.1 | Tipo de investigación | 33 |
| 2.2.2 | Método para el proceso de diseño | 34 |
| 2.2.3 | Programas..... | 36 |
| 2.2.4 | Cálculos y diseño | 36 |
| 2.2.4.1 | Cálculo de fuerza de embutido | 37 |
| 2.2.4.2 | Cálculo de fuerza de fricción | 39 |
| 2.2.4.3 | Fuerza de sujeción | 40 |
| 2.2.4.4 | Fuerza total | 41 |
| 2.2.4.5 | Selección de material de construcción para el molde..... | 42 |
| 2.2.4.6 | Diseño del molde | 43 |
| 2.2.4.7 | Sistema de calentamiento del molde..... | 44 |
| 2.2.4.8 | Mecanizado de la cavidad y punzón | 44 |
| 2.3 | Ensayos para materiales | 51 |
| 2.3.1 | Ensayo de flexión..... | 51 |
| 2.3.2 | Ensayo de impacto | 52 |
| 2.4 | Hipótesis..... | 53 |
| 2.5 | Señalamiento de las variables de la hipótesis..... | 53 |
| 2.5.1 | Variable independiente | 53 |

| | | |
|--------------------------------------|--|-----|
| 2.5.2 | Variable dependiente | 53 |
| 2.5.3 | Termino de relación..... | 53 |
| CAPÍTULO III..... | | 54 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | | 54 |
| 3.1 | Análisis y discusión de los resultados | 54 |
| 3.1.1 | Análisis térmico transitorio al molde | 55 |
| 3.1.2 | Análisis estructural transitorio del molde | 61 |
| 3.1.3 | Temperatura real del molde..... | 64 |
| 3.1.4 | Experimentación para obtener el plato biodegradable | 66 |
| 3.1.5 | Dimensionamiento de probetas según las normas utilizadas | 72 |
| 3.1.6 | Ensayos de las probetas..... | 75 |
| 3.1.6.1 | Ensayo de flexión..... | 75 |
| 3.1.6.2 | Ensayo de impacto | 76 |
| 3.1.7 | Tabulación e interpretación de resultados de los ensayos | 76 |
| 3.1.7.1 | Tabulación de datos de las probetas a ensayo de flexión..... | 76 |
| 3.1.7.2 | Tabulación de datos de las probetas a ensayo de impacto | 82 |
| 3.2 | Verificación de la hipótesis..... | 86 |
| CAPÍTULO IV..... | | 90 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 90 |
| 4.1 | Conclusiones | 90 |
| 4.2 | Recomendaciones | 91 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | | 92 |
| ANEXOS | | 101 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Propiedades del bagazo de caña de azúcar. | 9 |
| Tabla 2. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero inoxidable 316..... | 16 |
| Tabla 3. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero inoxidable 403..... | 17 |
| Tabla 4. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero inoxidable 304..... | 18 |
| Tabla 5. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas de la aleación de aluminio 6063. | 19 |
| Tabla 6. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas de la aleación de aluminio 7075. | 19 |
| Tabla 7. Equipos y materiales..... | 29 |
| Tabla 8. Valores para los parámetros del esquema. | 38 |
| Tabla 9. Valores para la ecuación 1. | 38 |
| Tabla 10. Valores para la ecuación 5. | 40 |
| Tabla 11. Valores para la ecuación 7. | 41 |
| Tabla 12. Asignación de valores de ponderación. | 42 |
| Tabla 13. Criterios y ponderaciones para la selección del material de construcción del molde. | 43 |
| Tabla 14. Cálculo de velocidad para la etapa de desbaste con la fresa de $\varnothing = 18 \text{ mm}$ | 47 |
| Tabla 15. Cálculo de velocidad para la etapa de desbaste con la fresa de $\varnothing = 12 \text{ mm}$ | 48 |
| Tabla 16. Cálculo de velocidad con fresa de 6 mm para el acabado..... | 48 |
| Tabla 17. Cálculo de velocidad con fresa de 8 mm para el acabado. | 49 |
| Tabla 18. Tolerancias de los diámetros del punzón y la cavidad..... | 50 |
| Tabla 19. Nomenclatura de tipos de falla en las probetas a ensayo de impacto..... | 53 |
| Tabla 20. Valores reales de temperaturas del molde..... | 64 |
| Tabla 21. Experimentación para la elaboración del plato biodegradable..... | 67 |
| Tabla 22. Experimentación para la elaboración del plato, variables ajustadas. | 69 |
| Tabla 23. Experimentación para la elaboración del plato diseño propuesto. | 71 |
| Tabla 24. Dimensiones de probetas para ensayos a flexión. | 73 |
| Tabla 25. Dimensiones de probetas para ensayos de impacto..... | 73 |
| Tabla 26. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 1..... | 77 |
| Tabla 27. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 2..... | 79 |

| | |
|--|----|
| Tabla 28. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 3. | 81 |
| Tabla 29. Ficha técnica del material biodegradable a impacto caso 4. | 83 |
| Tabla 30. Ficha técnica del material biodegradable a impacto caso 5. | 84 |
| Tabla 31. Ficha técnica del material biodegradable a impacto caso 6. | 85 |
| Tabla 32. Valores para la distribución t calculada. | 88 |
| Tabla 33. Resultados de los cálculos para obtener la distribución t calculada. | 88 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Caña de azúcar..... | 8 |
| Figura 2. Bagazo de la caña de azúcar..... | 9 |
| Figura 3. Descomposición de la vajilla biodegradables durante 60 días..... | 10 |
| Figura 4. Molde estándar de dos placas..... | 13 |
| Figura 5. Molde de correderas..... | 14 |
| Figura 6. Molde de niveles..... | 14 |
| Figura 7. Etapas del termoformado en vacío..... | 21 |
| Figura 8. Etapas del termoformado a presión o soplado..... | 21 |
| Figura 9. Etapas del termoformado mecánico..... | 22 |
| Figura 10. Elemento tipo viga (Beam)..... | 27 |
| Figura 11. Elemento tipo cáscara (Shell)..... | 27 |
| Figura 12. Diagrama de proceso de construcción del molde..... | 34 |
| Figura 13. Diagrama de proceso para la elaboración del plato con material biodegradable..... | 35 |
| Figura 14. Esquema de parámetros del plato a embutir..... | 37 |
| Figura 15. Área de presión del punzón..... | 39 |
| Figura 16. Valores recomendados de velocidades de corte para mecanizado de varios metales..... | 45 |
| Figura 17. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en desbaste..... | 46 |
| Figura 18. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en acabado..... | 47 |
| Figura 19. Tolerancias generales según ISO 2768..... | 49 |
| Figura 20. Ajustes recomendados por la ISO..... | 50 |
| Figura 21. Diseño del punzón..... | 54 |
| Figura 22. Diseño de la cavidad..... | 55 |
| Figura 23. Ensamble del molde..... | 55 |
| Figura 24. Distribución de la temperatura de 80 °C en el punzón a 360 segundos..... | 56 |
| Figura 25. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 80 °C..... | 56 |
| Figura 26. Distribución de la temperatura de 125 °C en el punzón a 420 segundos..... | 57 |
| Figura 27. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 125 °C..... | 57 |
| Figura 28. Distribución de la temperatura de 170 °C en el punzón a 540 segundos..... | 57 |
| Figura 29. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 170 °C..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 30. Distribución de la temperatura de 80 °C en la cavidad a 360 segundos.. | 59 |
| Figura 31. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 80 °C. .. | 59 |
| Figura 32. Distribución de la temperatura de 125 °C en la cavidad a 420 segundos. | 59 |
| Figura 33. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 125 °C. | 60 |
| Figura 34. Distribución de la temperatura de 170 °C en la cavidad a 540 segundos. | 60 |
| Figura 35. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 170 °C. | 60 |
| Figura 36. Deformación total del molde completo. | 62 |
| Figura 37. Deformación direccional del molde completo en el eje Y. | 62 |
| Figura 38. Esfuerzo equivalente de Von Mises del molde completo. | 63 |
| Figura 39. Factor de seguridad del molde completo. | 63 |
| Figura 40. Corte de probetas con láser. | 74 |
| Figura 41. Corte de probetas según la norma ASTM D7264. | 74 |
| Figura 42. Corte de probetas según la norma ASTM D5628. | 75 |
| Figura 43. Probetas para el ensayo de flexión. | 75 |
| Figura 44. Probetas para el ensayo de impacto. | 76 |
| Figura 45. Extracto de la tabla de valores de distribución t Student. | 87 |

RESUMEN EJECUTIVO

El incremento en la utilización de productos y artículos denominados de un solo uso, elaborados principalmente con derivados del petróleo, como el plástico, que contaminan el medio ambiente debido a su ineficiente reciclaje y desecho, obligando al estudio y desarrollo de nuevos materiales con propiedades biodegradables. El objetivo de este trabajo es incentivar y potenciar la investigación y uso de materiales biodegradables, para lo cual se realizó el diseño y construcción de un molde para la elaboración de platos con material biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar.

Se realizó una investigación de tipo hipotético-deductivo, considerando parámetros de diseño para la construcción del molde, así como normas específicas para su uso en procesos de contacto con alimentos. Se realizaron varios análisis de tipo térmico-estructural al molde, utilizando software especializado, simulando situaciones con condiciones previamente determinadas; en cuanto al material biodegradable se realizaron varias pruebas de experimentación en base a cantidades ya experimentadas en anteriores investigaciones, se realizaron modificaciones a las cantidades recomendadas y se observó su comportamiento hasta alcanzar un rendimiento óptimo; se realizaron pruebas para verificar las propiedades mecánicas del producto obtenido.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas (ensayo de flexión e impacto) realizadas al material biodegradable se estableció que la cantidad de composición con las mejores características es de 20 gramos de bagazo de caña, 35 gramos de almidón de papa y 33 mililitros de agua, bajo condiciones de prensado de 110 grados centígrados y 8 bares.

Palabras claves: Parámetros de diseño, material biodegradable, bagazo de caña de azúcar, propiedades mecánicas, ensayo de flexión e impacto.

ABSTRACT

The increase in the use of single-use products and items, primarily made from petroleum derivatives such as plastic, contributes to environmental pollution due to inefficient recycling and disposal practices. This necessitates the exploration and development of new materials with biodegradable properties. The objective of this work is to encourage and promote research and the use of biodegradable materials. To achieve this, a mold was designed and constructed for the production of plates using biodegradable material derived from sugarcane bagasse.

A hypothetical-deductive research approach was employed, considering design parameters for mold construction and specific standards for its use in food-contact processes. Thermal-structural analyses of the mold were conducted using specialized software, simulating situations with predetermined conditions. Regarding the biodegradable material, various experimental tests were conducted based on quantities previously explored in earlier research. Modifications were made to the recommended amounts, and their behavior was observed until optimal performance was achieved. Tests were conducted to verify the mechanical properties of the obtained product.

Based on the results of mechanical tests (bending and impact tests) performed on the biodegradable material, it was determined that the optimal composition includes 20 grams of sugarcane bagasse, 35 grams of potato starch, and 33 milliliters of water, under pressing conditions of 110 degrees Celsius and 8 bars.

Keywords: Design parameters, biodegradable material, sugarcane bagasse, mechanical properties, bending test, impact test.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Tema

Diseño y construcción de un molde para la elaboración de platos desechables a partir de material biodegradable de bagazo de caña de azúcar.

1.1.2 Antecedentes

Según Aguilar et al. [1], indican que uno de los principales problemas de la contaminación ambiental prácticamente en la mayoría de las ciudades del mundo es el inadecuado uso de los residuos sólidos que son depositados en vertederos sin antes realizar procesos de recolección, clasificación y tratamiento adecuado. Estos vertederos han empezado a llenarse debido al aumento de la población urbana, el crecimiento descontrolado de la industria, entre otros factores, lo que está causando graves problemas ambientales debido a su ineficiente manejo.

Para Valarezo y Punín [2], ante esta realidad el mundo se enfrenta a la creciente demanda de crear nuevos materiales que puedan reemplazar a los productos derivados del petróleo, ya que estos no son biodegradables y sus procesos de degradación son muy complejos, como alternativa sugieren los polímeros de fuentes renovables con un ciclo limpio de producción y reutilización. Es responsabilidad de los ciudadanos identificar nuevas opciones que puedan reemplazar a los productos de plástico, ofreciendo los mismos beneficios, con el fin de preservar y regenerar el medio ambiente [3].

Como se indica en [4], existe un procedimiento para transformar el bagazo de caña de azúcar en productos alimenticios a través del moldeo de pulpa. Esta estrategia permite de manera sostenible y ecológica aprovechar los desechos generados por la industria azucarera. Los envases producidos mediante este proceso son completamente biodegradables, renovables y respetuosos con el entorno natural. Además, presentan

características sobresalientes para su utilización en el envasado de alimentos, como una alta resistencia a la tracción, excelente capacidad para resistir al aceite, notoria repelencia al agua y bajos niveles de contenido de metales pesados. Esta metodología representa una opción prometedora para la fabricación de envases alimentarios que cumplen con los requisitos técnicos y son amigables con el medio ambiente.

Con lo expuesto por [5], los envases elaborados a partir del bagazo de la caña de azúcar son lo suficientemente resistentes para contener líquidos como el plástico, sino que también superan a la vajilla biodegradable hecha de materiales reciclados. Estos envases se destacan por su rápido tiempo de descomposición, que oscila entre 30 y 45 días, perdiendo por completo su forma después de 60 días. Además, el proceso de fabricación de estos envases emite un 97% menos de CO₂ en comparación con los envases de plástico disponibles en el mercado, y un 65% menos de CO₂ en comparación con los productos de papel y plástico biodegradable. A pesar de estos beneficios, uno de los desafíos principales radica en lograr que el proceso de fabricación sea más eficiente energéticamente y reducir aún más los costos para poder competir con el plástico.

Realizaron ensayos de fuerza – resistencia, permeabilidad y biodegradabilidad a los platos elaborados a partir de bagazo de caña de azúcar [6]. Los platos fueron evaluados mediante pruebas de resistencia, peso y espesor de su superficie, y se compararon con un producto similar de la compañía PLASTLIT, que posee características físicas parecidas. Para las pruebas de permeabilidad expusieron a los platos a una cierta cantidad de agua obteniendo un tiempo delimitado en cuanto a su permeabilidad. Las pruebas de biodegradabilidad se realizaron de dos formas: la primera los platos fueron expuestos a un medio acuático durante un cierto periodo de tiempo, también se expuso a la intemperie.

1.1.3 Justificación

Desde la creación del plástico en la década de los 50s, su producción destinada a distintos sectores industriales ha ido en aumento al transcurso de los años. Esto debido a su versatilidad en la producción y bajo costo, hasta que en la década de los 80s alcanzó el punto más alto de consumo, comparándolo con los demás materiales [7]. Sin embargo, la confiabilidad del uso y producción de este material es afectado por el pésimo manejo después de su utilización. El mundo genera anualmente 430 millones de toneladas de plástico, y dos tercios de esta cantidad se emplean solo durante un periodo corto de tiempo, se estima que para el año 2060 la contaminación por plásticos se triplicará [8]. El 46 % de los productos elaborados con plástico terminan en vertederos, el 22 % se convierte en basura ocasionado enormes cantidades de residuos, el 17 % se incinera afectando al medio ambiente con la combustión de sus aditivos altamente contaminantes y tan solo el 15 % destinado al reciclaje [8], [9].

Debido a que las bolsas, recipientes y demás objetos elaborados de plástico terminan en ciertos lugares, siendo el mar el mayor contenedor de estos desechos como consecuencia, el 60% al 80% de los desechos en el entorno marino consisten en plástico [10]. Los objetos de plástico de un solo uso, que se rompen en piezas muy pequeñas, llamadas microplásticos. Estos microplásticos son aquellas fibras, fragmentos, gránulos, escamas y pellets que miden desde un nanómetro hasta cinco milímetros de largo [11]. Los microplásticos pueden ser transportados por vientos y corrientes marinas propagándose por diversos ecosistemas, afectando a la fauna marina y que pueden ingresar a la cadena alimentaria perjudicando la salud del ser humano [12]. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su informe del medio ambiente reveló la presencia de microplásticos en la sal de mesa comercial, así como también algunos estudios aseguran aproximadamente que en el 90% del agua embotellada y en el 83% del agua potable existe la presencia de partículas de plástico [13].

Según [14], en 2021 la producción global de plástico alcanzó los 390,7 millones de toneladas. China se destacó como el principal productor con el 32%, mientras que Latinoamérica contribuyó con el 4% de la producción mundial. Se destaca que el 40% del total de plástico fabricado se destinó a aplicaciones de corta duración. El uso de

materiales plásticos por aplicaciones o sectores reveló que el 44% del plástico producido en ese año se empleó en empaques, evidenciando la relevancia de esta industria.

Según [15], en Ecuador el 80% de hogares utiliza fundas plásticas para comprar sus alimentos y diariamente cada persona usa por lo menos dos elementos plásticos desechables. En el año 2019 la generación de residuos plástico es de 528.000 toneladas equivalente al 11% del total de desechos producidos en este año, considerando que el plástico producido en Ecuador es fabricado a partir de derivados del petróleo, por más que se lo recicle sus aditivos permanecerán contaminado durante varios años. También [16] señala que, en el período de enero a abril de 2019, se recolectaron un total de 9,533 kilogramos de residuos en las Islas Galápagos. Para mitigar esta problemática se ha identificado nuevas alternativas de generar materiales biodegradables con la finalidad de reemplazar al plástico.

Según la Asociación ecuatoriana de plásticos (Aseplas), en Ecuador se cuenta con la participación de 600 compañías que se dedican a la fabricación de platos desechables. Esta actividad genera 19.000 puestos de trabajo directos y 120.000 empleos indirectos, lo que representa aproximadamente el 1,2% del Producto Interno Bruto (PIB) Nacional, es decir, una contribución económica valuada en 1.200 millones de dólares. Estas cifras resaltan claramente la relevancia significativa de esta industria en el país [17].

La Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo uso fue promulgada en Ecuador el 21 de diciembre de 2020. Esta legislación presenta múltiples prohibiciones y regulaciones con el propósito de disminuir el consumo y la contaminación derivada de los plásticos desechables. Una de sus medidas establece que, a partir de los 12 meses desde su entrada en vigor, queda prohibida la comercialización y utilización de bolsas y envases plásticos de un solo uso para bebidas y alimentos en áreas naturales protegidas, como islas, playas, ríos, lagos, bosques protectores y páramos que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, entre otras disposiciones [18].

En 2015, la Organización de las Naciones Unidas aprobó la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que consta de 17 objetivos. Una oportunidad para que los países y sus sociedades inicien un nuevo camino destinado a mejorar la calidad de vida de todas las personas, sin dejar a nadie rezagado [19]. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) están interconectados y abordan los desafíos globales que enfrentamos diariamente, fomentando la colaboración en torno a metas compartidas. Además de abordar la lucha contra la pobreza extrema, estos objetivos también equilibran y abarcan tres dimensiones fundamentales del desarrollo sostenible como son la económica, la social y la ambiental [20]. Los objetivos promueven la necesidad de combatir el cambio climático, promover fuentes de energía limpias, revertir la deforestación y modificar nuestros patrones de producción y consumo, con el fin de lograr un futuro sostenible para todos[19].

La planta de la caña de azúcar es el sexto producto de mayor cultivo en el Ecuador con un 9.44% del total de la superficie plantada de cultivos permanentes, esto representa aproximadamente 142.010 hectáreas, siendo Guayas la provincia con mayor cultivo [21]. Posterior al consumo de este producto se generan residuos como el bagazo y los cogollos que se utilizan de diferente manera en la ganadería, agrícola y energética [22], siendo esta última con mayor acogida en las industrias azucareras, el residuo conocido como bagazo se seca y se usa como combustible al ser incinerado para los generadores de vapor gracias a su poder calorífico [23].

El presente trabajo de investigación propone diseñar y construir un molde para la elaboración de platos biodegradables mediante el aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar, ya que este, es un residuo desechado después del proceso de extracción de jugo de caña, el bagazo puede ser utilizado como materia prima para la elaboración de productos biodegradables, esto representará una alternativa beneficiosa para reemplazar los plásticos convencionales de un solo uso. Contribuyendo a la sostenibilidad del medio ambiente y promoviendo al estudio, experimentación y utilización de materiales biodegradables con el uso de materia orgánica.

1.1.4 Fundamentación Teórica

1.1.4.1 Materiales biodegradables

Según [24], un material, objeto o producto es identificado como biodegradable cuando su estado físico se degrada, resultado de la acción de agentes biológicos y condiciones ambientales de distinto tipo, es decir, es la capacidad de descomponerse de algo en un intervalo de tiempo determinado. El tiempo que tarda en descomponerse estos materiales es variable y depende de sus aditivos y componentes. Por ejemplo, una bolsa biodegradable empieza a degradarse en un periodo aproximado entre 1 año y 3 a tres años [25]. Borrowman et al. describe al material biodegradable como polímeros que, al llegar al final de su ciclo de vida, puede descomponerse en condiciones de compostaje, dando lugar a subproductos como: dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), metano (CH_4), compuestos inorgánicos y biomasa aproximadamente en 12 meses, sin dejar ningún residuo visible o tóxico [26].

Tipo de materiales biodegradables

Según Germán Portillo existe tres tipos de materiales biodegradables más conocidos: primero los bioplásticos a partir de almidón y centeno, segundo los plásticos sintéticos y naturales biodegradables y tercero los papeles y telas naturales. El primer grupo de materiales en la actualidad tiene una gran acogida por parte de la industria, gracias a sus propiedades de degradación de 6 a 24 meses y la posibilidad de reemplazar a los plásticos convencionales a base de petróleo es muy amplia. El segundo grupo, especialmente los plásticos sintéticos son más conocido por su empleo en la medicina y su descomposición es más complejo que el primer grupo ya que se debe agregar sustancias que aceleren la degradación de sus elementos constituyentes, mientras que los plásticos naturales son polímeros producidos con recursos renovables. El tercer grupo, su utilización está presente en la vida cotidiana en diversas actividades, proveniente de restos de organismos vivos o muertos (animales y plantas) como: papel, periódico, cuero, lana, etc. Se descomponen fácilmente sin la necesidad de procesos o de aditivos que aceleren su degradación [27].

Para Posada y Montes, los materiales biodegradables pueden ser categorizados según su origen en proteínas y polisacáridos obtenidos directamente de biomasa, ácido poliláctico (PLA) fabricado a partir de biopolímeros sintéticos derivados de biomasa, y petroquímicos como la policaprolactona (PCL) y el ácido poliglicólico (PGA). También se incluyen aquellos producidos mediante fermentación microbiana, como el polihidroxicanoato (PHA) y el ácido polihidroxitúrico (PHB) [28].

Biopolímeros

Según [29], los biopolímeros son macromoléculas constituidas por unidades funcionales, desarrollados por distintos organismos de forma directa o procesadas indirectamente, estas pueden ser biodegradables o compostables. Los biopolímeros son procesados con material orgánico existente en la naturaleza en forma de carbohidratos, proteínas, lípidos y otros elementos funcionales.

Envases biodegradables

Para Tashigano [30], los envases biodegradables son materiales que pueden ser utilizadas en lugar de materiales convencionales, cumplir con las demandas esenciales de los usuarios y al mismo tiempo desintegrarse de manera sencilla en el entorno ambiental. También se los puede describir como aquellos envases que se desintegran debido a la influencia de elementos biológicos como el agua, la radiación solar y diversos microorganismos, sin generar ningún rastro de microplásticos o residuos en el entorno natural [31].

1.1.4.2 Caña de azúcar

La caña de azúcar (ver Figura 1) es una planta reconocida a nivel mundial, su cultivo es principalmente para la producción de azúcar, de su tallo se extra la sacarosa, que es la materia prima para la industria azucarera, también se utiliza para la fabricación de bebidas alcohólicas destiladas, papel, cemento, fertilizantes y alimento para animales [32]. Reconocida científicamente con el nombre de *Saccharum officinarum*, es una planta que forma parte de la familia Poacea perteneciente a climas tropicales. Se

distingue por sus raíces poco profundas, tallos largos y exuberantes hojas, que pueden alcanzar alturas de 3 a 6 metros y tener un ancho de 5 metros [33].

Según [34], La caña de azúcar desempeña un papel significativo en la economía y las actividades estratégicas de Ecuador, siendo particularmente prominente en la provincia de Guayas, donde se encuentran los tres ingenios azucareros más importantes del país. Uno de los destacados es la Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos, S.A., una corporación líder en el sector azucarero con una trayectoria de 123 años de operación continua. De acuerdo con la Federación Nacional de Azucareros (FENAZUCAR), Ecuador dispone de más de 110,000 hectáreas de caña de azúcar, de las cuales aproximadamente 80,000 a 85,000 hectáreas se dedican a la producción de azúcar, mientras que el resto se destina a la elaboración de etanol y otros subproductos como la panela. La industria azucarera en Ecuador promueve aproximadamente más de 30.000 empleos directos y 80.000 indirectos [35].



Figura 1. Caña de azúcar [36].

Bagazo de la caña de azúcar

El bagazo es el subproducto después de la trituración del tallo de la caña de azúcar [37], es un material fibroso y húmedo (ver Figura 2), que por lo general se reutiliza como combustible, se encuentra en grandes cantidades en las industrias azucareras, por cada diez toneladas de caña que se trituran quedan de tres a cuatro toneladas de bagazo, estableciéndose como un desecho importante de la industria que puede ser aprovechado [38].



Figura 2. Bagazo de la caña de azúcar [39].

Propiedades del bagazo de caña de azúcar

Como se indica en [22], las propiedades físicas y químicas del bagazo de caña de azúcar pueden modificarse de acuerdo con el lugar donde se cultiva la caña de azúcar, la velocidad y eficiencia de la molienda. En la Tabla 1 se presenta un rango de valores de algunas propiedades físicas y químicas del bagazo de caña de azúcar. Para el rango de valores del poder calórico se considera un porcentaje de humedad no mayor al 15%.

Tabla 1. Propiedades del bagazo de caña de azúcar.

| Parámetro | Rango de valores |
|-----------------------|-------------------------|
| Humedad % | 48 – 50 |
| Fibra % | 40 – 45 |
| Lignina % | 18 – 20 |
| Poder calórico [kJ/g] | 15 – 20 |

Envases biodegradables elaborados con bagazo de caña de azúcar

Según [40], para realizar los envases biodegradables enrolaron fibras de bambú con fibras de bagazo, agregaron dímero de alquil ceteno (AKD) para aumentar la resistencia al aceite y agua, asegurando la solidez del envase cuando este mojado, lograron moldear un producto (ver Figura 3) que supera a los envases de alimentos biodegradables comerciales, teniendo ventajas en el proceso de fabricación ya que emite un 97% menos de CO₂ que los envases de plásticos y un 65 % menos de CO₂ de los productos de papel y plástico biodegradable. También sobresale por su tiempo

de degradación de 30 a 45 días y pierde por completo su forma después de 60 días. Sin embargo, uno de los desafíos más significativos consiste en mejorar la eficiencia energética en el proceso de fabricación y disminuir los costos aún más para poder competir con el plástico.



Figura 3. Descomposición de la vajilla biodegradables durante 60 días [40].

1.1.4.3 Elaboración de platos biodegradables

Una de las alternativas para mitigar el uso de los plásticos sintéticos fabricados con productos petroquímicos, es el desarrollo de actividades para la obtención de fibras orgánicas de productos desechados, se han realizado distintos procesos para la fabricación de productos biodegradables con diferentes material orgánicos como: el tallo del plátano que se utilizó para la fabricación de tejas después de un proceso de cepillado y secado, también se destaca la fabricación de bandejas con almidón de yuca mezclado con bagazo de caña de azúcar y la utilización de cascara de maíz y bagazo de malta o naranja [41].

1.1.4.4 Normas relacionadas

La normativa utilizada en el presente proyecto es de ámbito nacional e internacional, una de ellas es la norma europea EN 1672-2:2020 para construir máquinas destinadas al procesado de alimentos [42], esta norma está vigente en Ecuador como INEN-EN 1672-2 la cual es la versión en español de la norma europea, adaptada por el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN [43], otro similar es la norma RTE INEN 131 que aumenta el campo de aplicación de la norma [44], la norma UNE-EN 1186-1 para materiales y artículos en contacto con productos alimenticios [45]. El presente

proyecto tiene como función principal la fabricación de platos desechables a partir de material biodegradable que estará en contacto con varios alimentos, por lo tanto, la utilización de las normas mencionadas es aceptable.

Para el material biodegradable se hace referencia a normas que abarcan el campo de materiales en contacto con varios alimentos como la norma RTE INEN 100 [46]. Para determinar la biodegradabilidad del material se utilizan normas como la UNE-EN 13432 la cual establece los requisitos que deben poseer los envases y embalajes para ser aceptados como biodegradables. Sin embargo, ante la ausencia de normas para determinar propiedades mecánicas de materiales biodegradables, se hace referencia a la norma ASTM D5628-10 que es el método de prueba para la resistencia al impacto de plásticos y la norma ASTM D7264 la cual es el método de prueba para determinar las propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz polimérica [47].

A continuación, se describen de manera resumida las normas relacionadas con el tema de proyecto:

INEN-EN 1672-2:2017

Esta norma es la versión en español de la norma europea EN 1672-2:2006, adoptado por el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, establece los requerimientos de higiene aplicables a la maquinaria usada en la elaboración y procesamiento de alimentos dirigidos al consumo humano, con el fin de prevenir o reducir la probabilidad de contagio, infección, enfermedad o lesión provocada por los alimentos. También describe métodos de diseño y la información necesaria para la reducción de estos riesgos [43].

RTE INEN 131

Reglamento técnico que debe cumplir la maquinaria para procesamiento de alimentos, comercializados en todo el Ecuador, con el objetivo de proteger la seguridad, la vida y la salud de las personas. Se aplica a distintos sectores de producción como puede ser máquinas para productos de mar, frutas y verduras, gaseosas o bebidas alcohólicas, productos de la industria láctea, entre otras [44].

UNE-EN 1186-1

Esta norma proporciona una guía para la selección de condiciones y métodos de prueba apropiados para determinar la migración general de plásticos que serán utilizados en contacto con alimentos. Su objetivo es brindar recomendaciones sobre el tipo, las condiciones y el método de prueba más apropiados para aplicaciones específicas de artículos plásticos. [45].

RTE INEN 100

Este reglamento técnico trata sobre los límites de migración que se debe cumplir y aplicar de forma obligatoria a los materiales y artículos plásticos que estén en contacto con alimentos ya sea que se fabriquen, importen o se comercialicen en Ecuador. Uno de sus requisitos especifica que los materiales destinados al contacto con alimentos no transferirán parte de sus componentes a los productos alimenticios en cantidades superiores a 10 miligramos por decímetro cuadrado de superficie de los materiales [46].

Norma EN 13432

Esta normativa establece los requisitos para que los envases elaborados con bioplásticos puedan ser certificados como compostables y biodegradables, uno de los requisitos específicos es la degradación del material en un 90% en fragmentos de menos de 2mm durante 6 meses como máximo en presencia de dióxido de carbono, esto se debe comprobar conjunto con el método de prueba de laboratorio EN 14046 (o también conocida como ISO 14855) [48].

ASTM D5628-10

Método de prueba estándar para calcular el valor crítico de energía de falla de impacto necesario para agrietar o romper muestras de plástico rígido. La prueba se lleva a cabo mediante el uso de condiciones específicas de impacto utilizando un dardo de caída libre, y se basa en la realización de la prueba en múltiples muestras [49].

ASTM D7264

Es el método de prueba para identificar las propiedades de rigidez y resistencia a la flexión en los materiales compuesto de matriz polimérica en condiciones definidas. Este método se puede desarrollar a través de dos procedimientos A y B, el procedimiento A se usa para carga de tres puntos, mientras que el procedimiento B se utiliza para cargas de cuatro puntos [47].

1.1.4.5 Molde

El molde es una herramienta especial destinada a la producción de piezas u objetos elaborados con material plástico o metálico, con ayuda de la presión generada desde una prensa hidráulica o neumática, el molde convierte los materiales en productos con la forma y tamaño deseado [50].

Tipos de moldes

Los moldes se clasifican en función de distintos criterios, según el proceso en el que participa, el material del cual está elaborado, número de componentes o características que posee. A continuación, se detalla los diferentes tipos de moldes de acuerdo con las características que poseen [51].

Molde estándar

Formado por dos placas metálicas que están separadas por un espacio al inicio del proceso y una vez que la pieza se ha formado, las placas se separan sin necesidad de ayuda externa. Las placas pueden ser de acero o de aluminio, lo que aumenta su durabilidad y facilita su limpieza. En la Figura 4 se muestra este tipo de molde.



Figura 4. Molde estándar de dos placas [52].

Molde de correderas

Son aquellos moldes utilizados para la producción de piezas complejas, moldeadas por inyección o presión, estos moldes requieren de elementos adicionales que crean contrasalidas en el producto final, facilitando la expulsión de la pieza, los elementos se desplazan mecánica o hidráulicamente. En la Figura 5 se observa el tipo de molde de correderas.



Figura 5. Molde de correderas [53].

Molde de niveles

Es un conjunto de moldes de inyección superpuestos entre sí, formando un solo molde tipo sándwich, con el objetivo de mejorar la producción de la pieza, duplicando, triplicando o cuadruplicando el proceso de producción [54]. En la Figura 6 se puede observar este tipo de molde.

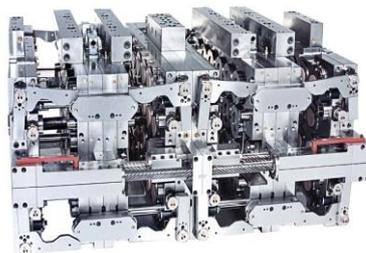


Figura 6. Molde de niveles [54].

1.1.4.6 Metales destinados a la matricería alimentaria

Para Briones y De la Cruz [55], existe una amplia gama de materiales que se emplea en el campo de la matricería, incluye opciones como aceros al carbono, aceros aleados, metales no ferrosos como aleaciones de aluminio y una categoría específica de aceros conocidos como "die steels" (aceros para matrices). También recomiendan el uso de

acero inoxidable (como acero 304) o aluminio en el contexto de producción debido a sus propiedades físicas y químicas relacionado con la higiene y la conductividad térmica.

Al construir o adquirir moldes existen muchos factores que se debe considerar, ya sea la forma, el proceso para el cual se va a construir o el acabado superficial que se desea otorgar a la pieza moldeada. Para ello la elección del material con el cual será construido es uno de los factores más importantes, ya que el material seleccionado otorgará las propiedades requeridas a los moldes, como la conductividad térmica, la resistencia a la tracción o la resiliencia, son algunos de los factores que se deben considerar. Existen diversos materiales para la construcción de moldes, como los aceros, aleaciones de aluminio, cobre, latón, epoxi y muchos otros. A continuación, se describen algunos materiales más comunes [50].

Acero inoxidable

Los aceros inoxidables se destacan por su capacidad de resistir la corrosión, ductilidad y por su significativo contenido de cromo. Son denominados "inoxidables" debido a que reacciona en contacto con el oxígeno, generando una capa de óxido de cromo que actúa como un escudo protector contra la corrosión. Esta capa protectora se regenera automáticamente si la superficie sufre algún daño. Para que este proceso ocurra, es necesario que el contenido mínimo de cromo en el material esté en el rango del 10% al 12% en peso [56].

Aceros inoxidables para la industria alimentaria

En el sector de la alimentación, el acero inoxidable se encuentra sometido a condiciones de calor, contacto con agua y uso de productos de limpieza abrasivos. En estas circunstancias, el acero inoxidable de calidad alimentaria debe mantener su durabilidad, mantenerse libre de óxido o corrosión y permitir una fácil desinfección. Además, su capacidad de resistir la formación de picaduras garantiza que mantenga una superficie que se pueda limpiar y mantener sin dificultad. Por último, su resistencia al calor le permite soportar temperaturas altas sin riesgo de sufrir daños [57].

Acero inoxidable de grado 316

Es una aleación de acero austenítico con una gran cantidad de cromo y níquel, tiene una temperatura de uso continuo de varias veces superior a la que requería la mayoría de los procesos de elaboración de alimentos más de 800 °C, consta de una alta resistencia a ácidos, álcalis y cloruros (sal) que generalmente se encuentra en los productos alimenticios [58]. Este acero es empleado en equipos para el procesamiento de alimentos y productos farmacéuticos, componentes externos utilizados en ambientes marítimos, implantes quirúrgicos y en equipos industriales que entran en contacto con productos químicos corrosivos durante sus procesos [59].

En la Tabla 2 se menciona algunas de sus propiedades.

Tabla 2. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero inoxidable 316 [59].

| Propiedades | Valor |
|--|----------------|
| Físicas | |
| Densidad | 8,00 g/cc |
| Mecánicas | |
| Dureza, Brinell | 150 HB |
| Resistencia a la tracción, máxima | 580 MPa |
| Resistencia a la tracción, rendimiento | 290 MPa |
| Alargamiento a la rotura | 50 % |
| Módulo de elasticidad | 193 GPa |
| Térmicas | |
| Conductividad térmica | 16,3 W/mK |
| Punto de fusión | 1370 – 1400 °C |

Acero inoxidable grado 403

Es una aleación ferrítica, significa que posee propiedades magnéticas. Es similar al acero inoxidable de grado 316 debido a su contenido similar de cromo, pero con un menor contenido de níquel. Presenta una extraordinaria resistencia a los ácidos nítricos

y orgánicos, además esta aleación tiene resistencia tanto a la oxidación como a sustancias que contienen azufre. Sin embargo, por su menor contenido níquel, muestra una menor resistencia a algunos ácidos diluidos a comparación con el acero inoxidable de grado 316, pero es una buena alternativa de bajo costo [57].

En la Tabla 3 se menciona algunas de sus propiedades.

Tabla 3. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero inoxidable 403 [60].

| Propiedades | Valor |
|--|----------------|
| Físicas | |
| Densidad | 7,80 g/cc |
| Mecánicas | |
| Dureza, Brinell | 139 HB |
| Resistencia a la tracción, máxima | 485 MPa |
| Resistencia a la tracción, rendimiento | 310 MPa |
| Alargamiento a la rotura | 25 % |
| Módulo de elasticidad | 200 GPa |
| Térmicas | |
| Conductividad térmica | 21,5 W/mK |
| Punto de fusión | 1480 – 1530 °C |

Acero inoxidable grado 304

Es el acero inoxidable más utilizado en el mundo, aleación austenítica al igual que el acero inoxidable 316, cuenta con 8 a 10,5 % de níquel y de 18 a 20 % de cromo. También, posee carbono, manganeso y silicio en pequeñas cantidades, otorgándole una resistencia alta al calor y a la corrosión. Sin embargo, es propenso a la corrosión en presencia de soluciones salinas o ambientes con alto contenido de cloruro. Los iones de cloruro pueden generar áreas de corrosión localizada conocidas como "picaduras", que pueden propagarse por las capas de protección de cromo, comprometiendo la integridad interna de la estructura. Se utiliza en maquinaria y conductos de la industria

química, en componentes de sistemas de intercambio de calor, en maquinaria y dispositivos de procesamiento de alimentos y productos lácteos, en recipientes y componentes destinados a aplicaciones criogénicas, así como en proyectos de construcción y estructuras que se encuentran en ambientes no marinos [61].

En la Tabla 4 se menciona algunas de sus propiedades.

Tabla 4. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero inoxidable 304 [62].

| Propiedades | Valor |
|--|----------------|
| Físicas | |
| Densidad | 8,00 g/cc |
| Mecánicas | |
| Dureza, Brinell | 123 HB |
| Resistencia a la tracción, máxima | 505 MPa |
| Resistencia a la tracción, rendimiento | 215 MPa |
| Alargamiento a la rotura | 70 % |
| Módulo de elasticidad | 193 GPa |
| Térmicas | |
| Conductividad térmica | 16,2 W/mK |
| Punto de fusión | 1400 – 1455 °C |

Aleación de aluminio 6063

Es conocida como aleación arquitectónica, posee buenas propiedades mecánicas, buen acabado superficial y alta resistencia a la corrosión, sus componentes de aleación es el magnesio y silicio. Se puede soldar, anodizar y tratar térmicamente fácil. Se utiliza en tubos de riego, extracciones intrincadas, puertas, aplicaciones arquitectónicas, techos, marcos de ventanas y carteles [63].

En la Tabla 5 se menciona algunas de sus propiedades

Tabla 5. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas de la aleación de aluminio 6063 [64].

| Propiedades | Valor |
|--|--------------|
| Físicas | |
| Densidad | 2,70 g/cc |
| Mecánicas | |
| Dureza, Brinell | 60 HB |
| Resistencia a la tracción, máxima | 186 MPa |
| Resistencia a la tracción, rendimiento | 145 MPa |
| Alargamiento a la rotura | 18 % |
| Módulo de elasticidad | 68,9 GPa |
| Térmicas | |
| Conductividad térmica | 209 W/mK |
| Punto de fusión | 616 – 654 °C |

Aleación de aluminio 7075

Conocido comercialmente con el nombre de duraluminio, es una aleación de aluminio con alta conductividad térmica, buena resistencia a la fatiga, alta resistencia mecánica en comparación con otras aleaciones, alta maquinabilidad con buen acabado superficial y resistente a la corrosión. Se utiliza para la construcción de piezas estructurales que requieren resistencia a la corrosión, moldes de inyección, moldes para suelas de zapatos, moldes para termoformado o soplado de termoplásticos [65].

En la Tabla 6 se menciona algunas de sus propiedades

Tabla 6. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas de la aleación de aluminio 7075 [66].

| Propiedades | Valor |
|--------------------|--------------|
| Físicas | |
| Densidad | 2,81 g/cc |

| Propiedades | Valor |
|--|--------------|
| Mecánicas | |
| Dureza, Brinell | 150 HB |
| Resistencia a la tracción, máxima | 524 MPa |
| Resistencia a la tracción, rendimiento | 462 MPa |
| Alargamiento a la rotura | 9 % |
| Módulo de elasticidad | 71,7 GPa |
| Térmicas | |
| Conductividad térmica | 130 W/mK |
| Punto de fusión | 477 – 635 °C |

1.1.4.7 Termoformado

También conocido como termoconformado, es un proceso que implica el calentamiento de una lámina de material termoplástico, volviéndola temporalmente flexible para moldearla según la forma de una matriz o molde, utilizando presión o succión de aire [67]. Este proceso permite a los fabricantes crear envases y embalajes en cantidades pequeñas como grandes de manera económica [68].

Métodos de termoformado

Los métodos son variados y depende de la necesidad que se quiera satisfacer. Entre los más utilizados en diversas industrias, se destacan los siguientes:

Termoformado en vacío: emplea el vacío para dar forma a la lámina de plástico caliente, al extraer el aire la lámina se estira sobre el molde. Este método es ventajoso por la rentabilidad y velocidad del proceso de fabricación. Produce piezas dimensionalmente estables en un lado y exhiben una alta calidad estética en el otro. [68]. En la Figura 7 se ilustra el método de termoformado por vacío.

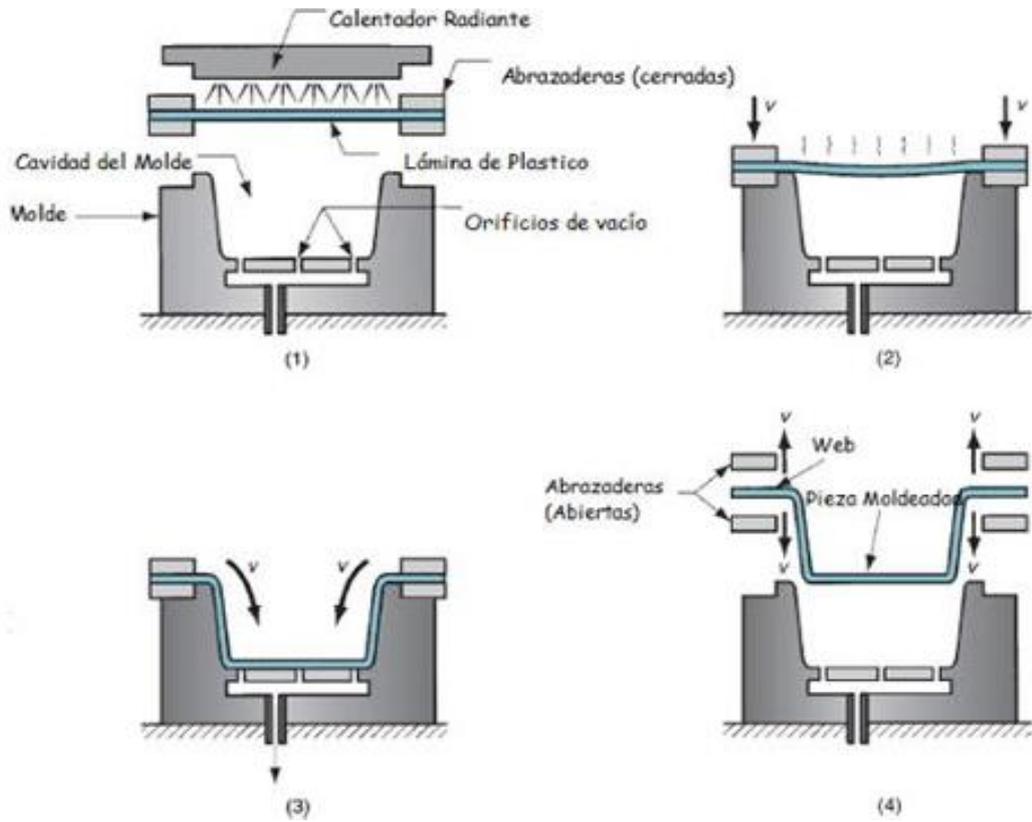


Figura 7. Etapas del termoformado en vacío [69].

Termoformado a presión: se asemeja al conformado en vacío, pero con la particularidad que al final del proceso, una prensa ejerce presión sobre la lámina precalentada una vez que se ha eliminado por completo el aire. Esto asegura que el plástico moldeado mantenga su forma final. Se emplea con frecuencia cuando se requiere un mayor nivel de detalle en el proceso de termoformado [70]. En la Figura 8 se observa el método de termoformado a presión.

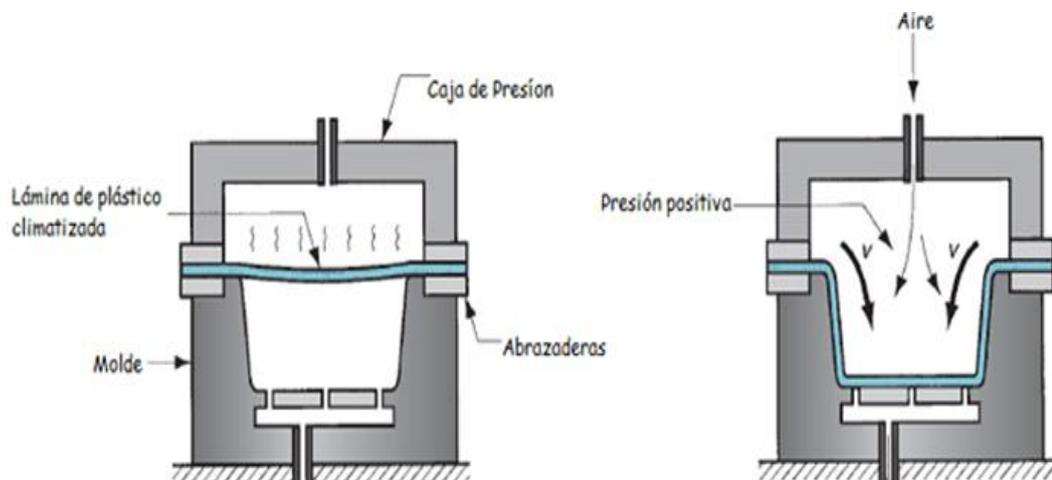


Figura 8. Etapas del termoformado a presión o soplado [69].

Termoformado mecánico: utiliza un par de moldes, positivo y negativo, una fuerza mecánica aplicada en el molde positivo empuja a la lámina caliente hacia el espacio entre ambos moldes, asumiendo la forma deseada. La lámina se calienta hasta alcanzar la temperatura requerida de termoformado mientras está sobre el molde negativo, y luego se cierra con el molde positivo para conformar el plástico caliente [69]. En la Figura 9 se muestra el método de termoformado mecánico.

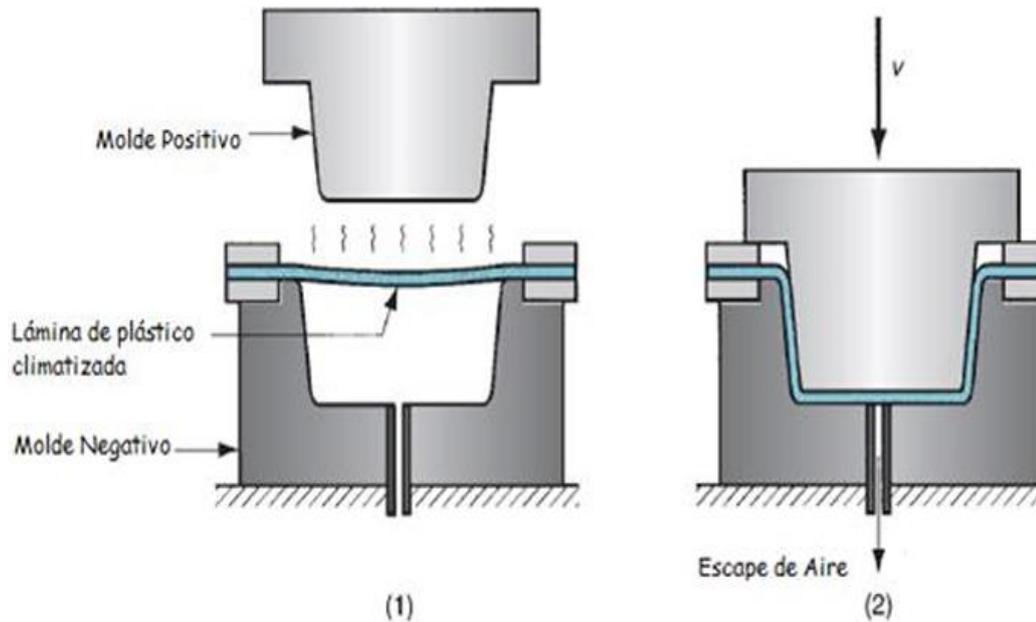


Figura 9. Etapas del termoformado mecánico [69].

Aplicaciones del termoformado en las diferentes industrias

El proceso de termoformado se aplica en distintas industrias, como la fabricación de envases para productos agrícolas, farmacéuticos, dispositivos electrónicos, entre otros. También se utiliza en la producción de piezas duraderas y resistentes, como piezas para aeronaves, equipos de manejo de materiales, interiores de vehículos y dispositivos médicos. Sin embargo, su principal aplicación se encuentra en el ámbito del envase y embalaje, donde las máquinas de termoformado son utilizadas para fabricar bandejas de alimentos o se combinan con equipos de llenado para producir artículos empaquetados. Este proceso es popular debido a sus ventajas económicas y la capacidad de obtener productos finales de alta calidad. Los materiales utilizados en el proceso de termoformado ofrecen una variedad de propiedades y características que los hacen adecuados para diversas aplicaciones industriales y comerciales [70].

Parámetros y factores en el termoformado

Para [71], los parámetros y factores a considerarse en un proceso de termoformado son: tiempo de calefacción, temperatura máxima de calentamiento, tiempo de vacío, tiempo de compresión, tiempo de refrigeración y recorrido del molde. A continuación, se describe cada uno de estos parámetros:

Tiempo de calentamiento de la lámina

Es el tiempo que tardan los calefactores en calentar la lámina desde que lo cubren hasta que se lo retire.

Temperatura máxima de calentamiento

La temperatura de calentamiento de la lámina es muy importante, ya que si no se la toma en cuenta se puede llegar a fundir la lámina cuando se la exceda, dando como resultado una mala calidad a la pieza final sin detalles definidos.

Tiempo de vacío

Periodo de tiempo donde se aplica vacío al objeto a través de canales implantados en el molde.

Tiempo de compresión

Duración de periodo donde se aplica fuerza de presión al objeto.

Tiempo de refrigeración

Periodo de tiempo en el cual los ventiladores envían corrientes de aire para reducir la temperatura al objeto.

Recorrido del molde

Trayecto que sigue el molde positivo para imprimir su forma geométrica sobre la plancha.

1.1.4.8 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño desempeñan un papel crucial en la elaboración de platos biodegradables ya que estos influyen en la calidad del producto que se obtiene. Estos parámetros incluyen aspectos como las tensiones máximas accesibles, análisis de esfuerzos, coeficiente de seguridad, deformación, dureza, flexibilidad y ductilidad. Estos aspectos son relevantes e inciden en la forma, en la elección de los materiales para el punzón y la matriz, así como en la composición de la fibra natural. Estos factores contribuyen a mejorar las propiedades del plato biodegradable resultante.

Tensión máxima admisible

Se obtiene al aplicar un factor de seguridad a uno de los límites característicos del material con el objetivo de abarcar todos los posibles riesgos. La tensión máxima admisible dependerá del tipo de material, tipo de cargas actuantes sobre la estructura y a naturaleza de las sollicitaciones involucradas [72]. Se obtiene al dividir la resistencia del material por un factor de seguridad (que siempre es mayor que uno), de manera que el material trabajará bajo una tensión inferior a su capacidad de resistencia, aunque esta sea conocida [73].

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma_{resistencia\ material}}{F.S}$$

Donde:

$\sigma_{admisible}$: tensión máxima admisible

$\sigma_{resistencia\ material}$: resistencia del material

$F.S$: Factor de seguridad

Análisis de esfuerzos

Es una rama de la ingeniería basada en la mecánica sólida, se centra en no solo analizar el estrés, sino también considera la deformación, deflexión y otras magnitudes físicas esenciales para el diseño y evaluación de estructuras. Convierte un problema de ingeniería de la vida real en un modelo matemático mediante el uso de software de elementos finitos, se hace numéricamente por computadoras [74].

Factor de seguridad

Es una medida que evalúa la capacidad de un componente o una estructura sometida a cargas o fuerzas, empleada en el diseño mecánico. Este valor siempre es superior a 1 y se obtiene al dividir la carga máxima que el componente o la estructura puede soportar entre la carga real que va a recibir. Cuando el factor de seguridad es menor a 1, indica que el componente no es lo bastante resistente para soportar la carga real y podría sufrir una falla [75].

$$F.S = \frac{\textit{carga máxima que puede soportar}}{\textit{carga real que recibirá}}$$

Deformación

También conocida como alargamiento unitario, ocurre cuando un material es sometido a una fuerza externa, como una carga, un esfuerzo o una tensión y produce una elongación o contracción de átomos, estas deformaciones pueden ser: elásticas o plásticas.

Deformación Elástica: se produce cuando los átomos del material se desplazan de sus posiciones originales bajo la influencia de una fuerza aplicada, pero al eliminar la carga, la deformación desaparece, y los átomos vuelven a su posición inicial [76].

Deformación Plástica: es cuando ciertos átomos de la red cristalina de un material se desplazan con respecto a otros debido a la aplicación de fuerzas externas. Si se retira la carga, la parte de los átomos que se movió de la red cristalina no vuelve a su posición original, lo que significa que las deformaciones se mantienen incluso después de retirar la carga [77].

Dureza

Es la capacidad de un material para mantener sus propiedades físicas intactas sin experimentar deformación, rayones, penetración ni hendiduras permanentes cuando se le somete a esfuerzos de contacto o fuerzas externas, lo que significa que conserva sus características incluso frente a la fuerza aplicada [78].

Flexibilidad

Es la capacidad de un material para flexionarse y modificar su forma sin sufrir roturas, adaptarse a los cambios de forma y a la movilidad sin comprometer su rendimiento. Este concepto se puede comprender en términos de la relación entre el límite elástico, que representa la resistencia del material, y el módulo de elasticidad, que denota la rigidez del material [79].

Ductilidad

Mide el grado de deformación que un material puede soportar sin fracturarse y puede expresarse de manera cuantitativa como el alargamiento relativo porcentual o el porcentaje de reducción de área. En otras palabras, se refiere a la capacidad de un material de deformarse de manera permanente sin fracturarse cuando se le aplica una fuerza [80].

1.1.4.9 Método de elementos finitos

Método analítico utilizado en diversos problemas de ingeniería con el fin de obtener la solución numérica más aproximada de cuerpos, estructuras o dominios. Este método es la representación de un cuerpo dentro de un ensamble de subdivisiones llamadas elementos, los cuales se conectan por puntos llamados nodos, creando así un sistema de ecuaciones que se resuelven numéricamente [81].

Es el método numérico más utilizado para resolver problemas mecánicos sólidos. La idea básica es:

- a. Diferenciar un dominio en muchos elementos, y cada elemento consiste en una cantidad de nodos.
- b. Busca una solución nodal en los nodos de elementos en lugar de una solución continua en el dominio [74].

Existe dos tipos de métodos de elementos finitos: tipo viga (Beam) y tipo cáscara (Shell).

Elemento tipo viga (Beam): los elemento tipo viga poseen la simulación más simplificada, recomendado para el análisis de estructuras con formas tubulares. En el software Ansys, se conoce como BEAM 188 que es un elemento tridimensional con formulación lineal o cuadrática, basado en el modelo de la viga de Timoshenko, el cual considera la contribución de las fuerzas cortantes y el efecto de la inercia rotacional. Este tipo de elementos soporta análisis restringidos a la torsión para la creación de siete grados de libertad en cada nodo de la viga. En la figura 10 se observa el elemento tipo viga.

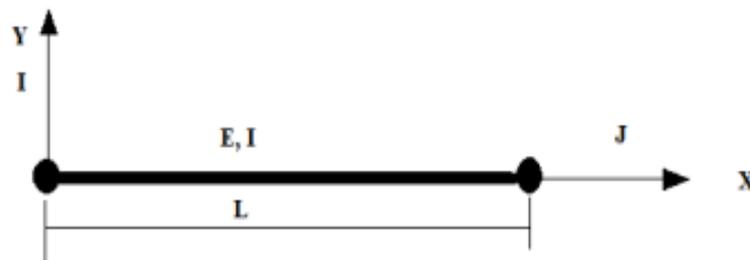


Figura 10. Elemento tipo viga (Beam) [81].

Elementos tipo cáscara (Shell): son elementos tipo lámina basados en la teoría de Reissner Mindlin, caracterizado por analizar estructuras hechas a partir de láminas. Los elementos tipo cáscara se componen de cuatro nodos con seis grados de libertad: tres para traslación y tres para rotación. Su punto fuerte es su capacidad para comportarse de manera efectiva en situaciones de convergencia en problemas no lineales que involucran láminas delgadas. En la Figura 11 se observa el elemento tipo cáscara.

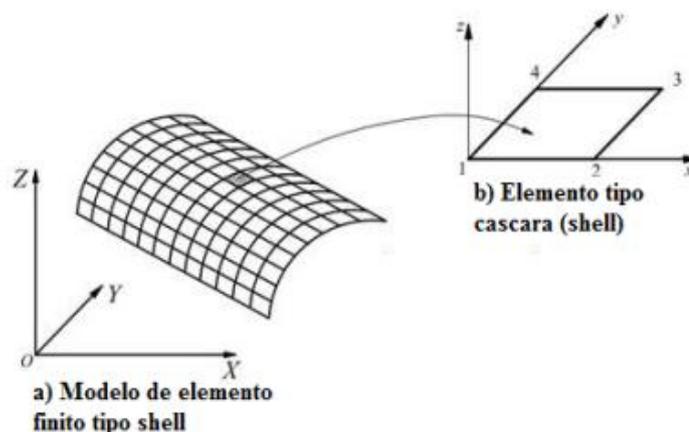


Figura 11. Elemento tipo cáscara (Shell) [81].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar y construir un molde para la elaboración de platos biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar.

1.1.2 Objetivos específicos

Identificar la información relacionada con la elaboración de platos biodegradables a partir de bagazo de caña de azúcar para establecer los parámetros de diseño propuestos.

Diseñar y construir un molde para elaborar platos a partir del bagazo de caña de azúcar, utilizando un software de análisis por elementos finitos.

Realizar pruebas mecánicas para determinar las propiedades del producto propuesto.

CAPITULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En la Tabla 7 se describen todos los materiales y equipos que se utilizan para el desarrollo del presente proyecto.

Tabla 7. Equipos y materiales.

| EQUIPO / MATERIAL | DESCRIPCIÓN | IMAGEN |
|---------------------------|---|---|
| Molde | | |
| Aleación de aluminio 7075 | Aleación de aluminio 7075 se usa para la construcción de piezas estructurales, moldes de inyección, termoformado o soplado de termoplásticos. comercializa con el nombre de duraluminio en forma de lingote de 20 cm de diámetro. |  |
| Fresas | Fresa de carburo punta redonda, herramienta de movimiento rotativo de alta velocidad, da forma a una pieza metálica a través del arranque de viruta. |  |
| Fresa CNC | Fresa CNC marca Travis, modelo M-1000, comando CNC – Fagor, 20 herramientas, realiza cualquier tipo de mecanizado. |  |

Tabla 7. Equipos y materiales (continuación).

| EQUIPO / MATERIAL | DESCRIPCIÓN | IMAGEN |
|--|---|---|
| Taladrina | Producto químico de aspecto blanquecino. Utilizado como refrigerante en los procesos de mecanizado por arranque de viruta de piezas metálicas. |  |
| Procesado de bagazo de caña de azúcar | | |
| Horno eléctrico | Equipo de laboratorio para trabajar a elevadas temperaturas, con cámara revestida de material refractario. Utilizado para realizar pruebas de tratamientos térmicos, secado de probetas y la cocción de materiales. |  |
| Tijera de podar | Tijera de podar fabricada con lamina metálica y mango de plástico. Utilizada para la poda de árboles frutales, flores y plantas ornamentales. |  |
| Molino manual | Molino manual de la marca Victoria, elaborado en hierro fundido. Utilizado para moler cualquier tipo de grano, el resultado de la molienda es una textura no muy fina. |  |

Tabla 7. Equipos y materiales (continuación).

| EQUIPO / MATERIAL | DESCRIPCIÓN | IMAGEN |
|---|---|---|
| Balanza digital | Utilizada para medir las cantidades de los componentes del material biodegradable utilizados en la experimentación. |  |
| Batidora de mano | Batidora de mano marca Oster de seis velocidades. Utilizada para batir o amasar mezclas o masa gruesa de alimentos. |  |
| Máquina para producir platos con material biodegradable | Máquina de prensado neumático. Utilizada para elaborar platos con material biodegradable, ubicada en el laboratorio de materiales de la FICM-UTA. |  |
| Materia prima | | |
| Mesurado de bagazo de caña de azúcar | Mezcla propia del proyecto, conformado con bagazo de caña de azúcar, almidón de papa y agua. |  |

Tabla 7. Equipos y materiales (continuación).

| EQUIPO / MATERIAL | DESCRIPCIÓN | IMAGEN |
|-------------------------------------|---|---|
| Almidón de papa | Polvo suave de color blanco, inodoro. Utilizado para influir en las propiedades físicas de muchos alimentos y materiales, muy valioso para la obtención de biopolímeros. |  |
| Adicionales | | |
| Desmoldante de repostería (Desmold) | Antiadherente de aceite vegetal, utilizado para que no se adhiera el pastel al molde, no afecta el sabor o color del producto al desmoldarlo. Importante insumo para que no se adhiera la materia prima al molde del plato. |  |
| Computador | Equipo electrónico usado para diversas actividades como la búsqueda de datos, uso de software de diseño, etc. |  |
| Guantes | Prenda usada para la protección de las manos. |  |
| Mandil | Prenda protectora al manipular sustancias químicas o herramientas |  |

2.2 Métodos

2.2.1 Tipo de investigación

En el presente trabajo de titulación, se realizará un estudio experimental al plato obtenido a partir del bagazo de caña de azúcar. Se utiliza los siguientes tipos de metodología:

Histórico – lógico

Para Torres [82], el método histórico-lógico se aplica para estudiar una sección específica de la trayectoria histórica del objeto de investigación vinculada al problema. El propósito es identificar la tendencia, etapas clave de su desarrollo y las conexiones históricas esenciales de manera cronológica y lógica. De acuerdo con lo anterior, el método es aplicable al presente proyecto debido a la búsqueda y reunión de datos relacionados con la elaboración de platos biodegradables.

Observación y comparación

Según Gómez [83], este método permite obtener datos directamente a través de la mirada del investigador, especialmente la que ocurre en tiempo real, sin distorsiones y con la utilización de la observación sistemática cuantifica el comportamiento del objeto de investigación.

Hipotético – deductivo

Este método tiene mayor eficiencia en la optimización del uso del tiempo y los recursos, dado que se establecen diversas hipótesis al inicio del proyecto, fundamentadas en el reconocimiento de patrones. Especialmente apropiada para investigaciones científicas en las cuales los factores o variables que inciden en los resultados son identificados y pueden ser controlados, especialmente en situaciones de experimentación o investigación de laboratorio [84].

La información obtenida a través de los tipos de investigación de diversas investigaciones y artículos científicos, sobre productos elaborados a partir de la caña de azúcar, ayuda a definir los criterios de diseño permitiendo la creación y construcción del molde con parámetros y propiedades asignadas.

2.2.2 Método para el proceso de diseño

Para lograr el diseño y construcción del molde para elaborar platos biodegradables, se inicia con la identificación de fuentes de información que conduzcan a una recopilación de datos, seguidamente de una validación de datos, que permitan la creación del molde con parámetros y propiedades asignadas. Para la simulación del diseño digital del molde se usa el software SolidWorks, ya que se utiliza para la creación, diseño y modelado en 3D de piezas y ensamblajes, obteniendo los planos en 2D correspondientes [85]. En el análisis de esfuerzos se utilizó el software ANSYS Student simulador por elementos finitos adecuado para determinar el factor de seguridad según el material que se está utilizando [86]. En la Figura 12 se detalla el proceso de construcción del molde.

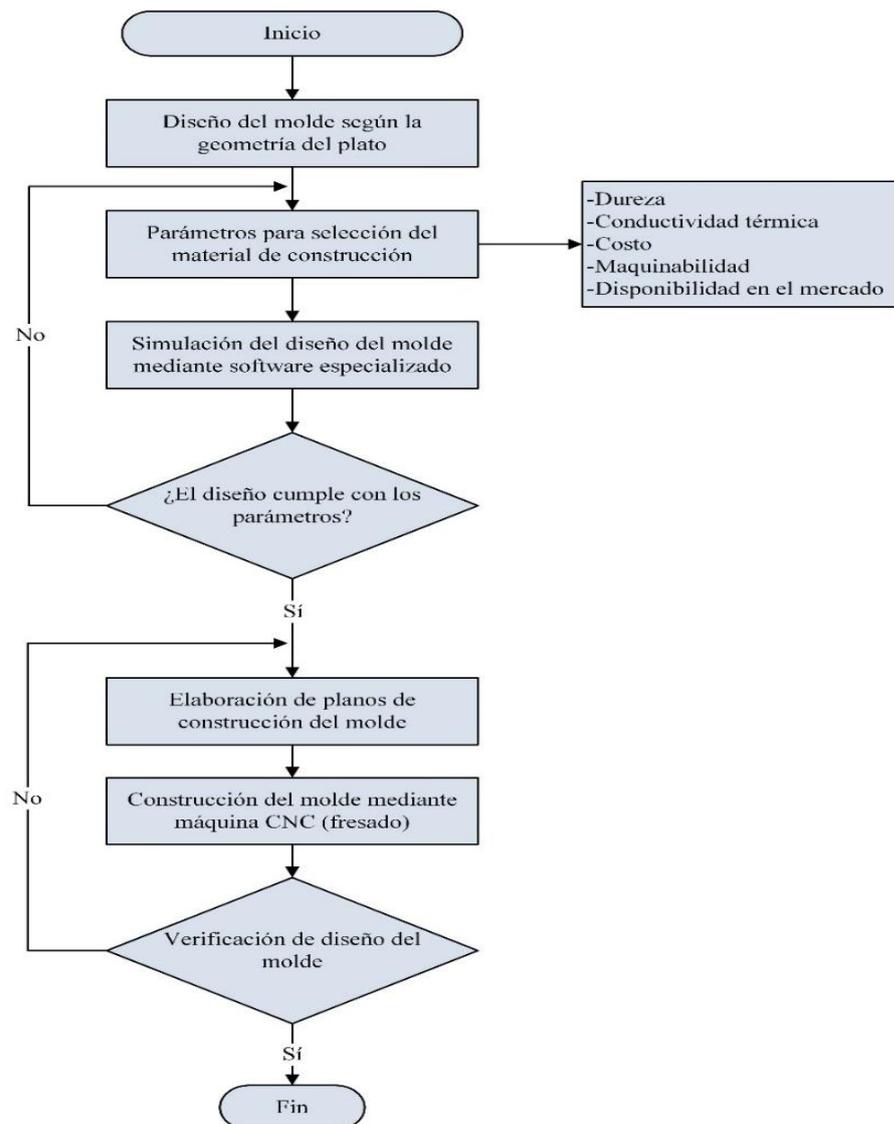


Figura 12. Diagrama de proceso de construcción del molde.

Para la elaboración del plato con material biodegradable se realizó orientado en el siguiente diagrama de la Figura 13.

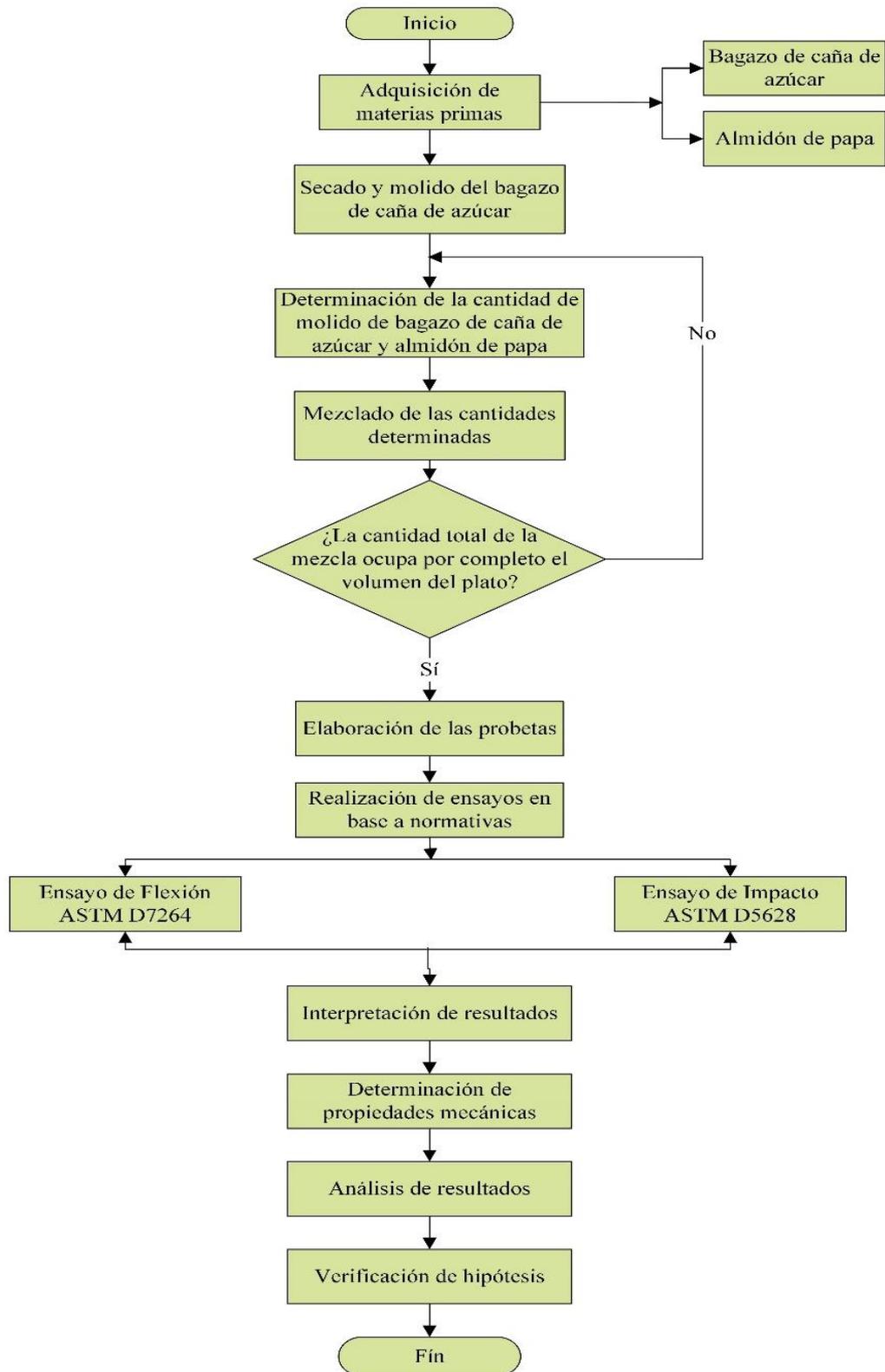


Figura 13. Diagrama de proceso para la elaboración del plato con material biodegradable.

2.2.3 Programas

SolidWorks

Software de diseño mecánico asistido por computadora que permite a los diseñadores crear, diseñar, simular, gestionar datos del proceso de diseño y modelar piezas y ensamblajes en 3D obteniendo planos en 2D detallados de los elementos en conjunto o individual [85].

Ansys

Software multifísico diseñado para el análisis y simulación de piezas o ensamblajes utilizados en ingeniería y diseño mecánico que experimentan uno o más fenómenos físicos. Este software incluye etapas como el preproceso, resolución y postproceso útiles para la toma de decisiones en el diseño [86].

Microsoft Office Excel

Es una aplicación que permite realizar hojas de cálculo para manipular números de forma sencilla e intuitiva. Tiene la capacidad de generar gráficos a partir de los datos ingresados, y en caso de errores en los datos ingresados, permite modificar el valor errado y automáticamente vuelve a calcularlo todo [87].

2.2.4 Cálculos y diseño

El funcionamiento de la máquina utilizada para la elaboración de platos con material biodegradable es similar al proceso de embutido de laminas metálicas. Por lo tanto, se aplica las mismas ecuaciones y cálculos relacionados con el proceso de embutido de estas láminas metálicas. Estos cálculos se emplean para determinar las fuerzas asociadas al proceso de embutido, como la fuerza de embutido, fuerza de fricción y fuerza de sujeción. Sumando estas fuerzas, se obtiene la fuerza total ejercida sobre el material biodegradable y al molde que proporciona la forma geométrica al plato, conocer el valor de la fuerza total permite seleccionar adecuadamente el material con el cual se va a construir el molde.

2.2.4.1 Cálculo de fuerza de embutido

Para obtener el valor de la fuerza de embutido se aplica la ecuación 1:

$$F_e = \pi * Dp * t * Su * \left(\frac{Db}{Dp} - 0.7 \right) \quad (1)$$

Donde

F_e : fuerza de embutido [N]

Dp : diámetro del punzón [m]

t : espesor de material [m]

Su : resistencia última del material [Pa]

Db : diámetro de la matriz [m]

Para calcular el diámetro inicial de la lámina ha embutir se aplica la ecuación 2 necesario en el proceso de embutido. Sin embargo, en el presente trabajo de titulación no se utiliza una lámina metálica, pero el cálculo sirve para tener un aproximado del valor de diámetro inicial y aplicar la ecuación 1, para obtener la fuerza de embutición.

$$Db = \sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2} \quad (2)$$

Para los valores de los parámetros d_1 , d_2 y d_3 se utiliza el siguiente esquema detallado en la siguiente Figura 14 y los valores se toman de la Tabla 8.

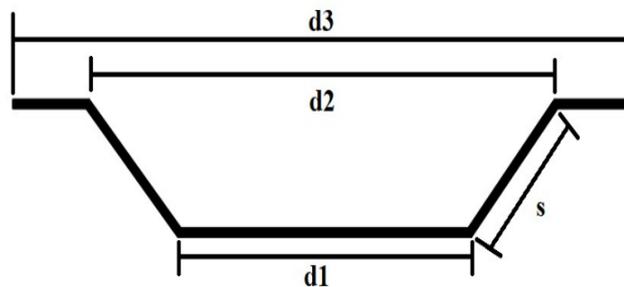


Figura 14. Esquema de parámetros del plato a embutir.

Tabla 8. Valores para los parámetros del esquema.

| Parámetro | Valor [m] |
|------------------|------------------|
| d_1 | 0,110 |
| d_2 | 0,150 |
| d_3 | 0,160 |
| s | 0,033 |

Reemplazando los valores en la ecuación 2:

$$Db = \sqrt{(0,110)^2 + 2(0,033)(0,110 + 0,150) + (0,160)^2 - (0,150)^2}$$

$$Db = 0,180 \text{ m}$$

El diámetro inicial de la lámina para embutir es de 0,180 m

Para el parámetro de la resistencia última del material (S_u), se utilizó el valor 1,55 MPa, que se determinó durante el análisis de las propiedades mecánicas de un polímero biodegradable obtenido a partir del almidón de papa de la variedad Huairo [88].

Para la fuerza de embutición se reemplaza los valores de la Tabla 9 en la ecuación 1:

Tabla 9. Valores para la ecuación 1.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|------------------|--------------|---------------|
| Db | 0,180 | m |
| t | 0,003 | m |
| S_u | 1.550.000 | Pa |
| Dp | 0,150 | m |

$$F_e = \pi(0,150)(0,003)(1.550.000) \left(\frac{0,180}{0,150} - 0,7 \right)$$

$$F_e = 1.095,630 \text{ N}$$

2.2.4.2 Cálculo de fuerza de fricción

Para calcular el valor de la fuerza de fricción se debe determinar el área de presión del punzón. En la Figura 15 se muestra el área de presión del punzón desde el punto de vista del plano XY.

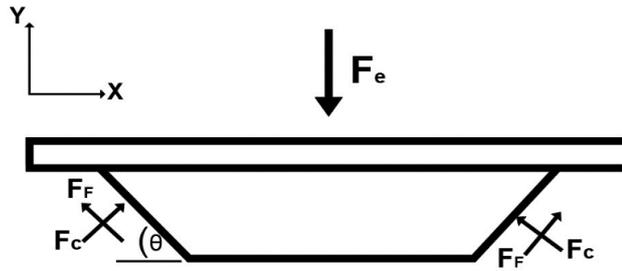


Figura 15. Área de presión del punzón.

Sumatoria de fuerza en el eje Y

$$\sum F_Y = 0$$

$$2F_F \text{sen}\theta + 2F_C \text{sen}(90^\circ - \theta) - F_e = 0 \quad (3)$$

Donde

F_F : fuerza de fricción [N]

F_C : fuerza de contacto [N]

F_e : fuerza de embutición [N]

θ : ángulo del plato[°]

La fuerza de contacto se puede representar con la ecuación 4.

$$F_C = \frac{F_F}{\mu_s} \quad (4)$$

Donde

μ_s : Coeficiente de fricción [Adimensional]

Reemplazando la ecuación 4 en la ecuación 3 y despejando la fuerza de fricción se tiene la siguiente ecuación 5:

$$F_F = \frac{Fe}{2 \left(\text{sen}\theta + \frac{\text{sen}(90^\circ - \theta)}{\mu_s} \right)} \quad (5)$$

Para el valor del coeficiente de fricción se utilizó el valor de 0.5 correspondiente al trigo, se utilizó este valor por la similitud del material ya que tanto el bagazo de caña de azúcar como el trigo son materiales orgánicos. Para la fuerza de fricción tenemos los valores de la Tabla 10.

Tabla 10. Valores para la ecuación 5.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|-----------|-----------|----------------|
| Fe | 1.095,630 | [N] |
| μ_s | 0.5 | [Adimensional] |
| θ | 53,472 | [°] |

Reemplazando los valores en la ecuación 5:

$$F_F = \frac{1.095,630}{2 \left(\text{sen}(53,472) + \frac{\text{sen}(90 - 53,472)}{0.5} \right)}$$

$$F_F = 274,732 \text{ N}$$

2.2.4.3 Fuerza de sujeción

Para esta fuerza si incluyen componentes llamados sujetadores que se encargan de sostener la lámina con la matriz asegurando la estabilidad de la lámina para que la fuerza de embutición se homogéneo en toda la lámina. Con se ha mencionado, en este caso no se trabaja con una lámina, por tanto, no es necesario trabajar con sujetadores. Sin embargo, es necesario verificar lo anterior expuesto, para ello se plantea la ecuación 6 conocida como reducción, la cual especifica si se necesita o no de sujetadores y si la embutición se realiza en una o varias fases. Se debe considerar lo siguiente:

$R < 0,4$ la embutición puede hacerse en una sola fase y sin sujetador.

$R > 0,4$ la embutición puede hacerse en una sola fase, pero con sujetador.

$R > 0,6$ la embutición puede hacerse en varias fases y con sujetador.

$$R = \frac{Db - Dp}{Db} \quad (6)$$

$$R = \frac{0,180 - 0,150}{0,180}$$

$$R = 0,167$$

El valor de la reducción es de 0,167 con acuerdo con lo mencionado la embutición no necesita de sujetador y se realizará en una sola fase.

2.2.4.4 Fuerza total

Obtenido los valores de las fuerzas de interés, se realiza la sumatoria para encontrar la fuerza total. Cabe recalcar que la fuerza de sujeción es igual a 0 por la condición establecida en la reducción.

$$F_T = F_e + F_F + \text{fuerza de sujeción} \quad (7)$$

En la Tabla 11 se consideran los valores para los parámetros de la ecuación 7.

Tabla 11. Valores para la ecuación 7.

| Parámetro | Valor [N] |
|---------------------------|-----------|
| F_e | 1.095,630 |
| F_F | 274,732 |
| <i>Fuerza de sujeción</i> | 0 |

Reemplazando los valores en la ecuación 7

$$F_T = 1.095,630 + 274,732 + 0$$

$$F_T = 1.370,362 \text{ N}$$

Se obtuvo una fuerza total aplicada de 1.370,362 N

2.2.4.5 Selección de material de construcción para el molde

Para seleccionar el material de construcción del molde se consideró las propiedades y criterios presentadas en la sección 1.1.4.6. Se tiene algunas alternativas de materiales de construcción, los cuales podrían tener las características necesarias y requeridas para el termoformado del plato con material biodegradable, entre los cuales se tiene:

- 1) Acero inoxidable 316
- 2) Acero inoxidable 403
- 3) Acero inoxidable 304
- 4) Aleación de aluminio 6063
- 5) Aleación de aluminio 7075

En la Tabla 12 se puede observar los valores de ponderación de 5=alta, 3=media y 1=baja, para designar estos valores a cada criterio se consideró el valor de las propiedades de los materiales como por ejemplo la dureza, al material con menor dureza comparado con los demás materiales se consideró como baja, al material con un valor intermedio de dureza comparado con los demás materiales se consideró como media y al material con valor mayor de dureza se consideró como alta.

Tabla 12. Asignación de valores de ponderación.

| Materiales considerados | Dureza Brinell | Ponderación | Valor de ponderación |
|--------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|
| Acero inoxidable 316 | 150 | baja | 5 |
| Acero inoxidable 403 | 139 | media | 3 |
| Acero inoxidable 304 | 123 | media | 3 |
| Aleación de aluminio 6063 | 60 | baja | 1 |
| Aleación de aluminio 7075 | 150 | alta | 5 |
| Valores de ponderación | Alta=5 | Media=3 | Baja=1 |

En la Tabla 13 se detallan los criterios considerados para la selección de material de construcción, así como también la ponderación asignada a cada criterio.

Tabla 13. Criterios y ponderaciones para la selección del material de construcción del molde.

| Criterios | Materiales de construcción considerados | | | | |
|------------------------------|---|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| | Acero inoxidable 316 | Acero inoxidable 403 | Acero inoxidable 304 | Aleación Aluminio 6063 | Aleación Aluminio 7075 |
| Dureza | 5 | 3 | 3 | 1 | 5 |
| Conductividad térmica | 1 | 3 | 1 | 5 | 3 |
| Rentabilidad | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 |
| Maquinabilidad | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| Disponibilidad en el mercado | 3 | 3 | 5 | 3 | 5 |
| TOTAL | 13 | 13 | 13 | 19 | 23 |

De acuerdo con la ponderación para la selección del material de construcción, se determina que la aleación de aluminio 7075 es el material adecuado, debido al mayor valor de ponderación. Cumple con los criterios establecidos ya que es un material destinado para este tipo de aplicaciones, logrando una alta rentabilidad, maquinabilidad, disponibilidad en el mercado y dureza. A pesar de no poseer una alta conductividad térmica comparada con la aleación de aluminio 6063, los demás beneficios lo hacen idóneo para la construcción del molde.

2.2.4.6 Diseño del molde

Para el diseño del molde se consideró los valores de las dimensiones indicadas en la Figura 14 y la Tabla 8, con una altura de 30 mm medido desde la base del plato y un espesor de 3 mm. Como el diámetro mayor del plato es de 160 mm, los bloques de aleación de aluminio 7075 debe tener un mayor diámetro. Considerando esto y al tener presente la disponibilidad del material en el mercado local, se propone la construcción del molde utilizando dos bloques cilíndricos de aleación de aluminio 7075, una para

la cavidad y otro para el punzón. Estos los bloques tienen diámetros de 200 mm y espesores de 47 mm, suficientes para el mecanizado de la forma geométrica del plato.

2.2.4.7 Sistema de calentamiento del molde

Para el calentamiento del molde se utiliza el sistema con resistencias eléctricas de 110 V y 500 W de potencia, con dimensiones de 100x100x4 mm, instalado en la máquina para producir platos con material biodegradable, las resistencias están conectadas a un controlador de temperatura PID para dar a conocer el valor de temperatura que se está generando en las resistencias. El sistema de calentamiento por resistencia eléctrica consiste en el calentamiento del molde por transferencia de calor tipo conducción, al elevar la temperatura del molde transfiere el calor al material que da forma al plato por medio de la transferencia de calor tipo convección. El controlador PID incluido en el sistema sirve como regulador de temperatura, si se desea mayor temperatura aumenta la electricidad en la resistencia, caso contrario si se desea menor temperatura se disminuye la electricidad enviada a la resistencia.

Al considerar el sistema de calentamiento del molde se debe tener en cuenta el aumento de temperatura de los materiales en contacto con las resistencias, donde está presente la temperatura de fusión. Utilizando la aleación de aluminio 7075 para la construcción del molde, se considera su temperatura de fusión de 475 – 635 °C como se especifica en la sección 1.1.4.6. Sin embargo, para el termoformado de platos con material biodegradable se emplean temperaturas menores de 170 °C; como se demuestra en [89] que mezclaron bagazo de caña, almidón de yuca, fécula de maíz, resina, cal dolomita y agua, a una temperatura de prensado de 145 °C. Con los valores antes mencionados se considera que el termoformado de los platos se llevará a cabo adecuadamente.

2.2.4.8 Mecanizado de la cavidad y punzón

Cálculos de velocidades de corte en el mecanizado

Para obtener los valores de las diferentes velocidades de corte en el proceso de mecanizado del molde, se considera los valores recomendados que se especifica en la

siguiente figura. En la Figura 16 se detalla rangos de velocidades de corte para el mecanizado de diferentes metales, además especifica en que etapas (desbaste y acabado) del mecanizado se utiliza los rangos de velocidades.

| Material | Velocidad corte v(m/min) | |
|--------------------------|-----------------------------|---------|
| | Desbaste | Acabado |
| Cobre y aluminio | 60-80 | 80-100 |
| Bronce común | 25-28 | 35-40 |
| Acero dulce | 16-20 | 25-30 |
| Acero semiduro | 12-16 | 18-22 |
| Acero duro | 10-15 | 16-18 |
| Acero muy duro | 8-12 | 13-15 |
| Fundición gris | 12-15 | 18-20 |

Figura 16. Valores recomendados de velocidades de corte para mecanizado de varios metales [90].

El molde se realizará con la aleación de aluminio 7075, por lo tanto, el rango de velocidad de corte correspondiente a este material es de 60-80 m/min en la etapa de desbaste y 80-100 m/min en el acabo. Sin embargo, no se puede trabajar con rangos de velocidades al realizar el mecanizado, para lo cual se realiza un promedio de estos valores, obteniendo las velocidades de corte de la siguiente manera:

Velocidad de corte para el desbaste de 70 m/min

Velocidad de corte para el acabado de 90 m/min

El mecanizado de los moldes se realizará en el laboratorio de control y automatización de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi, donde cuentan con las herramientas adecuadas para el proceso de mecanizado.

Para determinar la velocidad del husillo y el avance, se considera los parámetros de las siguientes fresas, existen en el laboratorio.

Fresas de punta redonda de $\varnothing = 8 \text{ mm}$ y 6 mm ; *dientes* (z) = 3 para todas

Fresas de punta plana de $\varnothing = 18 \text{ mm}$ y 12 mm ; *dientes* (z) = 3 para todas

En la etapa de desbaste se utiliza las fresas planas de $\varnothing = 18$ y 12 mm, para el acabado se utiliza las fresas redonde de $\varnothing = 8$ y 6 mm, con el objetivo de obtener un buen acabado superficial en las superficies que entrarán en contacto con el material biodegradable, mediante la ecuación 8 se determina la velocidad del usillo y con la ecuación 9 se determina la velocidad de avance.

$$S = \frac{v * 1000}{\pi * D * z} \quad (8)$$

Donde:

- S corresponde a la velocidad del husillo en revoluciones por minuto [rpm].
- v corresponde a la velocidad de corte en metros por cada minuto [m/min].
- D corresponde al diámetro de la fresa en milímetros [mm].
- z corresponde al número de dientes de la fresa [adimensional].

$$F = a * S \quad (9)$$

Donde:

- F corresponde a la velocidad de avance en milímetros por minuto [mm/min].
- a corresponder al avance en milímetros por revoluciones [mm/rev].

| ALEACIÓN | avance mm / rev | prof. mm |
|----------|--------------------|-------------|
| 5754 | --> 1.0 | 3-15 |
| 5083 | --> 1.0 | 3-15 |
| ---- | --> 1.0 | 3-15 |
| 6082 | 0.2-0.6 | 3-15 |
| 2017 | 0.2-0.6 | 3-15 |
| 7020 | 0.2-0.6 | 3-15 |
| 7022 | 0.2-0.5 | 3-15 |
| 7075 | 0.2-0.5 | 3-15 |
| 7010 | 0.2-0.4 | 3-15 |

Figura 17. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en desbaste [91].

Como se observa en la Figura 17 para la aleación de aluminio 7075, el rango de avance es de 0,2 a 0,5 mm/rev. Con el objetivo de minimizar el tiempo de mecanizado se

selecciona el valor más alto para el avance, con un valor de 0,5 mm/rev en la etapa de desbaste.

| ALEACIÓN | avance mm / rev | prof. mm |
|----------|--------------------|-------------|
| 5754 | 0.10-0.30 | 0.3-2.5 |
| 5083 | 0.05-0.30 | 0.3-2.5 |
| ----- | 0.05-0.30 | 0.3-2.5 |
| 6082 | 0.03-0.25 | 0.3-2.5 |
| 2017 | 0.03-0.25 | 0.3-2.5 |
| 7020 | 0.03-0.25 | 0.3-2.5 |
| 7022 | 0.03-0.20 | 0.3-2.5 |
| 7075 | 0.03-0.20 | 0.3-2.5 |
| 7010 | 0.03-0.20 | 0.3-2.5 |

Figura 18. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en acabado [91].

Se observa en la Figura 18 rangos de avance de 0,03 a 0,20 mm/rev para la aleación de aluminio 7075 en la etapa de acabado, como ya se ha mencionado y con el objetivo de optimizar el tiempo de mecanizado se selecciona el valor más alto, con un valor de 0,20 mm/rev en la etapa de acabado.

Tabla 14. Cálculo de velocidad para la etapa de desbaste con la fresa de $\varnothing = 18 \text{ mm}$.

| Término | Valor | Unidades |
|---------|---------|--------------|
| V | 70,00 | m/min |
| z | 3,00 | Adimensional |
| D | 18,00 | mm |
| S | 412,624 | rpm |
| F | 206,312 | mm/min |

Como se observa en la Tabla 14, se obtiene valores de velocidad del husillo de 412,624 rpm y para el avance una velocidad de 206,312 mm/min con una fresa plana de 18 mm de diámetro en la etapa de desbaste del mecanizado del molde de material aleación de aluminio 7075.

Tabla 15. Cálculo de velocidad para la etapa de desbaste con la fresa de $\varnothing = 12 \text{ mm}$.

| Término | Valor | Unidades |
|----------------|--------------|-----------------|
| V | 70,00 | m/min |
| z | 3,00 | Adimensional |
| D | 18,00 | mm |
| S | 618,936 | rpm |
| F | 309,468 | mm/min |

En la Tabla 15 se muestran los valores obtenidos de velocidad del husillo de 618,936 rpm y para el avance una velocidad de 309,468 mm/min con una fresa plana de 12 mm de diámetro en la etapa de desbaste.

Para el acabado se emplea dos fresas de punta redonda de 8 y 6 mm de diámetro, recomendadas para un buen acabado superficial.

Tabla 16. Cálculo de velocidad con fresa de 6 mm para el acabado

| Término | Valor | Unidades |
|----------------|--------------|-----------------|
| v | 90,00 | m/min |
| z | 3,00 | Adimensional |
| D | 8,00 | mm |
| S | 1591,549 | rpm |
| F | 318,309 | mm/min |

En la Tabla 16 se muestran valores obtenidos de velocidad del husillo de 1591,549 rpm y para el avance una velocidad de 318,309 mm/min con una fresa de punta redonda de 8 mm de diámetro en la etapa de acabado del mecanizado del molde de material aleación de aluminio 7075.

Tabla 17. Cálculo de velocidad con fresa de 8 mm para el acabado.

| Término | Valor | Unidades |
|---------|----------|--------------|
| v | 90,00 | m/min |
| z | 3,00 | Adimensional |
| D | 8,00 | mm |
| S | 1193,662 | rpm |
| F | 238,732 | mm/min |

Como se observa en la Tabla 17, se obtiene valores de velocidad del husillo de 1193,662 rpm y para el avance una velocidad de 238,732 mm/min con una fresa de punta redonda de 8 mm de diámetro para la etapa de acabado.

Cálculo de tolerancias del molde

Para determinar la tolerancia general del molde se considera el diámetro mayor tanto del punzón como de la cavidad, cuyo valor es de 200 mm. El valor se obtiene de la Figura 19 que detalla las tolerancias generales recomendados por la Organización Internacional de Normalización (ISO).

| Clase de Tolerancia | Descripción | Desviaciones admisibles respecto al valor nominal d (en mm.) | | | | | | | |
|---------------------|-------------|--|---------------|----------------|------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | 0,5 <d≤ 3 | 3 <d≤ 6 | 6 <d≤ 30 | 30 <d≤ 120 | 120 <d≤ 400 | 400 <d≤ 1000 | 1000 <d≤ 2000 | 2000 <d≤ 4000 |
| f | fina | ±0,05 | ±0,05 | ±0,1 | ±0,15 | ±0,2 | ±0,3 | ±0,5 | - |
| m | media | ±0,1 | ±0,1 | ±0,2 | ±0,3 | ±0,5 | ±0,8 | ±1,2 | ±2 |
| c | grosera | ±0,2 | ±0,3 | ±0,5 | ±0,8 | ±1,2 | ±2 | ±3 | ±4 |
| v | muy grosera | - | ±0,5 | ±1 | ±1,5 | ±2,5 | ±4 | ±6 | ±8 |

Figura 19. Tolerancias generales según ISO 2768 [92].

El valor de la tolerancia general obtenido mediante la Figura 19 es de ±0,20 mm de clase de tolerancia fina, se consideró este tipo de tolerancia debido al acople del punzón con la cavidad.

Para determinar las tolerancias del punzón y cavidad, se considera al punzón como eje y la cavidad como agujero, los valores se obtienen de la Figura 20 donde se detallan los ajustes recomendados por la ISO.

| AGUJERO ÚNICO | | EJE ÚNICO | | CARACTERÍSTICAS DE ASIENTO | EJEMPLOS |
|---------------|-----|-----------|-----|--|-------------------------------------|
| H8 | x8 | | | Prensado duro. Montaje a prensa. No necesita seguro. | Coronas de bronce, ruedas. |
| H8 | u8 | | | | |
| H7 | s6 | | | Prensado. Montaje a prensa. | Piñón motor. |
| H7 | r6 | | | Prensado ligero. Necesita seguro. | Engranajes de máquinas. |
| H7 | n6 | | | Muy forzado. Montaje a martillo. | Casquillos especiales. |
| H7 | k6 | | | Forzado. Montaje a martillo. | Rodamientos a bolas. |
| H7 | j6 | | | Forzado ligero. Montaje a mazo. | Rodamientos a bolas. |
| H7 | h6 | | | Deslizante con lubricación. | Ejes de lira. |
| H8 | h9 | | | Deslizante sin lubricación. | Ejes de contrapunto. |
| H11 | h9 | | | Deslizante. Ajuste corriente. | Ejes de colocaciones. |
| H11 | h11 | | | Deslizante. Ajuste ordinario. | Ejes-guías atados. |
| H7 | g6 | G7 | h6 | Giratorios sin juego apreciable. | Émbolos de freno. |
| H7 | f7 | F8 | h6 | Giratorios con poco juego. | Bielas, cojinetes. |
| H8 | f7 | F8 | h9 | Giratorios con poco juego. | Bielas, cojinetes. |
| H8 | e8 | E9 | h9 | Giratorios con gran juego. | Cojinetes corrientes. |
| H8 | d9 | D10 | h9 | Giratorios con mucho juego. | Soportes múltiples. |
| H11 | c11 | C11 | h9 | Libre, con holgura. | Cojinetes de máquinas agrícolas. |
| H11 | a11 | A11 | h11 | Muy libre | Avellanados. Taladros de tornillos. |

Figura 20. Ajustes recomendados por la ISO [92].

Debido a que el molde se emplea en un proceso de prensado, el ajuste se asemeja a un deslizante sin lubricación de tipo agujero único H8/h9. Con la utilización de una calculadora online de tolerancias geométricas se obtiene los valores del punzón (eje) y la cavidad (agujero) según las dimensiones correspondientes a cada uno. En la Tabla 18 se detallan los valores de los diámetros considerados y las tolerancias correspondientes.

Tabla 18. Tolerancias de los diámetros del punzón y la cavidad.

| Tolerancias para el punzón y cavidad [mm] | | | | |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Diámetro | Punzón (eje) | | Cavidad (agujero) | |
| | Medida límite superior | Medida límite inferior | Medida límite superior | Medida límite inferior |
| 178 | 0,000 | -0,100 | 0,063 | 0,000 |
| 160 | 0,000 | -0,100 | 0,063 | 0,000 |
| 110 | 0,000 | -0,087 | 0,054 | 0,000 |

2.3 Ensayos para materiales

Para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales compuestos en el proceso de caracterización, se emplean ensayos destructivos. Este procedimiento implica la toma de muestras del material y la realización de pruebas específicas para analizar su comportamiento. Los ensayos mecánicos se llevan a cabo bajo condiciones simuladas y con el equipo adecuado, garantizando resultados satisfactorios. La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), ha establecido normas para la evaluación de materiales, incluyendo estándares para la caracterización de materiales compuestos.

2.3.1 Ensayo de flexión

Para evaluar las propiedades mecánicas de materiales compuestos, propiedades como la carga máxima, esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y deformación. Se aplicó la norma ASTM D7264, la cual se centra en analizar la carga vertical aplicada en el centro de la probeta que está simplemente apoyada. Se utilizaron las siguientes fórmulas para calcular las propiedades mecánicas durante la prueba de flexión:

Esfuerzo máximo a flexión

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (10)$$

Donde

σ : *esfuerzo máximo de flexion [MPa]*

P : *fuerza [N]*

L : *espacio entre soportes [mm]*

b : *ancho de la probeta [mm]*

h : *espesor de la probeta [mm]*

Deformación máxima

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (11)$$

Donde

ε : deformacion máxima $\left[\frac{mm}{mm}\right]$

δ : deformacion [mm]

h : espesor de la probeta [mm]

L : espacio entre soportes [mm]

Módulo de elasticidad

$$E = \frac{\Delta_{\sigma}}{\Delta_{\varepsilon}} \quad (12)$$

Donde

E : módolo de elasticidad

Δ_{σ} : esfuerzo a traccion entre dos puntos

Δ_{ε} : deformacion entre dos puntos

2.3.2 Ensayo de impacto

Para medir la energía de fallo de las probetas, se usó la norma ASTM D5628, diseñada para muestras planas y rígidas mediante la caída de un dardo. Este método implica probar diferentes alturas de caída del dardo hasta que el material compuesto falle, incrementando el peso del dardo si es necesario en caso de que no falle. La norma establece el cálculo de la energía promedio de fallo.

La fórmula empleada para este cálculo es la siguiente.

$$MEF = h * w * f \quad (13)$$

Donde

MEF : efecto producido por el impacto en la probeta

h : altura máxima de ruptura [mm]

w : masa [kg]

f : factor de conversio $9,80665 \times 10^{-3}$

En la siguiente Tabla 19 se presenta los diferentes tipos de falla que pueden sufrir las probetas a ser sometidas al ensayo de impacto.

Tabla 19. Nomenclatura de tipos de falla en las probetas a ensayo de impacto.

| Tipo de falla | Carácter de falla | Análisis |
|----------------------|---|-----------------|
| A | Fisura producida en la parte frontal de la probeta. | No falla |
| B | Grietas que penetran la parte frontal y el espesor de la probeta. | No falla |
| C | Fisuras presentes en varias partes de la probeta. | Falla |
| D | Atraviesa el espesor de la probeta. | Falla |

2.4 Hipótesis

El diseño de un molde y la cantidad del material biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar influyen en las propiedades mecánicas del plato elaborado.

2.5 Señalamiento de las variables de la hipótesis

2.5.1 Variable independiente

Diseño del molde y la cantidad del material biodegradable.

2.5.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas del plato obtenido.

2.5.3 Término de relación

Influirá

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

Se utilizó la metodología histórica - lógica junto a la observación y comparación debido a la comparativa realizada en el material de construcción del molde tanto para el punzón como para la cavidad. También se utilizó este método para realizar la caracterización del material biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar dando como resultado final un producto con las siguientes propiedades: biodegradable, resistente y flexible.

En cuanto a la metodología hipotético – deductivo se usó para optimizar los recursos y el tiempo del proceso de elaboración de platos biodegradables a partir de bagazo de caña de azúcar, se identificó los factores que inciden en los resultados, como es la temperatura de las matrices, presión de prensado, tiempo de prensado, tiempo de mezcla del bagazo de caña de azúcar con los aditivos y por último la composición de la mezcla del material biodegradable. Estos factores son de suma importancia para la elaboración de platos biodegradables debido a que, al modificarlas puede o no mejorar el resultado.

El diseño de los moldes se realizó mediante el software de diseño CAD (diseño asistido por computadora) como lo es SolidWorks para tener mayor facilidad de realizar cambios al diseño, con la finalidad de obtener un producto más eficiente. En las Figuras 21, 22 y 23 se observa una digitalización del molde realizado en el software.

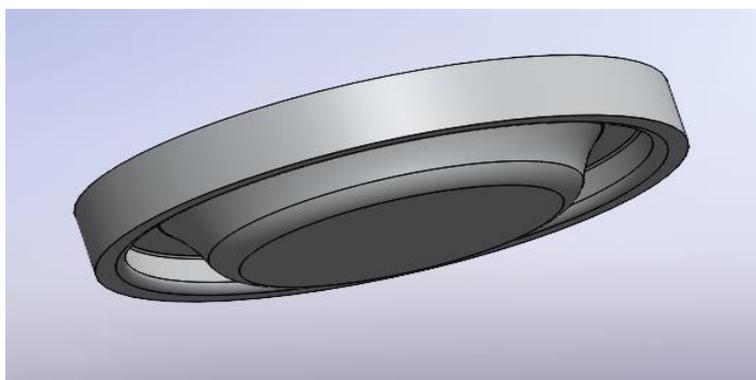


Figura 21. Diseño del punzón.

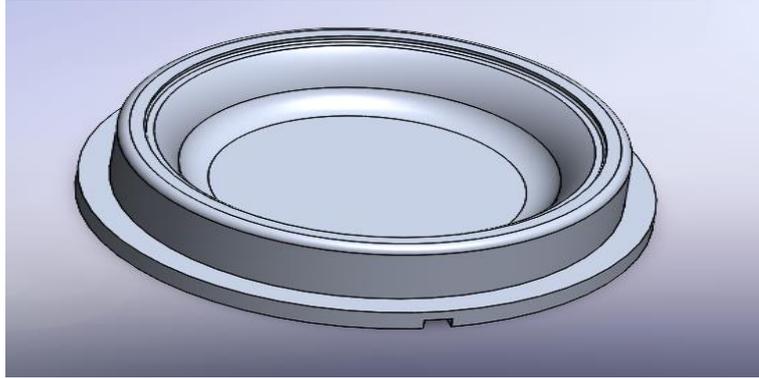


Figura 22. Diseño de la cavidad.

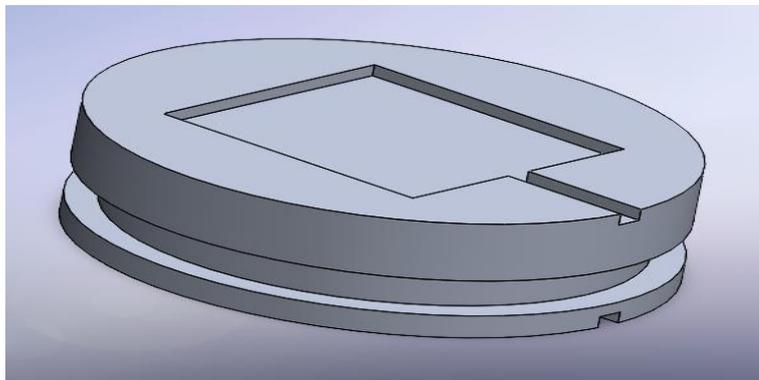


Figura 23. Ensamble del molde.

El siguiente apartado hace referencia a la simulación por elementos finitos mediante el software Ansys Student para verificar el comportamiento del molde en diversas circunstancias o cuando los factores anteriormente mencionados se modifiquen como la temperatura, tiempo de presionado, entre otros. A continuación, se detallan los análisis realizados al punzón y a la cavidad.

3.1.1 Análisis térmico transitorio al molde

El valor a obtener es el tiempo en que la temperatura de la resistencia se transfiere a la superficie de interés del punzón y la cavidad que está en contacto con el material biodegradable. Para obtener el tiempo en el que se demora el calentamiento de la superficie del molde, se realizan varias simulaciones con un rango de temperatura de 80 – 170 °C. Se seleccionó 80 °C como valor inicial o mínimo, 125 °C como valor medio y 170 °C como valor final o máximo, tomando en cuenta que estos valores de temperatura son provenientes de la parte donde se ubican las resistencias en el molde.

La simulación se realizó en el software Ansys Student, para el análisis se considera 20 °C como temperatura ambiente, la superficie donde se ubican las resistencias eléctricas se reemplaza por la temperatura a analizar (80, 125 y 170 °C). Al análisis se agrega la transferencia de calor tipo conducción, para ello se emplea la conductividad térmica del material que es de 130 W/m².°C correspondiente a la aleación de aluminio 7075.

- **Análisis térmico transitorio al punzón**

Para el primer análisis en el punzón se toma 80 °C como valor inicial y se reemplaza en la superficie de la resistencia.

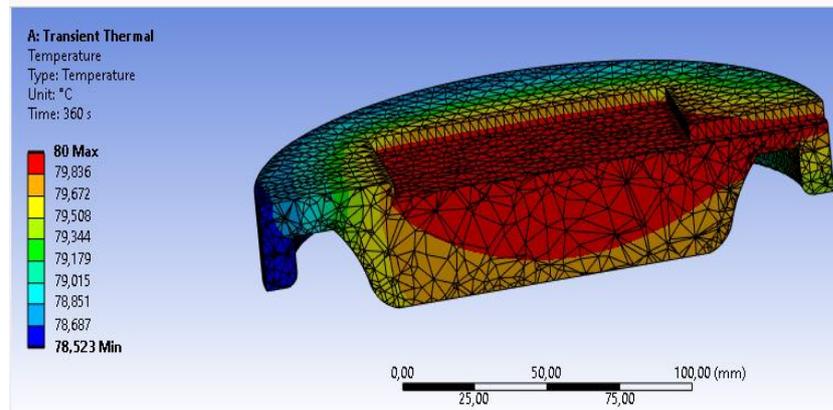


Figura 24. Distribución de la temperatura de 80 °C en el punzón a 360 segundos.

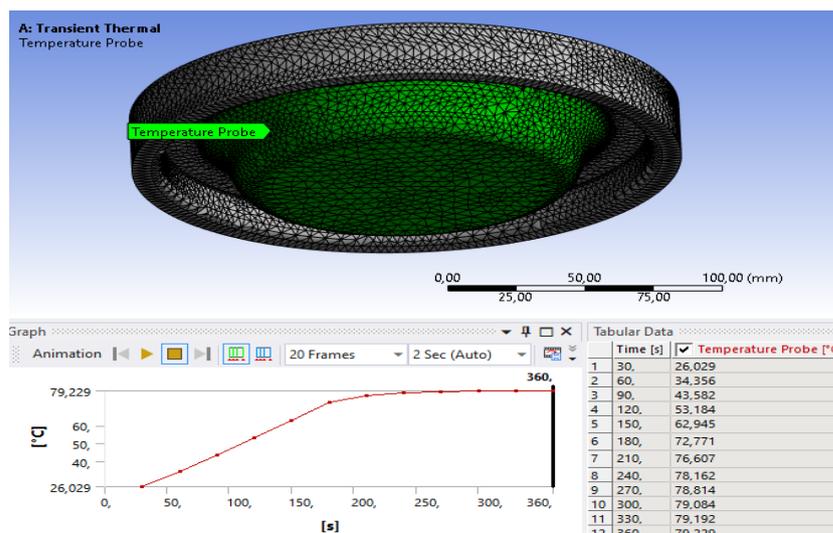


Figura 25. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 80 °C.

Para el segundo análisis en el punzón se toma 125 °C como valor medio y se reemplaza en la superficie de la resistencia.

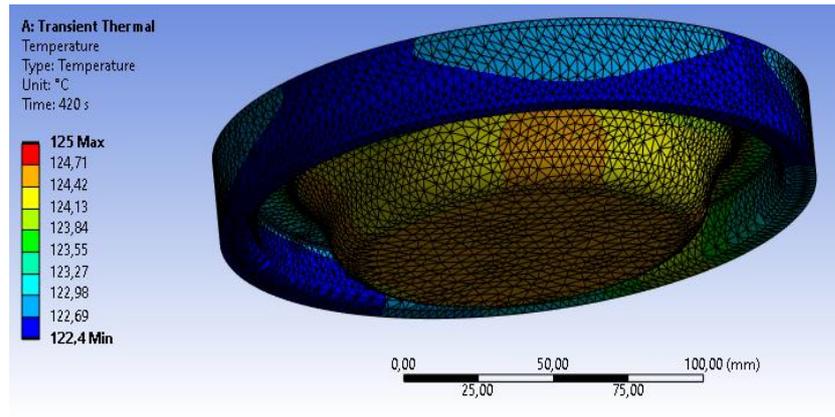


Figura 26. Distribución de la temperatura de 125 °C en el punzón a 420 segundos.

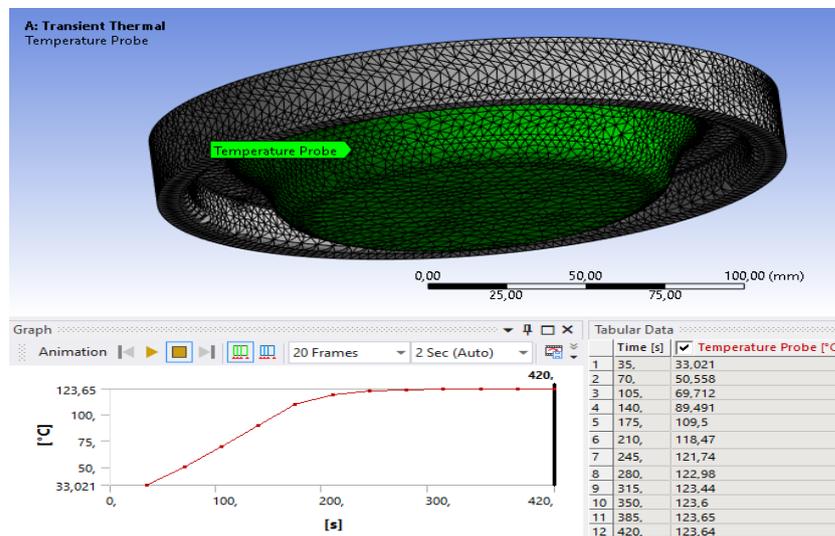


Figura 27. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 125 °C.

Para el ultimo análisis en el punzón se toma 170 °C como valor máximo y se reemplaza en la superficie de la resistencia.

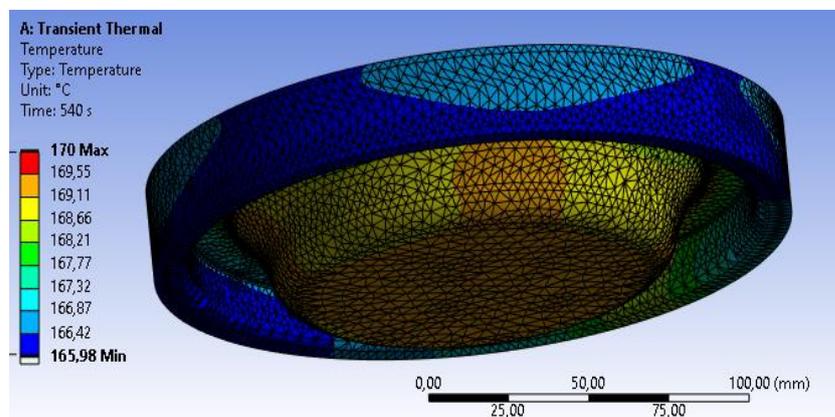


Figura 28. Distribución de la temperatura de 170 °C en el punzón a 540 segundos.

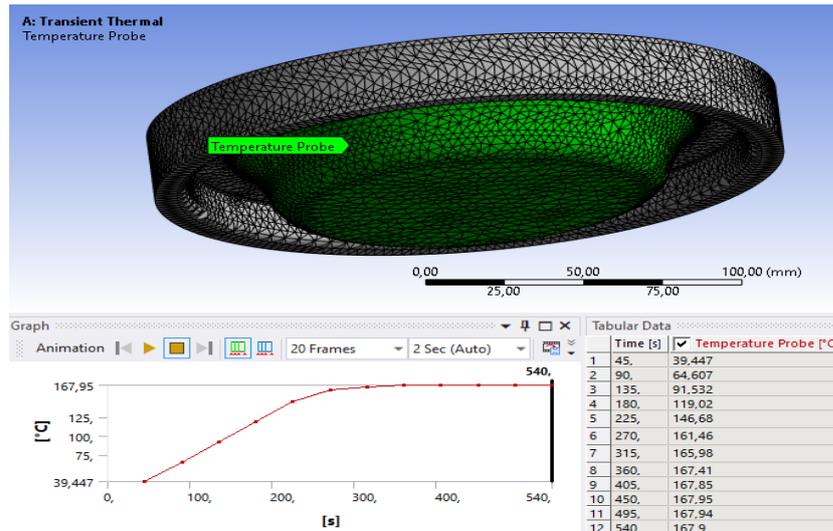


Figura 29. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 170 °C.

Como se puede observar desde la Figura 24 hasta la 29, la distribución de la temperatura no es uniforme en el punzón. La temperatura se distribuye casi en su totalidad al transcurrir un periodo de tiempo que varía dependiendo al valor de temperatura requerido. Para alcanzar una temperatura de 80 °C, el tiempo de espera es de 300 segundos; para un valor de 125 °C, el tiempo de espera es de 420 segundos; y para un valor de 170 °C, el tiempo de espera es de 540 segundos. En las figuras se observan a las superficies de interés señaladas de color verde, las temperaturas en estas superficies son de mucha importancia, debido a que estarán en contacto con la materia biodegradable. Para obtener la temperatura en la superficie de interés, se realiza el análisis solo en esa superficie, dando como resultado una temperatura promedio que se aproxima a la temperatura deseada. Se considera que a mayor temperatura deseada existe una variación en el valor ideal. La temperatura de 170 °C considerada en el análisis como máxima es la que tiene mayor variación para alcanzar la temperatura requerida en la superficie de interés, a los 540 segundos la temperatura en la superficie alcanza 167,9 °C.

- **Análisis térmico transitorio a la cavidad**

Para el primer análisis en la cavidad se toma 80 °C como valor inicial y se reemplaza en la superficie de la resistencia.

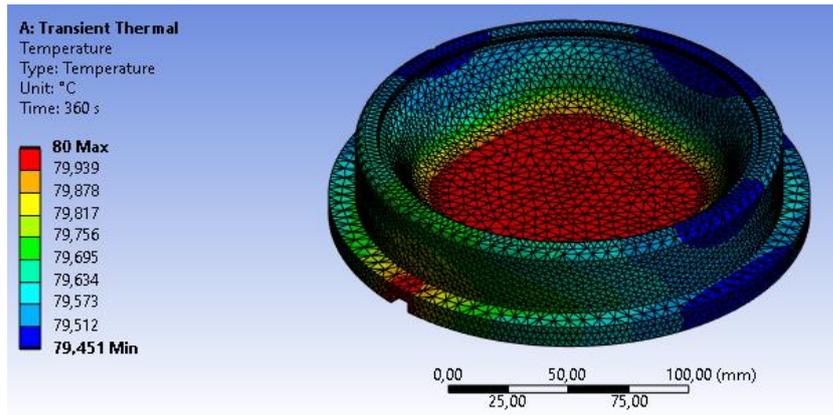


Figura 30. Distribución de la temperatura de 80 °C en la cavidad a 360 segundos.

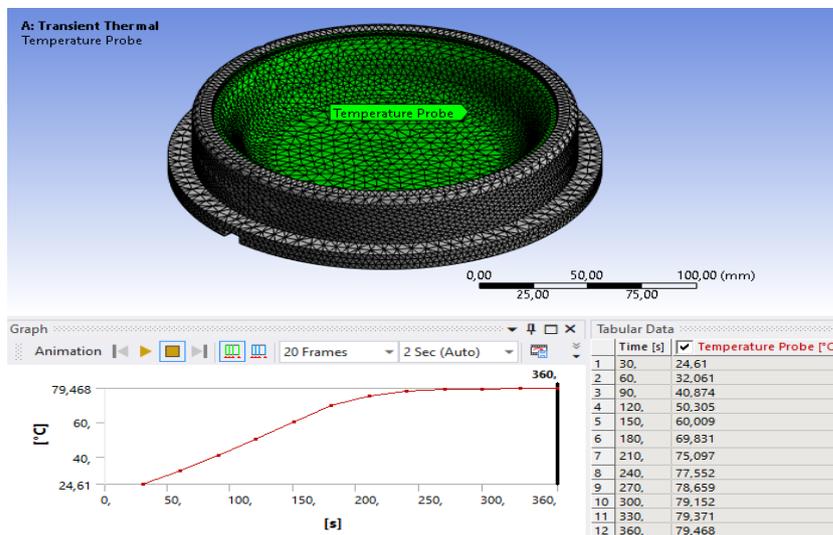


Figura 31. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 80 °C.

Para el segundo análisis en la cavidad se toma 125 °C como valor medio y se reemplaza en la superficie de la resistencia.

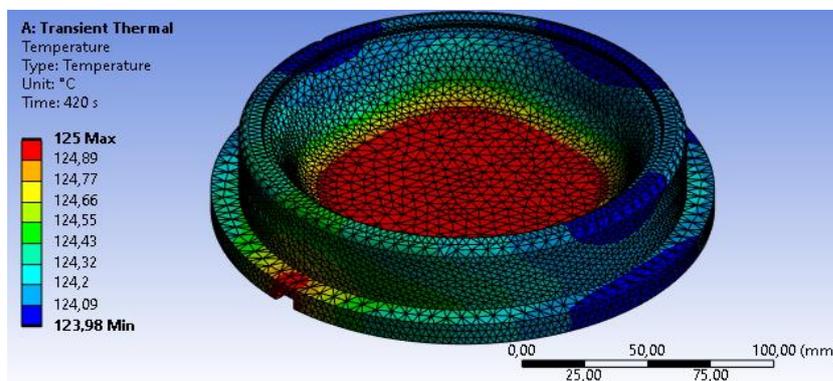


Figura 32. Distribución de la temperatura de 125 °C en la cavidad a 420 segundos.

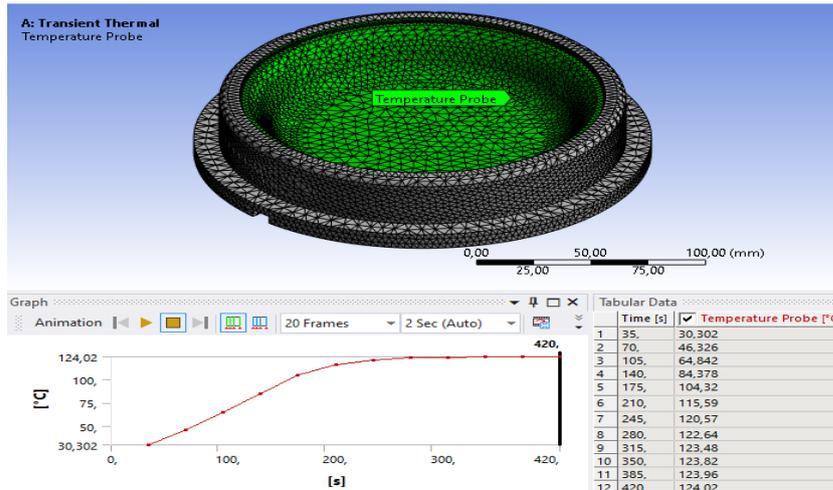


Figura 33. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 125 °C.

Para el ultimo análisis en la cavidad se toma 170 °C como valor máximo y se reemplaza en la superficie de la resistencia.

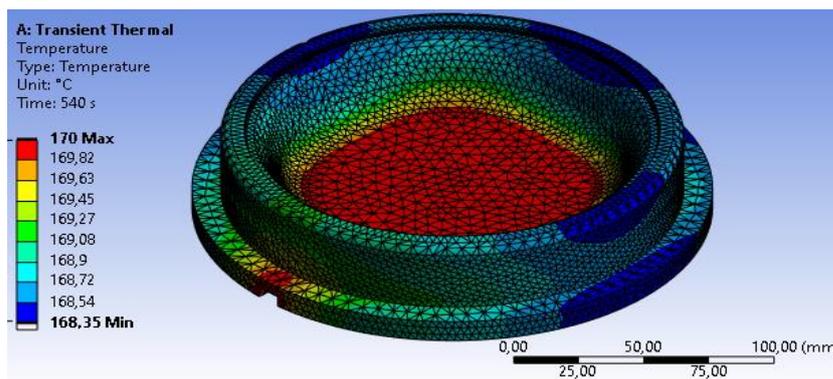


Figura 34. Distribución de la temperatura de 170 °C en la cavidad a 540 segundos.

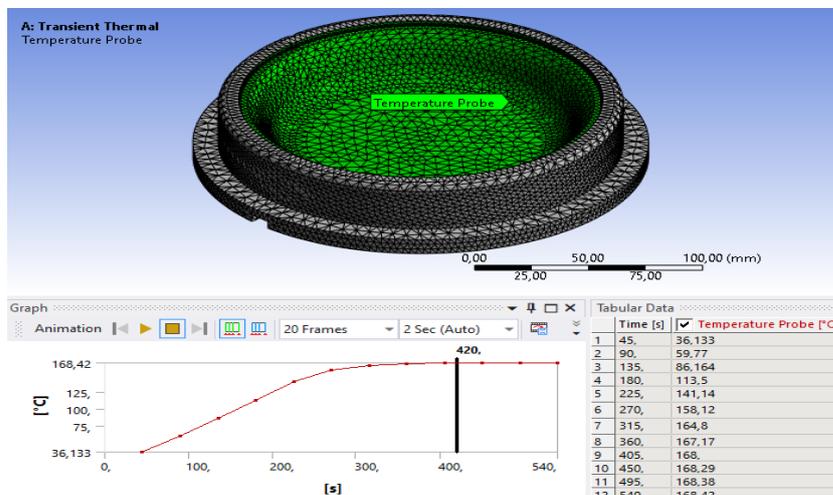


Figura 35. Tiempo aproximado en que la superficie de interés alcanza los 170 °C.

Desde la Figura 30 hasta la 35, se observa que la distribución de la temperatura no es uniforme en la cavidad. La temperatura se distribuye casi en su totalidad al transcurrir un periodo de tiempo que varía dependiendo al valor de temperatura requerido. Para alcanzar una temperatura de 80 °C, el tiempo de espera es de 300 segundos; para un valor de 125 °C, el tiempo de espera es de 420 segundos; y para un valor de 170 °C, el tiempo de espera es de 540 segundos. En las gráficas se observa la superficie de interés señaladas de color verde, las temperaturas en estas superficies son de mucha importancia, debido a que estarán en contacto con la materia biodegradable.

Para obtener la temperatura en la superficie de interés, se analiza solo en esa superficie, resultando una temperatura promedio que se aproxima a la temperatura deseada. Se considera que a mayor temperatura deseada existe una variación en el valor ideal. La temperatura de 170 °C considerada en el análisis como máxima es la que tiene mayor variación para alcanzar la temperatura requerida en la superficie de interés, a los 540 segundos la temperatura en la superficie alcanza 168,42 °C.

3.1.2 Análisis estructural transitorio del molde

Para este análisis se consideró la fuerza máxima que ejerce el cilindro neumático de la máquina, con un valor de 3.117 [N]. También se considera que la máquina está en funcionamiento con una temperatura de 170 °C en el molde.

- **Análisis estructural transitorio del molde**

Se analizó el molde unido, ya que es en el momento de su unión y prensado cuando debe soportar la fuerza neumática establecida, siendo este el punto de mayor interés en el análisis. Una vez que el molde esta unido, se introduce un soporte fijo en el punzón, y la fuerza del cilindro se aplica como presión (Fuerza/Área). El área de interés se estima considerando una aproximación del plano circular que entra en contacto con el vástago del cilindro, es decir, la superficie circular del punzón con un diámetro de 20 cm, lo que resulta en un área de 314,16 cm². En consecuencia, se obtiene una presión máxima de 99.216,96 [Pa]. Es relevante destacar que el molde está fabricado con una aleación de aluminio 7075.

Deformación total

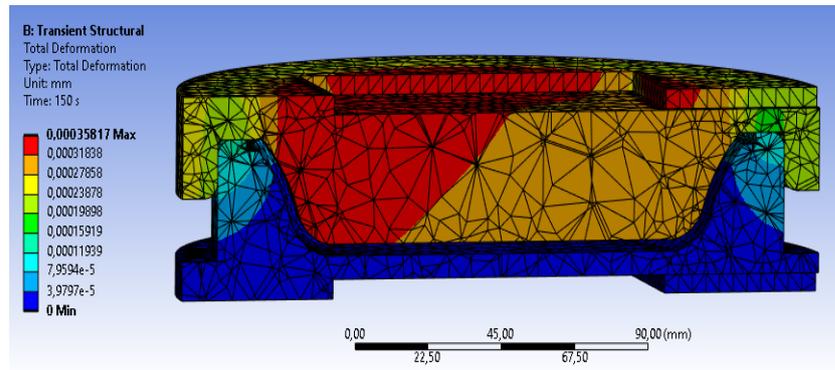


Figura 36. Deformación total del molde completo.

En la Figura 36 se observa la deformación total del molde, al someterse a las condiciones establecidas de presión y tiempo máximos, junto con otras variables. La deformación alcanza un valor máximo de 0,000358 mm. Al considerando este valor, se concluye que el molde, en el momento de su unión y al ser aplicado la fuerza del pistón, presenta una deformación elástica, de acuerdo con el concepto presentado en la sección 1.1.4.8.

Deformación direccional en el eje Y

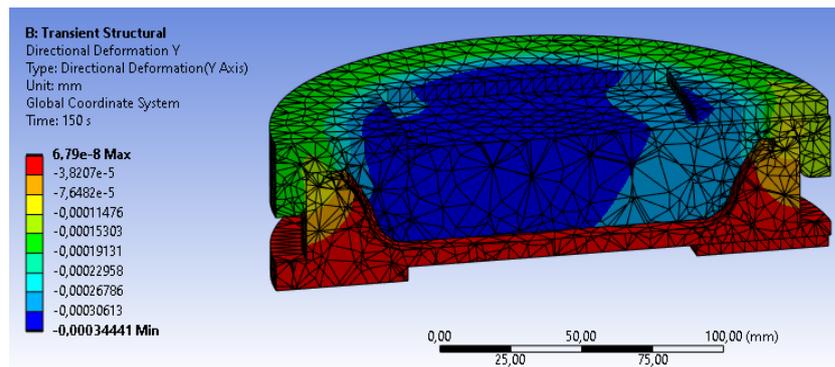


Figura 37. Deformación direccional del molde completo en el eje Y.

La Figura 37 muestra que la deformación en la dirección del eje Y de los moldes, al operar bajo las condiciones máximas de presión y tiempo, junto con otras variables, alcanza un valor crítico de -0,0000000679 mm. El signo negativo indica que la deformación en el eje Y sigue la misma dirección de la fuerza aplica sobre el molde.

Esfuerzo equivalente (Von-Mises)

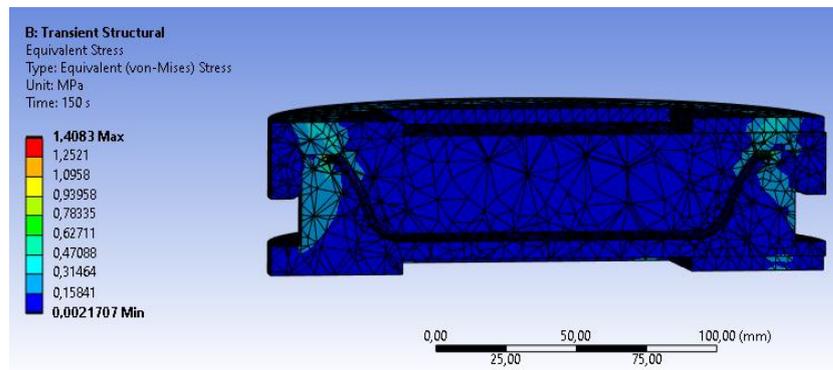


Figura 38. Esfuerzo equivalente de Von Mises del molde completo.

En la Figura 38 se puede observar el esfuerzo equivalente de Von Mises del molde, al operar bajo las condiciones máximas de presión y tiempo, junto con otras variables, alcanza un valor de 1,408 MPa. Este valor al ser comparado con la resistencia de la aleación de aluminio 7075 cuyo valor es de 462 MPa, se puede decir que no ocurrirá fallos al ser sometido a estas condiciones, ya que el esfuerzo equivalente de Von Mises es menor a la resistencia del material.

Factor de seguridad

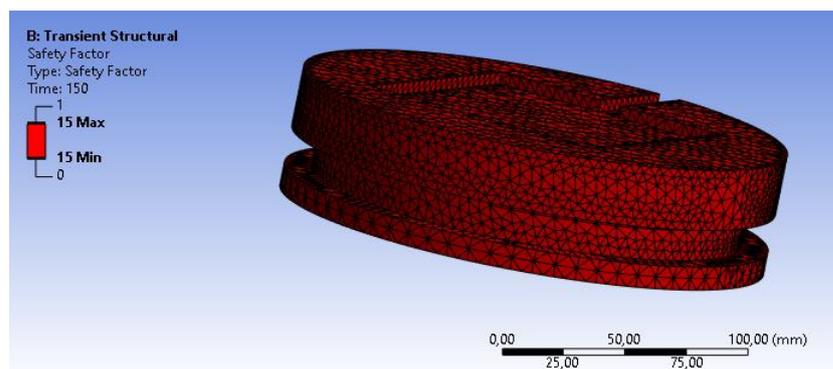


Figura 39. Factor de seguridad del molde completo.

La Figura 39 indica que, de acuerdo con el esfuerzo equivalente de Von Mises de los moldes durante su funcionamiento, se obtendría un valor de factor de seguridad de 328,125. Sin embargo, el software establece un límite máximo para el factor de seguridad de 15, el cual se considera aceptable en base a lo mencionado en la sección 1.1.4.8.

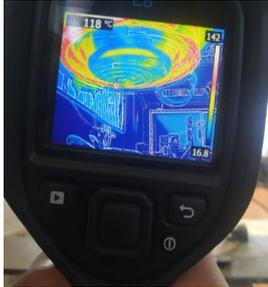
3.1.3 Temperatura real del molde

Para medir la temperatura real de molde se utilizó un pirómetro y una cámara termográfica. En la cámara termográfica se visualizó la temperatura más alta existente en el molde, mientras que con el pirómetro se visualizó la temperatura en el punto señalado del molde. Para la utilización de estos objetos de medición de temperatura se utiliza la emisividad, que es la capacidad de un objeto para emitir energía infrarroja, la energía emitida muestra la temperatura del objeto, el valor de la emisividad es distinto para cada material [93]. Al desconocer el valor exacto de la emisividad del aluminio 7075 se agregó una pequeña porción de taípe en la superficie del molde, cuyo valor de emisividad es de 0,95 midiendo una temperatura de 18,2 °C, a partir de esta temperatura y señalando a la superficie del molde se modificó la emisividad hasta obtener un valor de 0,81 para la emisividad del aluminio 7075. Con el valor de emisividad obtenido se realizaron varias mediciones detalladas en la Tabla 20.

Tabla 20. Valores reales de temperaturas del molde.

| Pieza | Tiempo | Temperatura deseada | Temperatura mediada | Evidencia |
|---------|--------|---------------------|---------------------|---|
| Punzón | 300 s | 80 °C | 72,7 °C |  |
| Cavidad | 300 s | 80 °C | 73,6 °C |  |

Tabla 20. Valores reales de temperaturas del molde (continuación).

| Pieza | Tiempo | Temperatura deseada | Temperatura mediada | Evidencia |
|--------------|---------------|----------------------------|----------------------------|---|
| Punzón | 420 s | 125 °C | 118 °C |  |
| Cavidad | 420 s | 125 °C | 122 °C |  |
| Punzón | 540 s | 170 °C | 163 °C |  |
| Cavidad | 540 s | 170 °C | 165 °C |  |

Como se observa en la Tabla 20, el tiempo de espera para que el molde se aproxime a la temperatura deseada es variado. Cuanto mayor es la temperatura, mayor es el tiempo de espera para que el molde llegue a la temperatura deseada. También es evidente que la cavidad se aproxima con mayor facilidad a la temperatura programada en comparación con el punzón, debido a que tiene menor volumen.

Las imágenes de la Tabla 20 muestran que la temperatura proveniente de la superficie de las resistencias se distribuye de manera no uniforme a lo largo del molde, provocando alejamiento del valor esperado de temperatura en la superficie de interés que estará en contacto con el material biodegradable. Esto podría deberse a la pérdida de calor dado que el molde no está aislado y el calor se disipa en el entorno. También podría deberse a la respuesta enviada desde la termocupla al controlador de temperatura PID. Debido a que la termocupla actúa como sensor de temperatura y se ubica cerca de las resistencias, esto puede influir en la disminución de la potencia enviada por el controlador. Esto se debe a que la termocupla mide la temperatura de las resistencias mas no de la superficie de interés que estará en contacto con el material biodegradable. Como consecuencia, se presentan variaciones en las mediciones de las temperaturas realizadas al molde.

3.1.4 Experimentación para obtener el plato biodegradable

Para realizar la experimentación con las cantidades recomendadas de bagazo de caña de azúcar con almidón de papa e identificar los factores (temperatura, presión, tiempo de mezclado, tiempo de prensado) que influyen en la elaboración del plato con material biodegradable, se realizó varias pruebas con el objetivo de verificar el comportamiento de la materia prima.

Una vez verificado el comportamiento de la materia prima se tomó como base las cantidades recomendadas, se modificó a criterio propio las cantidades de composición de la mezcla, los factores como la temperatura y presión; y se agregó otros factores como el tiempo de mezcla y tiempos de prensado.

En la Tabla 21 se detalla paso a paso el proceso de experimentación de las cantidades de materia prima y la modificación realizada a los factores más importantes que influyen en la elaboración del plato biodegradable. Para las primeras pruebas, se tomó como factores a modificar a las siguientes: T = temperatura [°C], P = presión [bar], composición y t_p = tiempo de prensado [s]. También se agregó una imagen y una pequeña descripción de la observación realizada a los platos obtenidos después de realizar el termoconformado. Para especificar la modificación de las variables de composición se consideró de la siguiente manera: A = cantidad de bagazo de caña de

azúcar, B = almidón de papa y C = agua, las dos primeras en gramos y la tercera en mililitros.

Tabla 21. Experimentación para la elaboración del plato biodegradable.

| # | T (°C) | P (bar) | Composición | tp (s) | Imagen | Observaciones |
|---|--------|---------|-----------------------------|--------|--|--|
| 1 | 140 | 7 | A=35 g B=35 g C=35 ml | 180 |  | Se observa dispersión de material debido a explosión por agua evaporada, podría ser el exceso de humedad de la mezcla o alta temperatura. |
| 2 | 140 | 7 | A=35 g B=35 g C=35 ml | 180 |  | Se observa dispersión de material debido a explosión por agua evaporada, podría ser el exceso de humedad de la mezcla o tiempo de prensado excesivo. |
| 3 | 130 | 7 | A=35 g B=35 g C=35 ml | 180 |  | Se observa dispersión de material en los bordes debido a explosión por agua evaporada, podría ser el exceso de humedad de la mezcla o tiempo de prensado excesivo. |
| 4 | 130 | 7 | A=30 g B=35 g C=35 ml | 120 |  | Se observa reducción de dispersión de material, fuerza de prensado ineficiente. |

Tabla 21. Experimentación para la elaboración del plato (continuación).

| # | T (°C) | P (bar) | Composición | tp (s) | Imagen | Observaciones |
|---|--------|---------|-----------------------------|--------|--|--|
| 5 | 110 | 8 | A=35 g B=40 g C=35 ml | 60 |  | Se observa el conformado del plato completo. Sin embargo, existe desprendimiento de fibras de bagazo. |
| 6 | 110 | 8 | A=30 g B=36 g C=36 ml | 60 |  | Se observa el conformado del plato completo, reducción de desprendimiento de fibras de bagazo. |
| 7 | 110 | 8 | A=30 g B=40 g C=35 ml | 120 |  | Se observa reducción de desprendimiento de fibras de bagazo. Sin embargo, surge explosiones por evaporación de agua por humedad de la mezcla. |
| 8 | 110 | 8 | A=30 g B=35 g C=40 ml | 120 |  | Se observa dispersión de material debido a explosiones por evaporación de agua por humedad de la mezcla, sin desprendimiento de fibras de bagazo |

Como se observa en la Tabla 21 en las cinco primeras pruebas se modificó la temperatura y la presión de prensado, se determinó el valor idóneo de 110 °C para la

temperatura y 8 bares para la presión en el prensado. Desde la prueba 6 a la 8 se modificó la composición y el tiempo de prensado, considerando al valor de la temperatura y la presión de prensado como constantes. Con respecto al plato obtenido, se considera no eficiente por el aspecto físico inadecuado, por lo tanto, se realizó más pruebas considerando a la temperatura de 110°C y presión de prensado de 8 bares como valores constantes para las nuevas pruebas.

En la Tabla 22 se detalla las nuevas pruebas y al proceso de experimentación se agregó el factor de t_m = tiempo de mezclado del material biodegradable y se realizó una serie de ciclos en el t_p = tiempo de prensado.

Tabla 22. Experimentación para la elaboración del plato, variables ajustadas.

| # | Composición | t_m (min) | t_p (s) | Imagen | Observaciones |
|---|-----------------------------|-------------|-----------------------------|--|--|
| 1 | A=25 g B=35 g C=35 ml | 2 | tp1=10 tp2=20 tp3=30 |  | Se observa mínimo desprendimiento de fibras de bagazo y exceso de material. |
| 2 | A=25 g B=35 g C=35 ml | 2 | tp1=30 tp2=60 tp3=150 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, exceso de material crea bordes innecesarios, explosión por evaporación de agua en el primer prensado. |
| 3 | A=20 g B=35 g C=25 ml | 2 | tp1=10 tp2=20 tp3=30 |  | Cantidad de material eficiente sin bordes innecesario, mínimo desprendimiento de fibra de bagazo en la base del plato. |

Tabla 22. Experimentación para la elaboración del plato, valores ajustados (continuación)

| # | Composición | tm (min) | tp (s) | Imagen | Observaciones |
|---|-----------------------------|----------|-------------------------------------|--|--|
| 4 | A=20 g B=35 g C=35 ml | 4 | tp1=10 tp2=20 tp3=30 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, exceso de material crea bordes innecesarios. |
| 5 | A=35 g B=40 g C=35 ml | 4 | tp1=20 tp2=25 tp3=30 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, exceso de material crea bordes innecesarios, explosión por evaporación de agua en el primer prensado. |
| 6 | A=20 g B=35 g C=35 ml | 3 | tp1=20 x2 tp2=25 x2 tp3=30 x2 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, explosión por evaporación de agua en el primer prensado. |
| 7 | A=20 g B=35 g C=30 ml | 3 | tp1=10 x3 tp2=20 x3 tp3=30 x3 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, sin explosión por evaporación de agua en el primer prensado. |
| 8 | A=20 g B=35 g C=33 ml | 3 | tp1=10 x3 tp2=20 x3 tp3=30 x3 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, sin explosión por evaporación de agua en los prensados realizados. |

Como se observa en la Tabla 22, en las 3 primeras pruebas se tomó de 2 minutos el tiempo de mezclado del material, resultando con pequeños grumos de almidón de papa y se realizó los ciclos de tiempo de prensado con tiempos de espera de 10 segundos en cada prensado, con el objetivo que el vapor de agua debido a la evaporación se dispersé en el aire y no ocurra dispersión de material biodegradable. En la prueba 4 y 5 se aumentó el tiempo de mezcla a 4 minutos, resultando ineficiente debido a que el almidón de papa se pega en las cuchillas de la batidora perdiendo cantidad de mezcla. En las pruebas 6,7 y 8 se determinó el tiempo de mezclado de 3 minutos como adecuado y se aumentó las veces de prensado con los tiempos especificados en la tabla. La expresión $tp1=10 \times 3$ significa: primer ciclo del tiempo de presando en 10 segundos por 3 veces. Con respecto al plato obtenido y a criterio propio se considera a la prueba 8 como eficiente y adecuado debido al estado físico: sin desprendimiento de fibra, unión de fibra, cantidad de mezcla de material y superficie lisa.

En la tabla 23, se detalla la experimentación del material biodegradable con el diseño de plato propuesto, considerando los valores ya identificados de los factores que influyen en la elaboración del plato biodegradable.

Tabla 23. Experimentación para la elaboración del plato diseño propuesto.

| # | Composición | t_m (min) | t_p (s) | Imagen | Observaciones |
|---|-----------------------------|----------------|---|--|---|
| 1 | A=20 g B=35 g C=33 ml | 3 | $tp1=10 \times 3$ $tp2=20 \times 3$ $tp3=30 \times 3$ |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, cantidad de material insuficiente. |
| 2 | A=25 g B=37 g C=35 ml | 3 | $tp1=10 \times 3$ $tp2=20 \times 3$ $tp3=30 \times 3$ |  | Se observa mínimo desprendimiento de fibras de bagazo en la base del plato. |

Tabla 23. Experimentación para la elaboración del plato diseño propuesto (continuación).

| # | Composición | tm (min) | tp (s) | Imagen | Observaciones |
|---|-----------------------------|----------|-------------------------------------|--|--|
| 3 | A=25 g B=37 g C=37 ml | 3 | tp1=10 x3 tp2=20 x3 tp3=30 x3 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, explosión por evaporación de agua en los bordes. |
| 4 | A=27 g B=37 g C=35 ml | 3 | tp1=10 x3 tp2=20 x3 tp3=30 x3 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, sin explosión por evaporación de agua en el primer prensado. |
| 5 | A=25 g B=40 g C=37 ml | 3 | tp1=10 x3 tp2=20 x3 tp3=30 x3 |  | Sin desprendimiento de fibras de bagazo, sin explosión por evaporación de agua en los prensados de material biodegradable. |

3.1.5 Dimensionamiento de probetas según las normas utilizadas

Las dimensiones geométricas de las probetas son establecidas para cada tipo de ensayo que se utiliza en la investigación. Es importante recalcar que las normas utilizadas especifican los parámetros para el análisis de propiedades mecánicas y establece las dimensiones longitudinales y transversales de la probeta. Sin embargo, el espesor de la probeta no está directamente determinado por las normas, ya que este parámetro depende del espesor promedio establecido. Las dimensiones se detallan en la Tabla 24 y 25 correspondiente a cada norma utilizada.

Tabla 24. Dimensiones de probetas para ensayos a flexión.

| Dimensiones de probetas para ensayo de flexión según la norma ASTM D7264 | | | | | | |
|---|---------------|-------------------|-----------------------|---------------|--------------|-------------------------|
| Caso | Código | %Ref Aprox | N° de probetas | Ensayo | Norma | Dimensiones (mm) |
| 1 | BCA-AP-D1 | 5 % | 1 | Flexión | ASTM D7264 | 13 x 160 x 3,18 |
| | BCA-AP-D2 | 5 % | 1 | Flexión | ASTM D7264 | 13 x 160 x 3,62 |
| 2 | BCA-AP-D1 | 5 % | 1 | Flexión | ASTM D7264 | 13 x 160 x 3,48 |
| | BCA-AP-D2 | 5 % | 1 | Flexión | ASTM D7264 | 13 x 160 x 3,80 |
| 3 | BCA-AP-D1 | 5 % | 1 | Flexión | ASTM D7264 | 13 x 160 x 3,62 |
| | BCA-AP-D2 | 5 % | 1 | Flexión | ASTM D7264 | 13 x 160 x 3,20 |

Tabla 25. Dimensiones de probetas para ensayos de impacto.

| Dimensiones de probetas para ensayo de impacto según la norma ASTM D5628 | | | | | | |
|---|---------------|--------------------|-----------------------|---------------|--------------|-------------------------|
| Caso | Código | %Ref Aprox. | N° de probetas | Ensayo | Norma | Dimensiones (mm) |
| 4 | BCA-AP-D1 | 5% | 1 | Impacto | ASTM D5628 | 58 x 58 x 3,30 |
| | BCA-AP-D2 | 5% | 1 | Impacto | ASTM D5628 | 58 x 58 x 3,50 |
| 5 | BCA-AP-D1 | 5% | 1 | Impacto | ASTM D5628 | 58 x 58 x 3,35 |
| | BCA-AP-D2 | 5% | 1 | Impacto | ASTM D5628 | 58 x 58 x 3,60 |
| 6 | BCA-AP-D1 | 5% | 1 | Impacto | ASTM D5628 | 58 x 58 x 3,40 |
| | BCA-AP-D2 | 5% | 1 | Impacto | ASTM D5628 | 58 x 58 x 3,55 |

El significado del código es:

BCA: bagazo de caña de azúcar

AP: almidón de papa

D1: diseño de molde propio de la máquina.

D2: diseño de molde propuesto

Corte de probetas

El corte de las probetas se llevó a cabo utilizando un láser con una potencia de 150 Watts y velocidad de 20 mm/s, con las dimensiones de las probetas especificadas por la norma correspondiente a cada tipo de ensayo (flexión e impacto). En la Figura 40 se observa el proceso de corte de las probetas.



Figura 40. Corte de probetas con láser.

a) Corte de probetas para ensayo a flexión

El corte de las probetas se realizó según la norma ASTM D7264, las dimensiones de la probeta se indica en la Tabla 24. En la Figura 41 se observa el corte de las probetas para este tipo de ensayo.

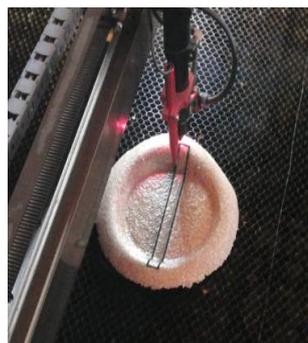


Figura 41. Corte de probetas según la norma ASTM D7264.

b) Corte de probetas para ensayo de impacto

De acuerdo con la norma ASTM D5628 con dimensiones específicas de la probeta que se detallan en la Tabla 25, se llevó a cabo el corte de las probetas. En la figura 42 se observa el corte de las probetas para este tipo de ensayo.



Figura 42. Corte de probetas según la norma ASTM D5628.

3.1.6 Ensayos de las probetas

Los ensayos realizados de flexión e impacto para determinar las propiedades mecánicas del material en estudio, siguiendo normas específicas para cada tipo de ensayo. Las pruebas de impacto y flexión se realizaron en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi.

3.1.6.1 Ensayo de flexión

En los ensayos de flexión se realizaron dos probetas para cada caso, siguiendo los parámetros especificados por la norma, que incluyen las dimensiones de la probeta. El código asignado a las probetas se determinó según la composición del material biodegradable, como se muestra en la Figura 43. La interpretación de este código se detalló en la sección 3.1.5.



Figura 43. Probetas para el ensayo de flexión.

3.1.6.2 Ensayo de impacto

Para el ensayo de impacto las probetas cumplieron los parámetros establecidos por la norma, que incluyen las dimensiones para las probetas. Se realizaron dos probetas para cada caso evaluado en el ensayo. Los códigos asignados a estas probetas hacen referencia a las cantidades de los componentes del material biodegradable, como se observa en la Figura 44. La interpretación de estos códigos se encuentra detallada en la sección 3.1.5.



Figura 44. Probetas para el ensayo de impacto.

3.1.7 Tabulación e interpretación de resultados de los ensayos

La tabulación de datos de las probetas y las condiciones establecidas se llevó a cabo a través de los ensayos mencionados previamente (flexión e impacto). Para obtener estos datos, se emplearon fichas técnicas, siguiendo los parámetros establecidos en el estudio. En las fichas técnicas, se pueden observar los resultados de las probetas sometidas a ensayos de flexión e impacto, siguiendo las normas correspondientes a cada ensayo.

3.1.7.1 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de flexión

En las siguientes fichas técnicas, se pueden observar los resultados de las probetas sometidas a ensayo de flexión bajo la norma ASTM D7264.

Tabla 26. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 1.

| | | | | | |
|---|---|---|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA</p> </div>  </div> | | | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS | | | | | |
| FLEXIÓN ASTM D7264 | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Código | BCA-AP-FT1 | | |
| Fecha de ejecución | 08/01/2024 | Equipo | Máquina Universal de Ensayos | | |
| Realizado por | Brayan Guamán | Revisado por | Ing. Jorge López, Mg | | |
| Lugar | Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi. | | | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Matriz | Bagazo de caña de azúcar | Norma | ASTM D7264 | Número de probetas | 2 |
| Método de ensayo | Flexión 3 puntos | Dimensiones | 160x13xe mm | Distancia entre soportes | 64 mm |
| Forma | Plana | Velocidad de ensayo | 5 mm/min | Espesor promedio | 3,4 mm |
| RESULTADOS | | | | | |
| Nº de probetas | Carga Máxima (N) | Esfuerzo de flexión máximo (MPa) | Desplazamiento máximo (mm) | Módulo de elasticidad (MPa) | Deformación máxima % |
| 1. BCA-AP-D2 | 1,13 | 0,73 | 7,17 | 37,07 | 3,58 |
| 1. BCA-AP-D1 | 17, 12 | 8,96 | 2,33 | 1.019,61 | 1,30 |
| PROBETAS ENSAYADAS | | | | | |
|  | | | | | |

Tabla 26. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 1 (continuación).

| GRÁFICA | |
|--|--------------------------|
| <p>El gráfico muestra la relación entre la tensión (MPa) y la deformación (%) para dos probetas de material biodegradable. La probeta BCA-PA-D1 (línea roja) exhibe un comportamiento elástico-plástico, alcanzando un punto de máxima tensión de aproximadamente 9 MPa a una deformación de 1.5%, antes de sufrir una ruptura. La probeta BCA-PA-D2 (línea marrón) muestra un comportamiento elástico lineal, manteniendo una tensión constante de aproximadamente 0.5 MPa hasta una deformación de 4.8%.</p> | |
| OBSERVACIONES | |
| <p>Las probetas presentan un tipo de ruptura que ocurre entre el punto donde se aplica la carga y apoyo, la ubicación de la falla es en la parte derecha de la probeta.</p> | |
| Elaborado por: | Aprobado y validado por: |
| Brayan Guamán | Ing. Jorge López, Mg |

Tabla 27. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 2.

| | | | | | |
|--|---|--|-----------------------------------|---|-----------------------------|
|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA | |  | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS | | | | | |
| FLEXIÓN ASTM D7264 | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Código | BCA-AP-FT2 | | |
| Fecha de ejecución | 08/01/2024 | Equipo | Máquina Universal de Ensayos | | |
| Realizado por | Brayan Guamán | Revisado por | Ing. Jorge López, Mg | | |
| Lugar | Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi. | | | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Matriz | Bagazo de caña de azúcar | Norma | ASTM D7264 | Número de probetas | 2 |
| Método de ensayo | Flexión 3 puntos | Dimensiones | 160x13xe mm | Distancia entre soportes | 64 mm |
| Forma | Plana | Velocidad | 5 mm/min | Espesor promedio | 3,64 mm |
| RESULTADOS | | | | | |
| N° de probetas | Carga Máxima (N) | Esfuerzo de flexión máximo (MPa) | Desplazamiento máximo (mm) | Módulo de elasticidad (MPa) | Deformación máxima % |
| 2. BCA-AP-D2 | 2,01 | 1,05 | 5,49 | 11,21 | 3,06 |
| 2. BCA-AP-D1 | 5,91 | 3,69 | 5,89 | 225,57 | 3,01 |
| PROBETAS ENSAYADAS | | | | | |
|  | | | | | |

Tabla 27. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 2 (continuación).

| GRÁFICA | |
|---|---------------------------------|
| <p>El gráfico muestra dos curvas de tensión versus deformación. La curva superior, etiquetada como 2.BCA-AP-D1, alcanza una tensión máxima de aproximadamente 3.5 MPa a una deformación de 3.0%. La curva inferior, etiquetada como 2.BCA-AP-D2, alcanza una tensión máxima de aproximadamente 0.9 MPa a una deformación de 3.0%. Ambas curvas muestran un comportamiento elástico-plástico con un punto de máxima tensión antes de la ruptura.</p> | |
| OBSERVACIONES | |
| <p>Las probetas presentan un tipo de ruptura que ocurre en la punta donde se aplica la carga, y la ubicación de la falla es en la parte superior de la probeta.</p> | |
| Elaborado por: | Aprobado y validado por: |
| Brayan Guamán | Ing. Jorge López, Mg |

Tabla 28. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 3.

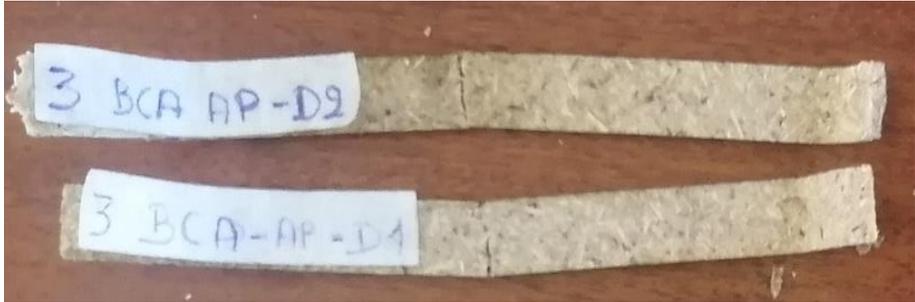
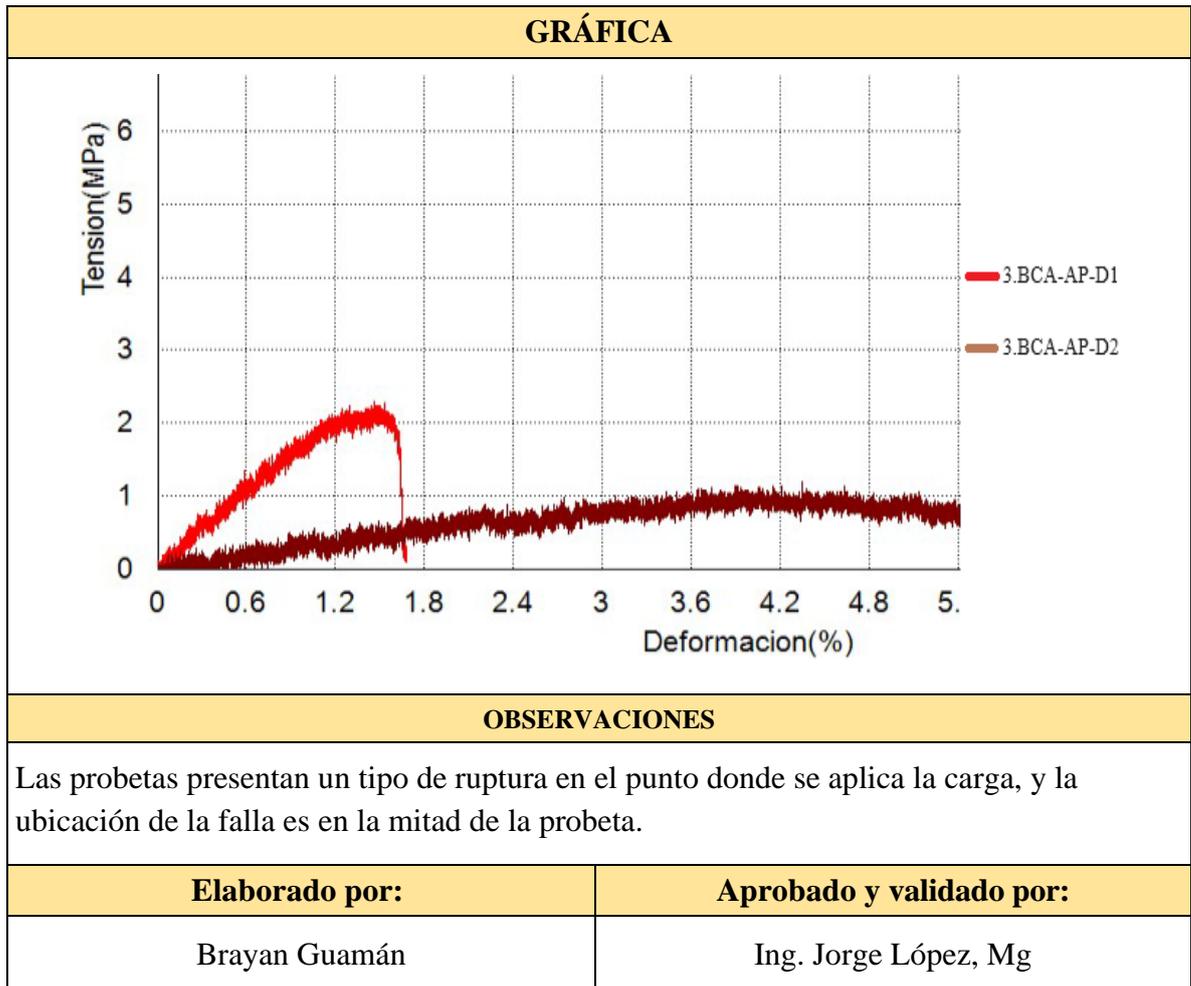
| | | | | | |
|---|---|---|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA</p> </div>  </div> | | | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS | | | | | |
| FLEXIÓN ASTM D7264 | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Código | BCA-AP-FT3 | | |
| Fecha de ejecución | 08/01/2024 | Equipo | Máquina Universal de Ensayos | | |
| Realizado por | Brayan Guamán | Revisado por | Ing. Jorge López, Mg | | |
| Lugar | Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi. | | | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Matriz | Bagazo de caña de azúcar | Norma | ASTM D7264 | Número de probetas | 2 |
| Método de ensayo | Flexión 3 puntos | Dimensiones | 160x13xe mm | Distancia entre soportes | 64 mm |
| Forma | Plana | Velocidad de ensayo | 5 mm/min | Espesor promedio | 3,41 mm |
| RESULTADOS | | | | | |
| Nº de probetas | Carga Máxima (N) | Esfuerzo de flexión máximo (MPa) | Desplazamiento máximo (mm) | Módulo de elasticidad (MPa) | Deformación máxima % |
| 3. BCA-AP-D2 | 3,98 | 2,30 | 2,76 | 165,78 | 1,46 |
| 3. BCA-AP-D1 | 2,05 | 1,19 | 8,19 | 46,99 | 4,34 |
| PROBETAS ENSAYADAS | | | | | |
|  | | | | | |

Tabla 28. Ficha técnica del material biodegradable a flexión caso 3 (continuación).



A partir de los resultados del ensayo de flexión, se aprecia que las mejores características que presentó el material biodegradable en cuanto al desplazamiento máximo y el esfuerzo de flexión máximo al ser sometido al ensayo a flexión, fue la probeta BCA-AP-D1 correspondiente a la composición de 20g de bagazo de caña de azúcar, 35g de almidón de papa y 33ml de agua. También se considera que la probeta con mejores características se realizó en el primer diseño del plato.

3.1.7.2 Tabulación de datos de las probetas a ensayo de impacto

En las siguientes fichas técnicas, se pueden observar los resultados de las probetas sometidas a ensayo de impacto bajo la norma ASTM D5628.

Tabla 29. Ficha técnica del material biodegradable a impacto caso 4.

| | | | | | |
|--|---|----------------------------|--|-----------------------------------|----------------------|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> </div>  </div> | | | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS | | | | | |
| IMPACTO ASTM D5628-10 | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Código | BCA-AP-FT4 | | |
| Fecha de ejecución | 08/01/2024 | Equipo | Máquina tipo caída de masas de Impacto | | |
| Realizado por | Brayan Guamán | Revisado por | Ing. Jorge López, Mg | | |
| Lugar | Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi. | | | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Matriz | Bagazo de caña de azúcar | Norma: | ASTM D5628 | Número de probetas | 2 |
| | | Dimensiones | 58x58xe mm | Espesor promedio | 3,40 mm |
| RESULTADOS | | | | | |
| Nº de probetas: | Altura media de fallo (mm) | Masa del dardo (Kg) | Incremento de masa (Kg) | Energía media de fallo (J) | Tipo de falla |
| 4. BCA-AP-D1 | 150 | 0,231 | 0,88 | 1,63 | A |
| 4. BCA-AP-D2 | 120 | 0,231 | 0,88 | 1,31 | A |
| PROBETAS ENSAYADAS | | | | | |
|  | | | | | |
| OBSERVACIÓN | | | | | |
| Las dos probetas presentan un tipo de falla A, que indica que tiene pequeñas grietas en las probetas a una altura de 150 y 120 mm con un peso de 0,231 kg perteneciente al dardo y un aumento adicional de 0,88 kg perteneciente a 5 arandelas agregadas al dardo de caída. | | | | | |
| Elaborado por: | | | Aprobado y validado por: | | |
| Brayan Guamán | | | Ing. Jorge López, Mg | | |

Tabla 30. Ficha técnica del material biodegradable a impacto caso 5.

| | | | | | |
|--|---|----------------------------|--|-----------------------------------|----------------------|
| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> </div>  </div> | | | | | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS | | | | | |
| IMPACTO ASTM D5628-10 | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Código | BCA-AP-FT5 | | |
| Fecha de ejecución | 08/01/2024 | Equipo | Máquina tipo caída de masas de Impacto | | |
| Realizado por | Brayan Guamán | Revisado por | Ing. Jorge López, Mg | | |
| Lugar | Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi. | | | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Matriz | Bagazo de caña de azúcar | Norma: | ASTM D5628 | Número de probetas | 2 |
| | | Dimensiones | 58x58xe mm | Espesor promedio | 3,48 mm |
| RESULTADOS | | | | | |
| Nº de probetas: | Altura media de fallo (mm) | Masa del dardo (Kg) | Incremento de masa (Kg) | Energía media de fallo (J) | Tipo de falla |
| 5. BCA-AP-D1 | 150 | 0,231 | 0,141 | 0,51 | C |
| 5. BCA-AP-D2 | 120 | 0,231 | 0,141 | 0,41 | C |
| PROBETAS ENSAYADAS | | | | | |
|  | | | | | |
| OBSERVACIÓN | | | | | |
| Las dos probetas presentan un tipo de falla C, que indica que tiene hundimiento en las probetas a una altura de 150 y 120 mm con un peso de 0,231 kg perteneciente al dardo y un aumento adicional de 0,141 kg perteneciente a 8 arandelas agregadas al dardo de caída. | | | | | |
| Elaborado por: | | | Aprobado y validado por: | | |
| Brayan Guamán | | | Ing. Jorge López, Mg | | |

Tabla 31. Ficha técnica del material biodegradable a impacto caso 6.

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|----------------------|
|  | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA | |  | |
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS | | | | | |
| IMPACTO ASTM D5628-10 | | | | | |
| DATOS INFORMATIVOS | | | | | |
| Tipo de estudio | Experimental | Código | BCA-AP-FT6 | | |
| Fecha de ejecución | 08/01/2024 | Equipo | Máquina tipo caída de masas de Impacto | | |
| Realizado por | Brayan Guamán | Revisado por | Ing. Jorge López, Mg | | |
| Lugar | Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, campus Huachi. | | | | |
| PARÁMETROS DE ENSAYO | | | | | |
| Matriz | Bagazo de caña de azúcar | Norma: | ASTM D5628 | Número de probetas | 2 |
| | | Dimensiones | 58x58xe mm | Espesor promedio | 3,48 mm |
| RESULTADOS | | | | | |
| N° de probetas: | Altura media de fallo (mm) | Masa del dardo (Kg) | Incremento de masa (Kg) | Energía media de fallo (J) | Tipo de falla |
| 6. BCA-AP-D1 | 150 | 0,231 | 0,176 | 0,60 | D |
| 6. BEA-AP-D2 | 120 | 0,231 | 0,176 | 0,48 | D |
| PROBETAS ENSAYADAS | | | | | |
|  | | | | | |
| OBSERVACIÓN | | | | | |
| <p>Las dos probetas presentan un tipo de falla D, que indica rotura de espesor en el área donde impacta el dardo a una altura de 150 y 120 mm con un peso de 0,231 kg perteneciente al dardo y un aumento adicional de 0,176 kg perteneciente a 10 arandelas agregadas al dardo de caída.</p> | | | | | |
| Elaborado por: | | | Aprobado y validado por: | | |
| Brayan Guamán | | | Ing. Jorge López, Mg | | |

A partir de los resultados del ensayo de impacto, se aprecia que las mejores características que presentó el material biodegradable en cuanto a la resistencia máxima al impacto fue la probeta BCA-AP-D1 correspondiente a la composición de 20g de bagazo de caña de azúcar, 35g de almidón de papa y 33ml de agua. También se considera que la probeta con mejores características se realizó en el primer diseño del plato.

3.2 Verificación de la hipótesis

En este apartado se utiliza el modelo "T de Student" para la verificación de la hipótesis, el modelo T de Student permite determinar si existe o no diferencias relevantes entre dos variables. Con este modelo se puede evaluar si el enunciado de la tesis se cumple o no.

Hipótesis

El diseño de un molde y la cantidad de material biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar influyen en las propiedades mecánicas del plato elaborado.

Variable dependiente

Propiedades mecánicas del plato obtenido

Variable independiente

Diseño del molde y la cantidad de material biodegradable

Hipótesis nula H_0

El diseño de un molde y la cantidad del material biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar no influyen en las propiedades mecánicas del plato obtenido; es decir, las propiedades mecánicas del plato obtenido no se modifican.

Hipótesis alternativa H_a

El diseño de un molde y la cantidad del material biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar mejoran las propiedades mecánicas del plato obtenido; es decir, las propiedades mecánicas del plato se modifican.

Modelo matemático

$$H_0 = VI = VD; H_a = VI \neq VD$$

Nivel de significancia

Se seleccionó un nivel de confianza de 95%, lo que corresponde a un 5% en el nivel de significancia, obteniendo un valor de 0,05 para la probabilidad (P)

Grados de libertad

$$v = n_1 + n_2 - 2$$

v : número de grados de libertad

n_1 : número de probetas experimentadas con el anterior diseño de plato

n_2 : número de probetas experimentadas con el nuevo diseño de plato

$$v = 6 + 6 - 2$$

$$v = 10$$

| | 0.50 | 0.20 | 0.10 | 0.05 |
|----|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 1.000 | 3.078 | 6.314 | 12.706 |
| 2 | 0.816 | 1.886 | 2.920 | 4.303 |
| 3 | 0.765 | 1.638 | 2.353 | 3.182 |
| 4 | 0.741 | 1.533 | 2.132 | 2.776 |
| 5 | 0.727 | 1.476 | 2.015 | 2.571 |
| 6 | 0.718 | 1.440 | 1.943 | 2.447 |
| 7 | 0.711 | 1.415 | 1.895 | 2.365 |
| 8 | 0.706 | 1.397 | 1.860 | 2.306 |
| 9 | 0.703 | 1.383 | 1.833 | 2.262 |
| 10 | 0.700 | 1.372 | 1.812 | 2.228 |
| 11 | 0.697 | 1.363 | 1.796 | 2.201 |
| 12 | 0.695 | 1.356 | 1.782 | 2.179 |
| 13 | 0.694 | 1.350 | 1.771 | 2.160 |
| 14 | 0.692 | 1.345 | 1.761 | 2.145 |
| 15 | 0.691 | 1.341 | 1.753 | 2.131 |

Figura 45. Extracto de la tabla de valores de distribución t Student [94].

Con los valores determinados de grados de libertad igual a 10 y 0,05 para la probabilidad, de la Figura 45 se obtiene el valor de t tabulado igual a 2,228

Para el cálculo de la distribución t de la variable independiente (diseño del molde y la cantidad del material biodegradable) y la variable dependiente (propiedades mecánicas del plato obtenido). Se utilizó los datos de la Tabla 32.

Tabla 32. Valores para la distribución t calculada.

| Nº | Diseño | Cantidad de material biodegradable | Propiedad Mecánica | |
|----|-----------|------------------------------------|--------------------|---|
| 1 | BCA-AP-D1 | 88 | 8,96 | Ensayo de flexión: datos de esfuerzo de flexión máximo [MPa] |
| | BCA-AP-D2 | 102 | 0,73 | |
| 2 | BCA-AP-D1 | 88 | 279,34 | |
| | BCA-AP-D2 | 102 | 94,99 | |
| 3 | BCA-AP-D1 | 88 | 2,30 | |
| | BCA-AP-D2 | 102 | 1,19 | |
| 4 | BCA-AP-D1 | 88 | 1,63 | Ensayo de impacto: datos de la energía de fallo [J] |
| | BCA-AP-D2 | 102 | 1,31 | |
| 5 | BCA-AP-D1 | 88 | 0,51 | |
| | BCA-AP-D2 | 102 | 0,41 | |
| 6 | BCA-AP-D1 | 88 | 0,60 | |
| | BCA-AP-D2 | 102 | 0,48 | |

Para obtener el valor de la distribución t calculada, los cálculos se realizaron en el programa Excel con los valores de la tabla anterior. En la Tabla 33 se muestra los resultados de los cálculos realizados.

Tabla 33. Resultados de los cálculos para obtener la distribución t calculada.

| | Cantidad de material biodegradable | Propiedad Mecánica |
|---|------------------------------------|--------------------|
| Media | 95 | 32,7041667 |
| Varianza | 53,4545455 | 6755,64524 |
| Observaciones | 12 | 12 |
| Coefficiente de correlación de Pearson | -0,20568183 | |
| Diferencia hipotética de las medias | 0 | |
| Grados de libertad | 11 | |
| Estadístico t | 2,56898196 | |
| P(T<=t) una cola | 0,01304884 | |
| Valor crítico de t (una cola) | 1,79588482 | |
| P(T<=t) dos colas | 0,02609768 | |
| Valor crítico de t (dos colas) | 2,20098516 | |

De la Tabla 33 se obtiene el valor de la distribución t calculada, que es igual a 2,568

Se establece una comparativa entre los resultados obtenidos de la siguiente manera:

$$t_{calculado} = 2,568 > t_{tabulado} = 2,228$$

La comparación indica que el t calculado es mayor al t obtenida de la figura 53, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se valida la hipótesis alternativa que señala que:

El diseño de un molde y la cantidad del material biodegradable a partir del bagazo de caña de azúcar mejoran las propiedades mecánicas del plato obtenido; es decir, las propiedades mecánicas del plato se modifican.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se concluye en base la información de tipo académica y científica con relación a la elaboración de artículos con material biodegradable a partir de bagazo de caña de azúcar que el bagazo al ser mezclado con distintas sustancias químicas como los almidones, aumenta sus propiedades mecánicas, incentivando al estudio y desarrollo de proyectos con la utilización de este material.
- Los parámetros que se deben considerar para el diseño del molde son los siguientes: temperatura, resistencia, conductividad y acabado superficial. Relacionando estos parámetros se obtuvo un producto adecuado para el prensado del material biodegradable a partir de bagazo de caña de azúcar.
- Con el uso de softwares especializados en diseño CAD y análisis por elementos finitos se desarrolló el diseño geométrico del plato y el análisis (térmico y estructural) del molde en distintas condiciones relacionadas al proceso de termoconformado.
- Se determinó mediante simulaciones que el tiempo aproximado para que la temperatura en superficie de interés alcance el valor programado es variado y depende de la temperatura que se requiere. Para alcanzar una temperatura de 80 °C, el tiempo de espera es de 300 segundos; para un valor de 125 °C, el tiempo de espera es de 420 segundos; y para un valor de 170 °C, el tiempo de espera es de 540 segundos. Estos valores se determinaron tanto para el punzón como para la cavidad.
- Con los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas (ensayo de flexión e impacto) realizadas al producto propuesto, se establece que la cantidad de composición con las mejores características es de 20 gramos de bagazo de caña de azúcar, 35 gramos de almidón de papa y 33 mililitros de agua, los valores de las propiedades mecánicas de esta composición con un espesor de 3,2 milímetros son las siguientes:

Carga máxima: 17,12 N

Esfuerzo de flexión máximo: 8,96 MPa

Desplazamiento máximo: 2,33 mm

Energía media de fallo: 5,98 J

4.2 Recomendaciones

- El molde al ser un prototipo destinado a la experimentado de material biodegradable, se contrunstruyó con aleación de aluminio 7075, que no se recomienda para la elaboración de artículos destinadas al contacto con alimentos. Se sugiere mejorar los criterios para elegir el material de construcción del molde para evitar daños en la salud de las personas, ya que los artículos que se elaboran con el molde están destinados a contener alimentos que se consumirán.
- Se recomienda realizar un diseño de molde diferente con el objetivo de observar el comportamiento del material biodegradable y verificar sus propiedades mecánicas. Se sugiere un diseño de algún artículo denominado de un solo uso, como los envases o vajillas desechables.
- El proceso de termoconformado del plato debe realizarse con precaución para evitar el desperdicio del material y proteger la integridad de la persona que lo realiza. Como el molde se calienta a una temperatura considerable de 170 °C y el prensado del plato se realiza a 8 bares. Se recomienda utilizar equipos de protección personal (EPP) adecuados para el caso.
- El área de prensado del plato debe estar libre de impurezas e imperfecciones para que los platos tengan un buen acabado superficial. Se debe aplicar el desmoldante de origen vegetal para que el material no se adhiera a la superficie del molde.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Aguilar *et al.*, “Inadecuado uso de residuos sólidos y su impacto en la contaminación ambiental”, *Sciéndo*, vol. 21, núm. 4, pp. 401–407, dic. 2018, doi: 10.17268/sciendo.2018.044.
- [2] M. Valarezo y M. Punín, “Alternativas de desarrollo sostenible: polímeros a partir de desechos orgánicos”, *Analysis. Claves de Pensamiento Contemporáneo*, vol. 34, núm. 4, pp. 1–16, 2022, Consultado: el 10 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://orcid.org/0000-0002-7998-9100>.
- [3] O. Torres, M. Cuarán, y Y. Quintero, “La producción biodegradable como alternativa para reducir la contaminación por plástico en el cantón San Lorenzo”, *Universidad y Sociedad*, vol. 14, pp. 188–294, jun. 2022, Consultado: el 10 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2948/2903>
- [4] C. Liu *et al.*, “Biodegradable, Hygienic, and Compostable Tableware from Hybrid Sugarcane and Bamboo Fibers as Plastic Alternative”, *Matter*, vol. 3, núm. 6, pp. 2066–2079, dic. 2020, doi: 10.1016/J.MATT.2020.10.004.
- [5] A. Chacha y P. Chiluisa, “Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la obtención de envases biodegradables.”, 2023. Consultado: el 23 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10564>
- [6] A. Arguello y K. Torres, “Diseño y construcción de un equipo de moldeo térmico para la elaboración de platos biodegradables a partir del bagazo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2021. Consultado: el 23 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/14994>
- [7] E. Lema, “Bioplásticos a partir de residuos del cacao, una alternativa para mitigar la contaminación por plástico”, *Ingeniería e Innovación*, vol. 9, núm. 1, pp. 343–354, may 2021, doi: 10.2/JQUERY.MIN.JS.
- [8] Organización de Naciones Unidas (ONU), “¿Qué es la contaminación por plásticos? - Desarrollo Sostenible”. Consultado: el 4 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2023/08/explainer-what-is-plastic-pollution/>
- [9] Organización de Naciones Unidas, “El uso exagerado del plástico durante la pandemia de COVID-19 afecta a los más vulnerables”, Noticias ONU. Consultado: el 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302>

- [10] S. Zhang *et al.*, “Microplastics in the environment: A review of analytical methods, distribution, and biological effects”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 111, pp. 62–72, feb. 2019, doi: 10.1016/J.TRAC.2018.12.002.
- [11] M. Diaz, J. Conesa, y A. Fullana, “Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants”, *Sustainability*, vol. 12, núm. 14, p. 5514, jul. 2020, doi: 10.3390/SU12145514.
- [12] A. Lusher, P. Hollman, y J. Mendoza, *Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. Italy, 2017.
- [13] L. Ortiz, “10 cifras de la ONU para mostrar el daño que los plásticos le hacen al planeta”, *Expansión*. Consultado: el 7 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://expansion.mx/vida-arte/2019/07/03/10-cifras-de-la-onu-para-mostrar-el-dano-que-los-plasticos-le-hacen-al-planeta>
- [14] Plastics Europe Enabling a sustainable future, “Plastics - the Facts 2022 • Plastics Europe”. Consultado: el 24 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022-2/>
- [15] J. López, J. Pomaquero, y J. López, “Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba”, *Polo del Conocimiento*, vol. 5, núm. 12, pp. 725–742, dic. 2020, doi: 10.23857/PC.V5I12.2139.
- [16] El telégrafo, “El Telégrafo - Reducir el uso de plásticos, la apuesta ambiental de Ecuador en los próximos años”. Consultado: el 14 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/reducir-plasticos-ecuador>
- [17] Lideres, “La industria del plástico se mueve al ritmo de unas 600 empresas | Revista Líderes”. Consultado: el 24 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-plastico-inversion-innovacion-ritmo.html>
- [18] Asamblea Nacional República del Ecuador, “Ley Orgánica Para La Racionalización, Reutilización Y Reducción De Plásticos De Un Solo Uso – Boletín Jurídico”. Consultado: el 25 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://boletin.novedadesjuridicas.com.ec/lrupsu/>
- [19] Organización de Naciones Unidas (ONU), “Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible”. Consultado: el 16 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- [20] C. Gómez, “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica”, vol. 140, pp. 107–118, 2018, Consultado: el 16 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6312616>

- [21] Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-2020 [”]. Consultado: el 14 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2020/>
- [22] G. Salgado, “Valorización energética de residuos agrícolas: cáscara de plátano, cascarilla de arroz y bagazo de caña mediante procesos de biodigestión y combustión”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2020. Consultado: el 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20707>
- [23] Ingeniería Química, “El proceso de obtención de azúcar blanco - Ingeniería Química”. Consultado: el 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaquimica.net/articulos/412-el-proceso-de-obtencion-de-azucar-blanco>
- [24] Envaselia, “Qué es biodegradable - Envase y Embalaje”. Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/263319-Que-es-biodegradable.html>
- [25] J. Sánchez, “Cuánto tarda en degradarse el plástico biodegradable - descúbrelo aquí”. Consultado: el 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.ecologiaverde.com/cuanto-tarda-en-degradarse-el-plastico-biodegradable-1272.html#anchor_2
- [26] C. Borrowman, P. Johnston, R. Adhikari, K. Saito, y A. Patti, “Environmental degradation and efficacy of a sprayable, biodegradable polymeric mulch”, *Polym Degrad Stab*, vol. 175, p. 109126, may 2020, doi: 10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2020.109126.
- [27] G. Portillo, “Materiales biodegradables: características, usos y ventajas”, *Renovables Verdes*. Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.renovablesverdes.com/materiales-biodegradables/#comments>.
- [28] J. Posada y E. Montes, “Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales”, *Informador técnico*, vol. 86, núm. 1, pp. 94–110, 2022, doi: 10.23850/22565035.3417.
- [29] G. Cornejo, E. Marinero, C. Funes, y P. Toruño, “Biopolímeros para uso agroindustrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable”, *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, vol. 6, núm. 11, pp. 1359–1382, jul. 2020, doi: 10.5377/RIBCC.V6I11.9824.
- [30] V. Tashiguano, “Revisión de literatura y propuesta de un laboratorio de innovación y desarrollo de materiales biodegradables en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano”, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Zamorano, 2020. Consultado: el 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6936>

- [31] Primebiopolymers, “Todo lo que debes saber sobre los envases biodegradables para alimentos”. Consultado: el 18 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://primebiopol.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-los-envases-biodegradables-para-alimentos/>
- [32] Gobierno de México, “La caña de azúcar y su importancia para la industria azucarera | Representación Agricultura Nayarit |”. Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/la-cana-de-azucar-y-su-importancia-para-la-industria-azucarera?idiom=es>.
- [33] D. Bermeo y P. Reyes, “Evaluación del residuo corte de caña de azúcar como materia prima para producir biocombustibles sólidos”, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2023. Consultado: el 16 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67222>
- [34] V. Reyes, J. Gonzabay, G. Herrera, y C. Deza, “Determining factors of sustainability in a sugarcane company in Ecuador”, *Rev Cienc Soc*, vol. 28, pp. 288–302, 2022, Consultado: el 27 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/280/28069961021/html/>
- [35] A. Sánchez, T. Vayas, F. Mayorga, y C. Freire, “Sector Azucarero del Ecuador”, *Observatorio Económico y Social de Tungurahua*, 2018, Consultado: el 27 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://fca.uta.edu.ec/v4.0/images/OBSERVATORIO/dipticos/Diptico_N39.pdf
- [36] C. Ibañez, “Crean una botella a partir de caña de azúcar que se descompone al 90% en seis meses”. Consultado: el 16 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.elespanol.com/invertia/disruptores-innovadores/innovadores/investigacion/20190917/crean-botella-partir-cana-azucar-descompone-meses/429957884_0.html
- [37] S. Zafar, “Biomass Resources from Sugar Industry”, BioEnergy Consult. Consultado: el 16 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.bioenergyconsult.com/tag/sugarcane-biomass/>
- [38] Yara, “Principios agronómicos en caña de azúcar | Yara Ecuador”. Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cana-de-azucar/principios-agronicos-en-cana-de-azucar>
- [39] Trupal, “Bagazo de caña de azúcar, materia prima para la producción de empaques”. Consultado: el 16 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.trupal.com.pe/blog/bagazo-de-cana-de-azucar-materia-prima-para-la-produccion-de-empaques-2/>
- [40] Cell Press, “Esta vajilla hecha de caña de azúcar y bambú se descompone en 60 días”, Mundo Agropecuario BET. Consultado: el 16 de septiembre de 2023. [En

línea]. Disponible en: <https://mundoagropecuario.net/esta-vajilla-hecha-de-cana-de-azucar-y-bambu-se-descompone-en-60-dias/>

- [41] J. Gil, L. Sánchez, S. Ortega, A. Grisales, y M. Pinzón, “Recipientes biodegradables tipo bandeja o plato, elaborados a partir de residuos de plátano”, *Investigaciones Universidad de Quindío*, vol. 34, núm. 1, pp. 263–267, 2022.
- [42] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 1672-2:2020 (Ratificada) Maquinaria para procesado de alimentos”. Consultado: el 19 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065067>
- [43] V|lex, “Resoluciones. 17 415 Nte INEN-EN 1672-2 (maquinaria Para Procesado De Alimentos. Conceptos Básicos. Parte 2: Requisitos De Higiene (en 1672- 2:2006+a1:2009, Idt))”, V|lex. Consultado: el 19 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://vlex.ec/vid/17-415-nte-inen-693614005>
- [44] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), “RTE-131”, el 31 de julio de 2014
- [45] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 1186-1:2002 Materiales y artículos en contacto con productos alimenticios”. Consultado: el 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0027893>
- [46] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), “RTE-100”, Quito, ago. 2014.
- [47] American Society for Testing and Materials, “D7264/D7264M Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials”. Consultado: el 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.astm.org/d7264_d7264m-21.html
- [48] Asociación Española de Normalización, “UNE-EN 13432:2001 Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación”. Consultado: el 27 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>
- [49] American Society for Testing and Materials, “D5628 Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)”. Consultado: el 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.astm.org/d5628-10.html>
- [50] Lead, “Ingeniería mecánica: descripción general del molde y el troquel”. Consultado: el 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://leadrp.net/es/blog/mechanical-engineering-overview-of-the-mold-and-die/>
- [51] J. Zayas, “Moldes y matrices”, abc-Pack. Consultado: el 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.abc-pack.com/enciclopedia/moldes-y-matrices/>

- [52] Gestión de Compras, “Moldes de inyección”, Gestión de Compras. Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.gestiondecompras.com/es/productos/moldes-matrices-y-utillajes/moldes-de-inyeccion/>
- [53] Meusburger, “Molde de correderas Fabricación de moldes”, Meusburger. Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.meusburger.com/ES/ES/moldeo-por-inyeccion/molde-correderas-fb>
- [54] StackTeck, “Moldes de Niveles | Moldes de Inyección”, StackTeck. Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://stackteck.com/es/productos/tecnologias-de-molde/moldes-de-niveles/>
- [55] E. Briones y J. De la Cruz, “Diseño y construcción de un troquel para elaborar platos a base de hojas de banano”, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2019. Consultado: el 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52851>
- [56] S. Kalpakjian y S. Schmid, “Manufactura, Ingeniería y tecnología”, Quinta., L. Cruz, Ed., México, 2008, p. 161.
- [57] Marlin Steel, “What is the Best Food Grade Stainless Steel?” Consultado: el 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.marlinwire.com/blog/what-is-the-best-food-grade-stainless-steel>
- [58] JnaBlog, “El mejor grado de acero para la industria alimentaria”, JN Aceros. Consultado: el 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://jnaceros.com.pe/blog/mejor-grado-acero-inoxidable-industria-alimentaria/>
- [59] MatWeb, “Acero inoxidable 316, chapa recocida”. Consultado: el 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=50f320bd1daf4fa7965448c30d3114ad&ckck=1>
- [60] MatWeb, “403 Stainless Steel, annealed, sheet”. Consultado: el 30 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=23ef84d2348640268d3d62fb156dd2dc>
- [61] Rapid Direct, “Acero inoxidable 304 VS 316: elija el grado adecuado para su proyecto”. Consultado: el 30 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.rapiddirect.com/es/blog/304-vs-acero-inoxidable-316/>
- [62] MatWeb, “304 Stainless Steel”. Consultado: el 30 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da>

- [63] Teknika4, “Aluminio 6063”, Teknika4. Consultado: el 30 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063>
- [64] MatWeb, “Aluminio 6063-T5”. Consultado: el 30 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=79875d1b30c94af39029470988004fb6>
- [65] Instituto Asteco, “Duraluminio”, Instituto Asteco. Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://institutoasteco.com/asteco/duraluminio/>
- [66] MatWeb, “Aluminum 7075-T6; 7075-T651”. Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=4f19a42be94546b686bbf43f79c51b7d>
- [67] F. Forero, D. Santana, y H. Piracun, “Diseño de máquina termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas”, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, 2018. Consultado: el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13586>
- [68] Formlabs, “Guía de termoformado”, Formlabs. Consultado: el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://formlabs.com/latam/blog/termoformado/>
- [69] L. Martínez y F. Moya, “Diseño y construcción de una máquina termoformadora de plástico con control automático para la empresa Miviltech soluciones industriales S.A.”, Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2015. Consultado: el 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/10567>
- [70] S. Maldonado, “Guía completa del termoformado: funcionamiento, materiales y aplicaciones”, Tecnología del Plástico. Consultado: el 22 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.plastico.com/es/noticias/guia-completa-del-termoformado-funcionamiento-materiales-y-aplicaciones>
- [71] J. López y E. Lozano, “Diseño de una máquina de termoformado multifuncional didáctica para el laboratorio de procesos en la Fundación Universidad de América”, Fundación Universidad de América, Bogotá, 2021.
- [72] R. Lefevre y D. Villar, “Resistencia de materiales”, Rosario, mar. 2015. Consultado: el 19 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/4421>
- [73] J. Salazar, *Módulo de elasticidad de algunos materiales*, vol. I. Manizales, 2007.
- [74] Prototivad3D, “Análisis de esfuerzos en mecánica de sólidos”, Prototivad3D. Consultado: el 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en:

<https://www.prototivad3d.com/2022/05/analisis-de-esfuerzos-en-mecanica-de.html>

- [75] J. Longa, “¿Qué es el factor de seguridad?”, Linkendin. Consultado: el 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-el-factor-de-seguridad-jens-hans-longa-cruzado>
- [76] Areatecnología, “Deformación elástica, elasticidad y materiales elásticos”, Areatecnología. Consultado: el 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.areatecnologia.com/materiales/deformacion-elastica.html#Deformacion_Plastica
- [77] Y. Rodríguez, “Deformaciones plásticas y elásticas de los materiales”, ESingeniería.pro. Consultado: el 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://esingenieria.pro/deformaciones-plasticas-y-elasticas-de-los-materiales/>
- [78] Mecánicadelamoto, “¿Qué es la dureza de un material?”, Mecánicadelamoto. Consultado: el 20 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mecanicadelamoto.com/blog/que-es-la-dureza-de-un-material>
- [79] A. Jacobson, “Measuring Flexibility: New Thickness-dependent Metric Compares Materials”, Northwestern Engineering. Consultado: el 21 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mccormick.northwestern.edu/news/articles/2019/11/measuring-flexibility-new-thickness-dependent-metric-compares-materials-snyder.html>
- [80] D. Askeland, “Ductilidad”, en *Ciencia e ingeniería de los materiales*, Tercera., vol. I, International Thomson, Ed., México, pp. 137–137.
- [81] R. Borja y P. Morocho, “Análisis estructural mediante el método de elementos finitos del chasis del vehículo formula SAE electrónico”, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2017.
- [82] T. Torres, “En defensa del método histórico-lógico desde la Lógica como ciencia”, *Revista Cubana de Educación Superior*, vol. 39, núm. 2, oct. 2020, Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142020000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [83] G. Gomez, “Métodos y técnicas de investigación utilizados en los estudios sobre comunicación en España”, *Revista Mediterránea de Comunicación*, vol. 12, núm. 1, pp. 115–127, ene. 2021, doi: 10.14198/MEDCOM000018.
- [84] V. Morles, “Sobre la metodología como ciencia y el método científico: un espacio polémico”, *Revista de Pedagogía*, vol. 23, núm. 66, pp. 121–146, ene. 2002, Consultado: el 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-97922002000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- [85] Solidbi, “SolidWorks: Qué es y para qué sirve”. Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/>
- [86] Navarro y Soler, “Ansys Software de Simulación”, nys Navarro y Soler. Consultado: el 15 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.nysplm.com/ansys/>
- [87] Microsoft Office Excel, *Manual Microsoft Office Excel 2019*. 2019.
- [88] M. Cajahuaman y L. Huaranga, “Evaluación de la resistencia tensil de un plástico biodegradable obtenido a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)”, Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo, 2020. Consultado: el 23 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6327>
- [89] F. Barreiro y A. Coronel, “Bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y almidón de yuca (*Mianihot esculenta*) como sustituto de poliestireno en la elaboración de platos biodegradables”, Proyecto de investigación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Calceta, 2021. Consultado: el 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1402>
- [90] H. Zapana, “Factores de corte en el fresado”. Consultado: el 15 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos104/factores-corte-fresado/factores-corte-fresado2>
- [91] J. Oliver, “Implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio”, Universidad Politécnica de Catalunya Barcelonatech, Catalunya, 2005. Consultado: el 11 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/2833>
- [92] Ingemecánica, “Ajustes y tolerancias en los procesos de mecanizado”, Ingemecánica. Consultado: el 20 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn19.html>
- [93] Fluke Process Instruments, “Valores de Emisividad para Superficies Comunes”, Fluke Process Instruments. Consultado: el 19 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.flukeprocessinstruments.com/es/service-and-support/knowledge-center/infrared-technology/emissivity-non-metals>
- [94] C. Martínez, *Estadística y muestreo*, ECOE Ediciones. Bogotá, 2012.

ANEXOS

Anexo 1: Proceso constructivo del molde.

Anexo 2: Procesado del bagazo de caña de azúcar y obtención del plato.

Anexo 3: Proceso de ensayo al material biodegradable

Anexo 4: Plano del plato propuesto.

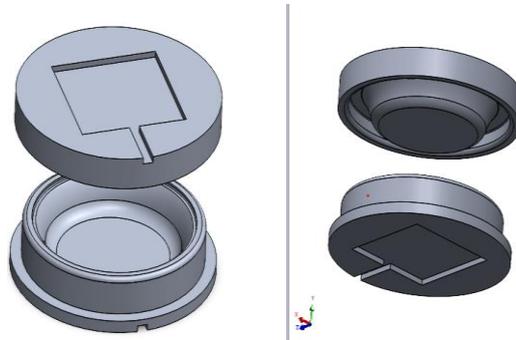
Anexo 5: Planos del molde.

Anexo 1: Proceso constructivo del molde

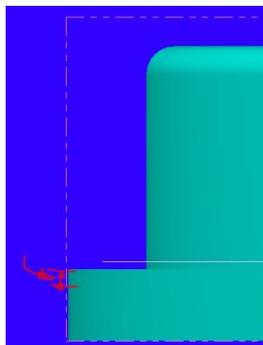
1. Adquisición del material de construcción.



2. Diseño del molde mediante SolidWorks.



3. Simulación y obtención del código G para el mecanizado del molde.



4. Mecanizado del molde en el laboratorio de automatización y control de la Universidad con ayuda del auxiliar de laboratorio.





5. Perforación para pernos de soporte del molde.



6. Montaje del molde en la máquina de elaboración de platos con material biodegradable.



7. Medición de temperatura del molde



Anexo 2: Procesado del bagazo de caña de azúcar y obtención del plato.

1. Adquisición y pesado del bagazo.



2. Secado del bagazo a 50 °C por 12 horas.



3. Molido y mezclado del bagazo de caña de azúcar.



4. Distribución de la mezcla de bagazo de caña de azúcar en el molde (agregar desmoldante antes de colocar la mezcla).



5. Obtención del plato propuesto.



Anexo 3: Proceso de ensayo al material biodegradable.

1. Etiquetado de códigos a los platos obtenidos.



2. Cortes de probetas con rayo láser.



3. Identificación y etiquetado de códigos en las probetas.



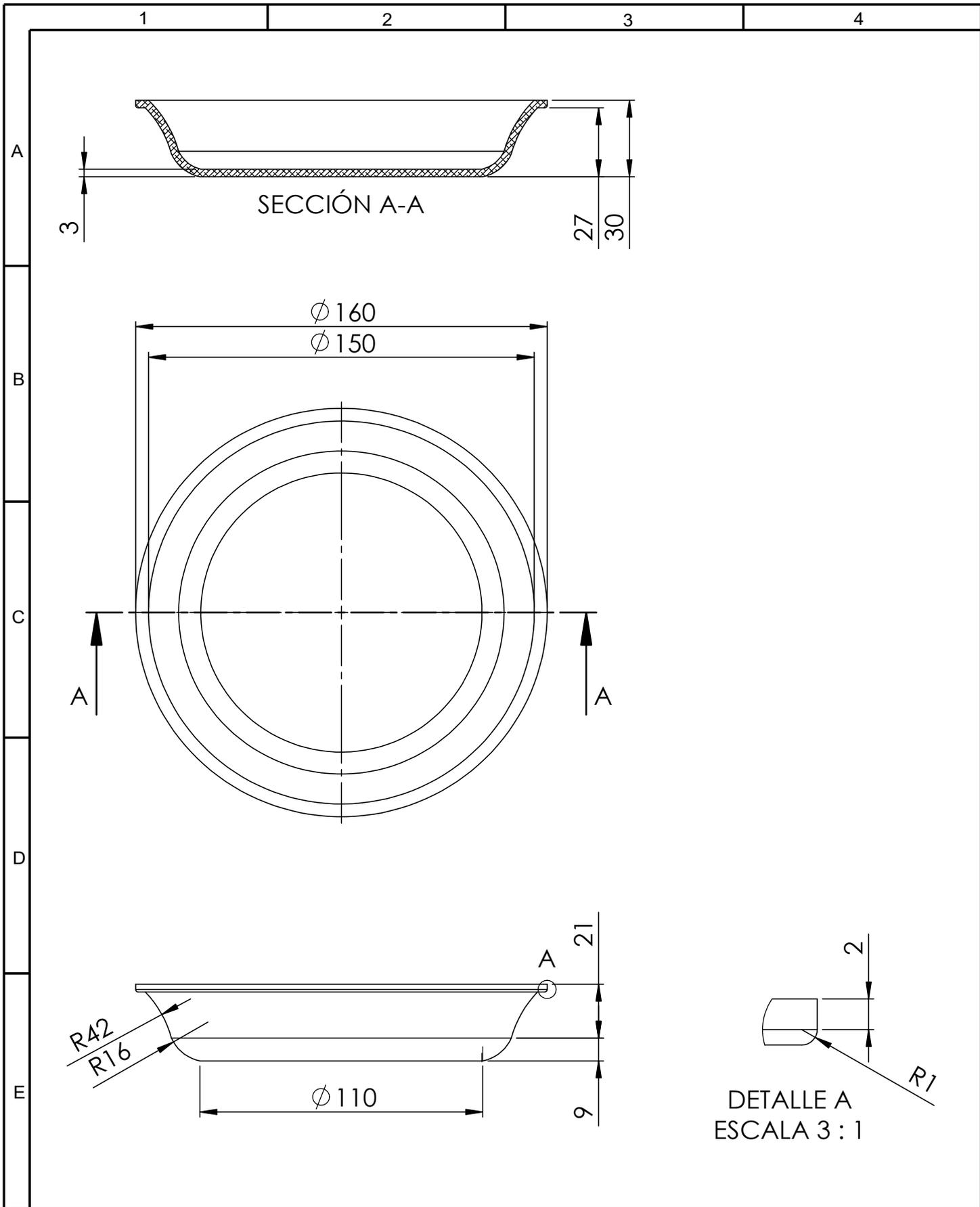
4. Realización de ensayos a las probetas.



5. Recolección de probetas ensayadas.

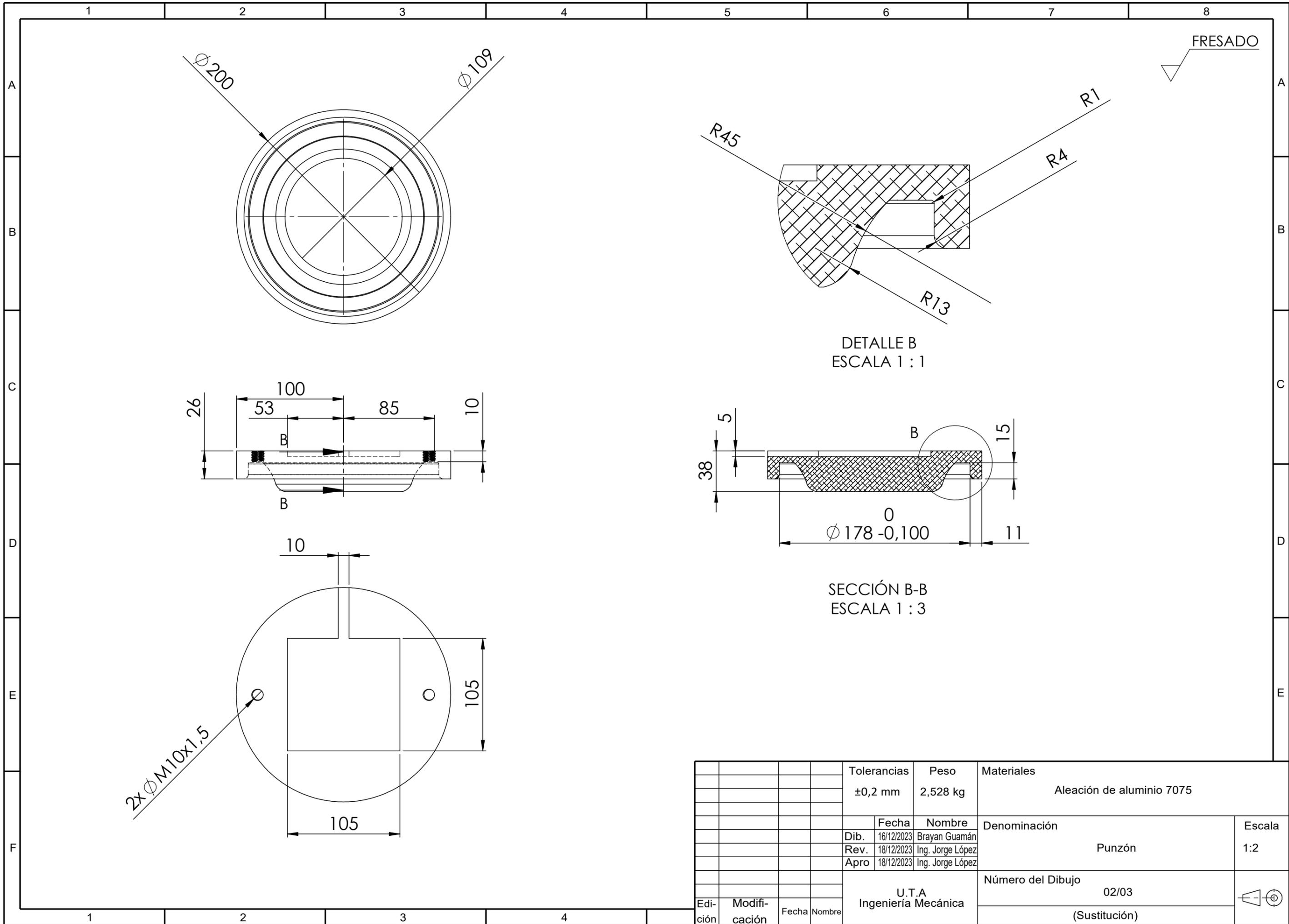


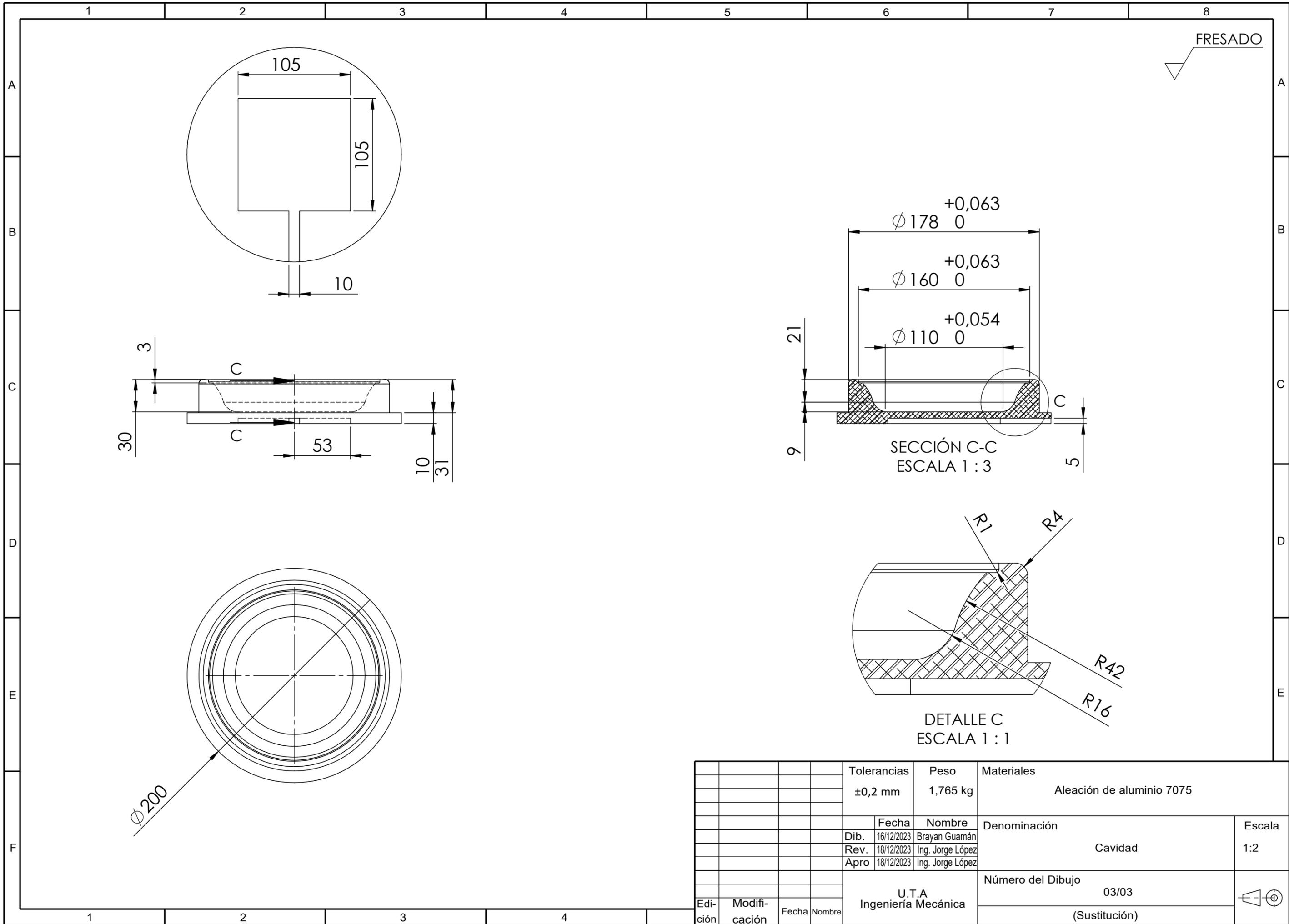
Anexo 4: Plano del plato propuesto.



| | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|-------|--------|------------------------------|------------------|---|---------------|------------------|
| | | | | Tolerancias ±0,2 mm | Peso 0,095 kg | Material Material biodegradable a parti del bagazo de caña de azúcar | | |
| | | | | | | Denominación Plato desechable de 16 cm | Escala 1:2 | |
| | | | | Dib. | 16/12/2023 | | | Brayan Guamán |
| | | | | Rev. | 18/12/2023 | | | Ing. Jorge López |
| | | | | Apro | 18/12/2023 | Ing. Jorge López | | |
| | | | | U.T.A Ingeniería Mecánica | | Número del Dibujo 01/01 | | |
| Edi- ción | Modifi- cación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | | |

Anexo 5: Planos del molde.





FRESADO

SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 3

DETALLE C
ESCALA 1 : 1

| | | | | | | | |
|--------------|-------------------|-------|--------|------------------------------|------------------|---|---------------|
| | | | | Tolerancias ±0,2 mm | Peso 1,765 kg | Materiales Aleación de aluminio 7075 | |
| | | | | | | Denominación Cavidad | Escala 1:2 |
| | | | | Fecha | Nombre | | |
| | | | | Dib. 16/12/2023 | Brayan Guamán | | |
| | | | | Rev. 18/12/2023 | Ing. Jorge López | | |
| | | | | Apro 18/12/2023 | Ing. Jorge López | | |
| | | | | U.T.A Ingeniería Mecánica | | Número del Dibujo 03/03 | |
| Edi- ción | Modifi- cación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |