

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PARA CUCHARAS Y TENEDORES BIODEGRADABLES"

AUTOR: Santiago Alexander Moreta Cocha

Diego Andres Sarzosa Castro

TUTOR: Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero - 2025

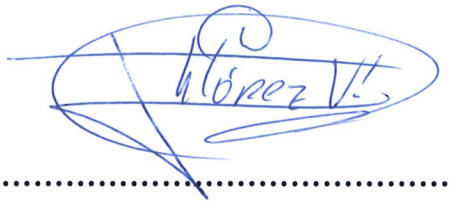
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PARA CUCHARAS Y TENEDORES BIODEGRADABLES",** elaborado por los Sres. Santiago Alexander Moreta Cocha, portador de cédula de ciudadanía: C.I. 1805466743 y Diego Andres Sarzosa Castro, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805423009, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, febrero 2025



.....

Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Santiago Alexander Moreta Cocha**, con C.I. 1805466743, y **Diego Andres Sarzosa Castro,** con C.I. 1805423009, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PARA CUCHARAS Y TENEDORES BIODEGRADABLES"**, así como también las ideas de diseño, parámetros, criterios, análisis, gráficas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo técnico, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025

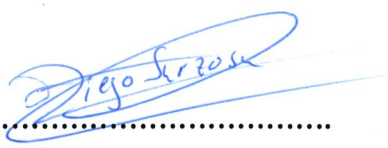


.....

Santiago Alexander Moreta Cocha

C.I. 1805466743

AUTOR



.....

Diego Andres Sarzosa Castro

C.I. 1805423009

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedemos los derechos patrimoniales en línea de nuestro Proyecto Técnico, 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 2025

.....

Santiago Alexander Moreta Cocha

C.I. 1805466743

AUTOR

.....

Diego Andres Sarzosa Castro

C.I. 1805423009

AUTOR

APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes **Santiago Alexander Moreta Cocha** y **Diego Andres Sarzosa Castro** de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PARA CUCHARAS Y TENEDORES BIODEGRADABLES"**.

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.	**Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.**
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Primeramente, dirijo este trabajo de titulación a Dios, por ser mi guía en cada paso de este camino, por darme la fortaleza y sabiduría necesarias para superar los retos y por llenar mi vida de bendiciones. A mis padres, cuya dedicación, amor y sacrificio han sido mi mayor fuente de inspiración. A ustedes les debo todo lo que soy, y esta meta alcanzada es el reflejo de su esfuerzo y apoyo incondicional. A mi hermana, quien con su cariño y confianza me motivaron a seguir adelante, recordándome siempre que los sueños son posibles con esfuerzo y determinación.

A mis amigos cercanos, por estar presentes en los momentos de estrés, por sus palabras de aliento y por ser parte de este viaje con su compañía y amistad.

Finalmente, dedico este logro a mí mismo, como un recordatorio de que la perseverancia, la pasión y el esfuerzo constante siempre llevan a alcanzar los objetivos propuestos.

Santiago Alexander Moreta Cocha

A mis queridos padres, Vinicio y Jacqueline, por ser el ejemplo constante de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Su apoyo ha sido la base sólida sobre la que he construido cada paso de mi camino. Gracias por inculcarme valores que han guiado mis decisiones y por estar presentes en cada momento, alentándome con sus palabras, confianza y sacrificios. Este logro es un reflejo de todo lo que me han enseñado y de todo lo que han dado por mí.

A mis hermanos, grandes compañeros de vida y amigos incondicionales. Su apoyo ha sido un faro en los momentos de incertidumbre y su presencia, un recordatorio de que nunca estoy solo. Gracias por sus palabras de ánimo, por compartir mis alegrías y por estar a mi lado, celebrando cada pequeño paso hacia este gran objetivo.

Y a mi familia, les dedico este trabajo como un símbolo de gratitud y reconocimiento por el amor y la fortaleza que me han brindado. Este logro no sería posible sin ustedes.

Diego Andres Sarzosa Castro

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, quien me ha permitido llegar hasta aquí, otorgándome la salud, la fuerza y las oportunidades necesarias para completar esta etapa de mi vida. A mis padres, cuyo apoyo incondicional, consejos sabios y amor infinito han sido pilares fundamentales en este proceso. Gracias por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba y por enseñarme que el esfuerzo siempre tiene su recompensa.

A mis tutores y docentes, por su paciencia, conocimientos y valiosas orientaciones durante mi formación académica. Su dedicación y compromiso han sido cruciales para mi crecimiento profesional. De igual manera a mis compañeros y amigos, con quienes compartí momentos de aprendizaje, retos y alegrías. Su compañía y camaradería hicieron que este recorrido fuera más llevadero y enriquecedor.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas, directa o indirectamente, que contribuyeron de alguna forma al desarrollo de este proyecto. Sus aportes, por pequeños que fueran, dejaron una huella en mi trabajo y en mi vida.

Santiago Alexander Moreta Cocha

La culminación de este trabajo representa el esfuerzo conjunto de muchas personas, quienes de distintas maneras han contribuido a que este sueño se haga realidad. A todas ellas, expreso mi más profundo agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a mis padres, cuya guía, apoyo incondicional y amor han sido el fundamento de mi desarrollo personal y académico. Gracias por sus sacrificios, por creer en mis capacidades y por enseñarme que con dedicación y esfuerzo todo es posible.

A mis hermanos, por ser mi fuente de inspiración, por sus palabras de aliento y por su apoyo inquebrantable a lo largo de este camino. Su compañía y confianza han sido un motor para continuar adelante en los momentos más desafiantes.

A mi familia, su confianza en mí y su cariño constante me han dado la fuerza para superar cada obstáculo. Han sido mi ancla en los momentos difíciles y mi mayor fuente de motivación para seguir adelante. Su amor me recuerda diariamente la importancia de los lazos que nos unen.

A mis profesores y mentores, quienes con su conocimiento, paciencia y dedicación sembraron en mí el interés y la pasión por aprender. Su guía académica y personal fue esencial para alcanzar este objetivo.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí experiencias, desafíos y alegrías durante esta etapa. Gracias por su apoyo y por acompañarme en este proceso.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de manera directa o indirecta, han sido parte de este viaje. Cada gesto, palabra y acción ha dejado una huella significativa en mi vida.

Diego Andres Sarzosa Castro

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA i

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO viii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS x

ÍNDICE DE TABLAS xvii

ÍNDICE DE FIGURAS xix

RESUMEN EJECUTIVO xxiii

ABSTRACT xxiv

CAPÍTULO I 1

MARCO TEÓRICO 1

1.1 Antecedentes Investigativos 1

1.1.1 Tema del proyecto técnico 1

1.1.2 Antecedentes 1

1.1.3 Justificación 2

1.1.4 Fundamentación Teórica 3

1.1.4.1 Contaminación por plásticos en el Ecuador 3

1.1.4.2 Cucharas 5

1.1.4.2.1 Tipos de cucharas 5

1.1.4.3 Tenedores 6

1.1.4.3.1 Tipos de Tenedores 6

1.1.4.4 Cubiertos biodegradables 7

1.1.4.5 Productos desechables 8

1.1.4.6 Alcance de mercado 8
1.1.4.7 Materiales para el molde 9
1.1.4.7.1 Aluminios 9
1.1.4.7.2 Aceros Inoxidables 10
1.1.5 Materiales Biodegradables 12
1.15.1 Bagazo de yuca 13
1.15.2 Almidón de achira 13
1.1.5.3 Bioplástico de maíz 14
1.1.5.4 Bioplástico de Maracuyá 14
1.1.5.5 Bioplástico de arveja 15
1.1.5.6 Bioplástico de trigo 15
1.1.5.7 Fibras de bambú 16
1.1.6 Polimerización 17
1.1.6.1 Métodos de polimerización 18
1.1.7 Normas 19
1.1.8 Transformación de Polímeros 20
1.1.8.1 Moldeo por transformación. 20
1.1.8.2 Moldeo por inyección 21
1.1.8.2.1 Consideraciones preliminares antes de la inyección 22
1.1.8.2.2 Moldes de 2 placas 23
1.1.8.2.3 Moldes de 3 placas 23
1.1.8.3 Moldeo por compresión 24
1.1.9 Métodos poco ortodoxos de mecanizado 26
1.1.10 Control numérico asistido por computadora (CNC) 26
1.1.11 Centro de mecanizado 27
1.1.12 Propiedades mecánicas 28
1.1.12.1 Progreso en la ciencia de los materiales 28

1.1.13 Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 29
1.2 Objetivos 33
CAPÍTULO II 35
METODOLOGÍA 35
2.1 Enfoque Metodológico 35
2.2 Investigación Bibliográfica 35
2.3 Selección de Materiales 36
2.3.1 Selección de materiales biodegradables 36
2.3.2 Selección del material del molde 37
2.4 Diseño del Molde 38
2.5 Simulación por FEA 38
2.5.1 Simulación de Cargas y Esfuerzos 38
2.5.2 Simulación del molde 39
2.6 Fabricación de Moldes 39
2.7 Pruebas de Funcionamiento 40
2.8 Ajuste de Diseño 41
2.9 Diagrama de Procesos del Diseño 42
2.10 Diagrama de Procesos de Construcción 42
CAPÍTULO III 44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 44
3.1 Resultados de la Investigación Bibliográfica 44
3.1.1 Selección del proceso 44
3.1.2 Selección del material del molde 47
3.2 Materiales poliméricos 48
3.2.1 Propiedades mecánicas 50
3.2.1.1 Resistencia Máxima a la tracción 51
3.2.1.2 Resistencia a la fluencia por tracción 51

3.2.1.3 Módulo de Young 52
3.2.1.4 Resistencia térmica 53
3.2.1.5 Densidad 54
3.2.2 Impacto ambiental 54
3.2.3 Seguridad para el consumo humano 56
3.2.4 Análisis investigativo 58
3.3 Diseño de los utensilios 59
3.3.1 Diseño de la cuchara 60
3.3.2 Diseño del tenedor 62
3.4 Simulaciones y Análisis de Esfuerzos en los utensilios 64
3.4.1 Simulación y análisis en la cuchara 64
3.4.1.1 Aplicación de cargas 64
3.4.1.2 Deformación total 68
3.4.1.3 Esfuerzo de von-Mises 72
3.4.1.4 Factor de seguridad 76
3.4.1.5 Volumen 80
3.4.1.6 Análisis de resultados 82
3.4.2 Simulación y análisis en el tenedor 86
3.4.2.1 Aplicación de cargas 86
3.4.2.2 Deformación total 89
3.4.2.3 Esfuerzo de von-Mises 92
3.4.2.4 Factor de seguridad 96
3.4.2.5 Volumen 100
3.4.2.6 Análisis de resultados 102
3.5 Simulación en el molde 106
3.5.1 Simulación térmica 106
3.5.1.1 Molde Inferior 107

3.5.1.2 Molde Superior 111
3.5.2 Análisis de compresión 116
3.6 Mecanizado del molde 117
3.6.1 Definición de la máquina 118
3.6.2 Definición del Tocho 118
3.6.3 Definición del plano de trabajo 119
3.6.4 Extracción de rasgos mecanizables 119
3.6.5 Generar Plan de Operaciones 119
3.6.6 Generar el camino de las herramientas 120
3.6.7 Simulación del camino de las herramientas 121
3.6.8 Código para el maquinado 123
3.6.8.1 Código del molde inferior 123
3.6.8.2 Código del molde superior 124
3.7 Herramientas para el maquinado 124
Brocas helicoidales estándar 125
3.8 Mecanizado del molde 126
3.8.1 Preparación del material 126
3.8.2 Mecanizado primario 126
3.8.3 Mecanizado de precisión 127
3.8.4 Acabado 127
3.9 Prueba de funcionamiento del molde 128
3.9.1 Prueba de temperatura 128
3.9.2 Prueba de resistencia a la compresión 129
3.9.3 Prueba de llenado 129
3.9.4 Resultados y análisis 131
3.10 Benchmarking 132
3.10.1 Características del producto con el material elegido para pruebas 132

3.10.1.1 Material 132
3.10.1.2 Impacto ambiental 132
3.10.1.3 Precio de venta 132
3.10.1.4 Aceptación del mercado 134
3.10.1.5 Regulaciones 134
3.10.1.6 Peso 135
3.10.2 Características de utensilios plásticos 135
3.10.2.1 Material 135
3.10.2.2 Impacto ambiental 135
3.10.2.3 Precio de venta 135
3.10.2.4 Aceptación del mercado 136
3.10.2.5 Regulaciones 136
3.10.2.6 Peso 136
3.10.3 Características de utensilios biodegradables 137
3.10.3.1 Material 137
3.10.3.2 Impacto ambiental 137
3.10.3.3 Precio de venta 137
3.10.3.4 Aceptación del mercado 137
3.10.3.5 Regulaciones 137
3.10.3.6 Peso 138
3.10.4 Análisis de resultados 138
3.10.4.1 Utensilios de almidón de trigo 138
3.10.4.2 Utensilios de almidón de maíz (PLA) 139
3.10.4.3 Utensilios de bagazo de caña 139
3.10.4.4 Utensilios plásticos tradicionales 140
3.10.5 Comparación de precios 141
3.10.6 Comparación de pesos 142

3.10.7 Resumen comparativo 143
3.11 Recursos financieros para el proyecto 144
3.11.1 Costos directos 144
3.11.2 Costos de mecanizado 145
3.11.3 Costos de transporte 145
3.11.4 Costo de mano de obra 146
3.11.5 Costo total 146
CAPÍTULO IV 147
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 147
4.1 Conclusiones 147
4.2 Recomendaciones 147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 149
ANEXOS 154

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. FICHA TÉCNICA DE LOS MATERIALES EN ALUMINIO 10
TABLA II. FICHA TÉCNICA DE LOS MATERIALES EN ACERO INOXIDABLE 12
TABLA III. ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE TRIGO.....16
TABLA IV. PROCESOS DE MECANIZADO POCO ORTODOXOS.....26
TABLA V. CARACTERÍSTICAS DE PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN, TERMOFORMADO Y TERMOCOMPRESIÓN.....44
TABLA VI. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CADA PROCESO 46
TABLA VII. COMPARATIVA ENTRE BIOPLÁSTICOS 49
TABLA VIII. DEFORMACIÓN TOTAL DE LOS BIOPLÁSTICOS EN EL DISEÑO 1 ...68
TABLA IX. DEFORMACIÓN TOTAL DE LOS BIOPLÁSTICOS EN EL DISEÑO 2.....69
TABLA X. DEFORMACIÓN TOTAL EN EL DISEÑO 3 DE LA CUCHARA.....71
TABLA XI. ESFUERZO DE VON-MISES DEL DISEÑO 1 DE LA CUCHARA.....72
TABLA XII. ESFUERZO DE VON-MISES DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA.....73
TABLA XIII. ESFUERZO DE VON-MISES DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA 75
TABLA XIV. FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 1 DE LA CUCHARA 76
TABLA XV. FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA 77
TABLA XVI. FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 3 DE LA CUCHARA 79
TABLA XVII. CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 1 DE LA CUCHARA 80
TABLA XVIII. CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA.....81
TABLA XIX. CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 3 DE LA CUCHARA 81
TABLA XX. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LA CUCHARA.....82
TABLA XXI. DEFORMACIÓN TOTAL DEL DISEÑO 1 DEL TENEDOR 89
TABLA XXII. DEFORMACIÓN TOTAL DEL DISEÑO 2 DEL TENEDOR 90
TABLA XXIII. DEFORMACIÓN TOTAL DEL DISEÑO 3 DEL TENEDOR.....91
TABLA XXIV. ESFUERZO DE VON-MISES PARA EL DISEÑO 1 DEL TENEDOR 93
TABLA XXV. ESFUERZO DE VON-MISES PARA EL DISEÑO 2 DEL TENEDOR.....94
TABLA XXVI. ESFUERZO DE VON-MISES PARA EL DISEÑO 3 DEL TENEDOR 95
TABLA XXVII. FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 1 DEL TENEDOR.....96
TABLA XXVIII. FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 2 DEL TENEDOR 98
TABLA XXIX. FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 3 DEL TENEDOR.....99
TABLA XXX. CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 1 DEL TENEDOR.....100
TABLA XXXI. CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 2 DEL TENEDOR 101
TABLA XXXII. CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 3 DEL TENEDOR.....101
TABLA XXXIII. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL

TENEDOR.....102
TABLA XXXIV. HERRAMIENTAS PARA EL MECANIZADO.....125
TABLA XXXV. COSTO TOTAL DE LA PRODUCCIÓN DEL UTENSILIO.....134
TABLA XXXVI. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS UTENSILIOS 144
TABLA XXXVII. COSTOS DIRECTOS.....145
TABLA XXXVIII. COSTOS DE MECANIZADO.....145
TABLA XXXIX. COSTOS DE TRANSPORTE.....146
TABLA XL. COSTOS FINALES.....146

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Basura plástica producida en cada región 5
Fig 2. Tipos de cucharas 6
Fig 3. Tipos de tenedores 7
Fig 4. Productos de un solo uso.....8
Fig 5.- Bioplásticos a base de almidón de maíz.....14
Fig 6.- Bioplástico a base de cáscara de maracuyá.....15
Fig 7.- Almidón de arveja. 15
Fig 8. Distribución del bambú en el mundo. 17
Fig 9. Esquema del moldeo por transferencia 21
Fig 10. Máquina para moldeo de inyección.....22
Fig 11. Molde de 2 placas 23
Fig 12. Molde de 3 placas 24
Fig 13. Moldeo por compresión 24
Fig 14. Esquema del proceso.....25
Fig 15. Relación de los materiales para el molde. 48
Fig 16. Comparativa de la resistencia a la tracción de los bioplásticos. 51
Fig 17. Comparativa de la resistencia a la fluencia por tracción de los bioplásticos.....52
Fig 18. Comparativa del módulo de Young de los bioplásticos.....52
Fig 19. Comparativa de la resistencia térmica de los bioplásticos.....53
Fig 20. Comparativa de la densidad de los bioplásticos. 54
Fig 21. Diseño 1 en SolidWorks vista superior de la cuchara 60
Fig 22. Diseño 1 en SolidWorks vista inferior de la cuchara.....60
Fig 23. Diseño 2 en SolidWorks vista superior de la cuchara. 61
Fig 24. Diseño 2 en SolidWorks vista inferior de la cuchara.....61
Fig 25. Diseño 3 en SolidWorks vista superior de la cuchara. 62
Fig 26. Diseño 3 en SolidWorks vista inferior de la cuchara.....62
Fig 27. Diseño 1 en SolidWorks vista superior del tenedor.....62
Fig 28. Diseño 1 en SolidWorks vista inferior del tenedor.....63
Fig 29. Diseño 2 en SolidWorks vista superior del tenedor.....63
Fig 30. Diseño 2 en SolidWorks vista inferior del tenedor.....63
Fig 31. Diseño 3 en SolidWorks vista superior del tenedor.....64
Fig 32. Diseño 3 en SolidWorks vista inferior del tenedor.....64
Fig 33. Atribución del momento a la cuchara.....65
Fig 34. Asignación de la fuerza a la cuchara. 66
Fig 35. Atribución del apoyo fijo de la cuchara. 66

Fig 36. Adjudicación del momento en la cuchara. 66
Fig 37. Asignación de la velocidad de rotación de la cuchara. 67
Fig 38. Atribución de la fuerza en el eje Y en la cuchara. 67
Fig 39. Distribución de las cargas en la cuchara.....67
Fig 40. Deformación total del diseño 1 con el bioplástico de maracuyá.....69
Fig 41. Deformación total del diseño 1 con el bioplástico de trigo.....69
Fig 42. Deformación total del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de maracuyá. 70
Fig 43. Deformación total del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de trigo. 70
Fig 44. Deformación total del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de maracuyá. 71
Fig 45. Deformación total del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de trigo. 72
Fig 46. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de maíz. 73
Fig 47. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de yuca. 73
Fig 48. Esfuerzo de von-Mises del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de maíz. 74
Fig 49. Esfuerzo de von-Mises del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de yuca. 74
Fig 50. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de maíz. 75
Fig 51. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de yuca. 75
Fig 52. Factor de seguridad del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de maíz. 77
Fig 53. Factor de seguridad del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de trigo. 77
Fig 54. Factor de seguridad del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de maíz. 78
Fig 55. Factor de seguridad del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de trigo. 78
Fig 56. Factor de seguridad del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de maíz. 79
Fig 57. Factor de seguridad del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de trigo. 80
Fig 58. Comparación del comportamiento de los materiales del diseño 1 de la cuchara. 83
Fig 59. Comparación del comportamiento de los materiales del diseño 2 de la cuchara. 84
Fig 60. Comparación del comportamiento de los materiales del diseño 3 de la cuchara. 84
Fig 61. Relación de los diseños de la cuchara. 85
Fig 62. Asignación del momento al tenedor. 87
Fig 63. Asignación del momento 2 al tenedor. 87
Fig 64. Aplicación de la fuerza al tenedor. 87
Fig 65. Asignación del apoyo fijo del tenedor. 88
Fig 66. Designación de la velocidad de rotación. 88
Fig 67. Distribución de las cargas en el tenedor. 88
Fig 68. Deformación del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de maracuyá. 90
Fig 69. Deformación del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de trigo. 90
Fig 70. Deformación del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de maracuyá. 91
Fig 71. Deformación del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de trigo. 91
Fig 72. Deformación del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de maracuyá. 92

Fig 73. Deformación del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de trigo. 92
Fig 74. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de yuca. 93
Fig 75. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de trigo. 94
Fig 76. Esfuerzo de von-Mises del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de yuca. 95
Fig 77. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de yuca. 96
Fig 78. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de trigo. 96
Fig 79. Factor de seguridad del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de maíz. 97
Fig 80. Factor de seguridad del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de trigo. 97
Fig 81. Factor de seguridad del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de maíz. 98
Fig 82. Factor de seguridad del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de trigo. 98
Fig 83. Factor de seguridad del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de maíz. 99
Fig 84. Factor de seguridad del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de trigo. 100
Fig 85. Relación de los materiales biodegradables en el diseño 1 del tenedor. 104
Fig 86. Relación de los materiales biodegradables del diseño 2. 104
Fig 87. Relación de los materiales biodegradables del diseño 3. 105
Fig 88. Comparación de los diseños con el material bioplástico de trigo. 105
Fig 89. Distribución de temperatura en la cara frontal del molde inferior a 60 segundos 107
Fig 90.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde inferior a 60 segundos 107
Fig 91.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura del molde inferior en 60 segundos. 108
Fig 92.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde inferior a 180 segundos. 109
Fig 93.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde inferior a 180 segundos. 109
Fig 94.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz inferior en 180 segundos. 110
Fig 95.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde inferior a 300 segundos. 110
Fig 96.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde inferior a 300 segundos. 110
Fig 97.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz inferior en 300 segundos. 111
Fig 98.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde superior a 60 segundos. 112
Fig 99.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde superior a 60 segundos. 112
Fig 100.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz superior en 60 segundos. 113
Fig 101.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde superior a 180 segundos. 113
Fig 102.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde superior a 180 segundos. 113
Fig 103.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz superior en 180 segundos. 114
Fig 104.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde superior a 300 segundos. 114

Fig 105.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde superior a 300 segundos. 115
Fig 106.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz superior en 300 segundos. 115
Fig 107.- Deformación total de los moldes unidos. 116
Fig 108.- Deformación direccional (eje z). 116
Fig 109.- Esfuerzo equivalente (Von-Mises). 117
Fig 110.- Factor de seguridad de los moldes unidos. 117
Fig 111.- Definición de máquina en SolidWorks. 118
Fig 112.- Definición del tocho en SolidWorks. 118
Fig 113.- Definición del plano de trabajo en el molde inferior. 119
Fig 114.- Definición del plano de trabajo en el molde superior. 119
Fig 115.- Herramientas de extracción de rasgos en SolidWorks. 119
Fig 116.- Plan de operaciones del molde inferior. 120
Fig 117.- Plan de operaciones para el molde superior. 120
Fig 118.- Camino de herramientas del molde inferior. 120
Fig 119.- Camino de herramientas del molde superior. 121
Fig 120. Inicio de la simulación de maquinado del molde inferior. 121
Fig 121. Paso medio de la simulación de maquinado del molde inferior. 121
Fig 122. Final de la simulación de maquinado del molde inferior. 122
Fig 123. Inicio de la simulación de maquinado del molde superior. 122
Fig 124. Paso medio de la simulación de maquinado del molde superior. 122
Fig 125. Final de la simulación de maquinado del molde inferior. 122
Fig 133.- Bloques de aluminio 7075. 126
Fig 134.- Mecanizado primario. 127
Fig 135.- Mecanizado de precisión. 127
Fig 136.- Acabado 127
Fig 137. Control de temperatura de la máquina de termocompresión. 128
Fig 138. Agregación de calor al molde por medio de la resistencia eléctrica. 128
Fig 139. Aplicación de la carga de compresión al molde. 129
Fig 140. Llenado del material biodegradable en el molde. 130
Fig 141. Utensilios finales. 130
Fig 142. Moldes al finalizar las pruebas. 131
Fig 143. Masa de la cuchara de almidón de trigo. 135
Fig 144. Peso de la cuchara de polipropileno. 136
Fig 145. Peso de la cuchara de poliestireno. 136
Fig 146. Peso de la cuchara de bagazo de caña. 138
Fig 147. Peso de la cuchara de almidón de maíz. 138

RESUMEN EJECUTIVO

La contaminación causada por plásticos de un solo uso representa un problema crítico a nivel global, impactando negativamente el medio ambiente y la salud humana. Este proyecto aborda esta problemática mediante el desarrollo de una solución sostenible orientada a la fabricación de utensilios biodegradables que ofrecen una alternativa ecológica.

La investigación incluyó la selección y evaluación de diversos bioplásticos disponibles en el mercado, considerando factores como biodegradabilidad, durabilidad y seguridad para el contacto con alimentos. Para la construcción de los moldes se utilizó aluminio 7075, seleccionado por su resistencia mecánica, durabilidad y eficiencia en la transferencia térmica, características esenciales para procesos de termocompresión. El proceso metodológico integró herramientas de diseño asistido por computadora utilizando softwares especializados para modelar los diseños, así también para analizar su comportamiento bajo esfuerzos mecánicos que van a ser sometidos tanto al molde como a los utensilios y comportamiento térmico del molde. Posteriormente, los moldes fueron fabricados mediante maquinaria CNC y sometidos a pruebas de funcionamiento que validaron su capacidad para resistir altas temperaturas y fuerzas de compresión, garantizando la producción precisa de los utensilios biodegradables.

Como resultado se enmarca en la línea de sostenibilidad e innovación tecnológica, contribuyendo a la búsqueda de soluciones prácticas para reducir el impacto ambiental asociado a los plásticos. Los resultados demuestran que es posible implementar un sistema eficiente y replicable para la fabricación de utensilios biodegradables, promoviendo un cambio hacia patrones de producción y consumo responsables en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Palabras clave: bioplástico, diseño de moldes, simulación de utensilios, materiales biodegradables, deformación de moldes.

ABSTRACT

Pollution caused by single-use plastics represents a critical problem at a global level, negatively impacting the environment and human health. This project addresses this problem by developing a sustainable solution aimed at the manufacture of biodegradable utensils that offer an ecological alternative.

The research included the selection and evaluation of various bioplastics available on the market, considering factors such as biodegradability, durability, and safety for contact with food. Aluminum 7075 was used for the construction of the molds, selected for its mechanical strength, durability and efficiency in thermal transfer, essential characteristics for thermocompression processes. The methodological process integrated computer-aided design tools using specialized software to model the designs, as well as to analyze their behavior under mechanical stresses that will be subjected to both the mold and the utensils and the thermal behavior of the mold. Subsequently, the molds were manufactured using CNC machinery and subjected to performance tests that validated their ability to withstand high temperatures and compression forces, guaranteeing the precise production of biodegradable utensils.

As a result, it is part of the sustainability and technological innovation line, contributing to the search for practical solutions to reduce the environmental impact associated with plastics. The results demonstrate that it is possible to implement an efficient and replicable system for the manufacture of biodegradable utensils, promoting a change towards responsible production and consumption patterns in line with the Sustainable Development Goals.

Keywords: bioplastic, mold design, utensil simulation, biodegradable materials, mold deformation.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Tema del proyecto técnico

Diseño y construcción de moldes para cucharas y tenedores biodegradables

1.1.2 Antecedentes

Actualmente el mundo se enfrenta a una gran amenaza debido a los desechos generados por las diferentes actividades humanas, uno de estos son los plásticos por lo que se busca reducir su uso, reemplazándolos con alternativas amigables con el ambiente y no generen contaminación. Una de las opciones son los materiales biodegradables ya que debido a sus propiedades como la durabilidad y resistencia pueden ser utilizados en la industria alimenticia. El presente trabajo se centra en realizar moldes para la elaboración de cucharas y tenedores con estos materiales, buscando dar un valor agregado a las alternativas plásticas que existen en el mercado [1].

Los materiales biodegradables se obtienen a partir de recursos naturales renovables, los cuales se descomponen naturalmente en poco tiempo lo que permite reducir el uso de plásticos y por ende la contaminación generada. Algunos de los materiales de origen natural incluyen el bagazo de caña, la harina de banano, el trigo, el bambú, almidón de maíz, los cuáles debido a sus diversas propiedades pueden ser utilizadas como opciones para elaborar las cucharas y tenedores [2].

Actualmente se buscan materiales naturales que puedan sustituir al plástico, estos materiales han sido considerablemente estudiados debido a que se buscan alternativas para crear nuevos materiales biodegradables que puedan igualar o superar las propiedades de los plásticos y puedan ser utilizadas para la producción en masa y puedan competir en precio y calidad con los productos existentes [2].

Actualmente existen desechos agrícolas que son indebidamente desechados que pueden ser utilizados para la elaboración de estos materiales lo que ayudaría a

disminuir la contaminación mediante su reutilización. En el Ecuador existen varios de estos productos debido a la riqueza natural que existe en el país, tales como la yuca, el aguacate, la caña de azúcar, el maíz, entre otros. De estos materiales podemos obtener almidones, harinas o cortezas, los cuáles combinados con plastificantes como glicerina y agua pueden ser utilizados como material alternativo a los plásticos [2].

Existen varias características a tomar en cuenta en cuanto al diseño de las cucharas y tenedores, una de ellas es la durabilidad y resistencia al momento de utilizarlos para ingerir alimentos, en el caso de la cuchara es necesario tomar en cuenta el uso que se le dará para determinar la capacidad ya que existen varios tipos de cucharas como la sopera, la de postre, la de servicio, entre otras. En el caso del tenedor es igual debido a que existen varios tipos como el tenedor de mesa, de entrantes o de ensalada entre otros más.

En resumen, para este trabajo se busca producir utensilios biodegradables capaces de reemplazar a los utensilios tradicionales de plástico que como se ha probado en varios estudios, contribuyen a la contaminación global.

1.1.3 Justificación

El uso de plásticos alrededor del mundo es tan común que los desechos producidos crean un gran impacto ambiental que afecta a todos los seres vivos, no únicamente a los seres humanos sino también a plantas y animales. Esto es debido a su extremo tiempo largo de degradación, además de que debido a factores ambientales los desechos plásticos generan microplásticos los cuáles son perjudiciales para la salud de los seres vivos, por lo tanto, es necesario buscar alternativas amigables tanto con el medio ambiente como con la salud de los seres vivos [1].

En Ecuador nuestros mares se encuentran contaminados por botellas, bolsas, envases y demás productos plásticos, esto es perjudicial para la vida en general. Los plásticos tienen un elevado tiempo de degradación lo que hace que los residuos se acumulen, por ello es necesario utilizar nuevas alternativas que no generen residuos de largo tiempo de degradación y que la misma no produzca graves efectos ambientales [3].

La alternativa al uso de plásticos en utensilios más investigada son los materiales orgánicos los cuáles tienen características adecuadas, tienen un tiempo corto de degradación y además se pueden obtener de residuos de otros productos lo que hace que exista una menor acumulación de estos. El uso de utensilios biodegradables como alternativa en diferentes establecimientos o eventos o incluso de manera casera permite menorar el nivel de residuos lo que contribuye con el problema global de plásticos.

En cuanto al diseño de los moldes para la producción de cucharas y tenedores, es necesario realizar como primer paso el diseño y simulación de los utensilios para determinar sus propiedades y de esta manera asegurarnos de que será un producto de calidad. Para la simulación de los utensilios es necesario considerar las propiedades del material a utilizar para de esta manera asegurarse que el diseño cumplirá con los parámetros requeridos para su uso.

Para la fabricación de los moldes es necesario tomar en cuenta que los utensilios fabricados estarán en contacto con alimentos por lo cual es necesario seguir ciertos parámetros que garanticen su calidad y su seguridad para el consumo humano. Para la elaboración de los utensilios es necesario ser conscientes de que la salud humana es un tema serio por lo cual debemos seguir todas las normas necesarias para la fabricación de estos, garantizando la seguridad y salud del cliente, además de su satisfacción con el producto. Garantizando la calidad del producto nos aseguramos de que el consumidor confíe en el producto y pueda posicionarse en el mercado como una alternativa amigable con el ambiente la cual iguale o supere las características de los utensilios plásticos presentes en el mercado, de esta manera contribuyendo con el medio ambiente y la economía del país, reduciendo el consumo de plásticos y creando conciencia en la población.

1.1.4 Fundamentación Teórica

1.1.4.1 Contaminación por plásticos en el Ecuador

En Ecuador en el año 2022 se generaron aproximadamente 627000 toneladas de residuos plásticos y únicamente un 7,7% se reciclaron, actualmente en el país se espera que si no existen cambios esta producción aumentará un 82% para el 2040, sin

embargo, se ha propuesto una hoja de ruta la cual busca reducir la contaminación por plásticos en un 60% para el mismo año. Esta hoja de ruta fue presentada por el Ministerio de relaciones exteriores y movilidad humana, el Ministerio de ambiente, Agua y Transición Ecológica, el Ministerio de producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pescas, en conjunto con Global Plastic Action Partnership (GPAP) y WWF-Ecuador presentaron una hoja de ruta de plásticos la cual está pensada para aplicarse tanto en el sector público, privado, residencial e industrial. Para realizar esta hoja de ruta se recolecto información, la cual reveló que 627000 toneladas de residuos plásticos fueron generadas en el año 2022, lo que significa que cada habitante genera 34.8 kg de residuos plásticos al año, de los cuales el 40% fueron desechados de manera inadecuada, el 7.7% se recicló y el 52% se depositó en contenedores adecuados que cumplen con las normativas. No se puede cambiar el sistema en una sola intervención por lo que es necesario realizar varias de manera sistemática, por lo cual la hoja de ruta incluye los siguientes ejes claves [4]:

1 “Adoptar una perspectiva preventiva para disminuir la generación de residuos plásticos, priorizando esfuerzos en eliminación y reúso [4].
2 Incentivar la innovación para migrar a sustitutos no plásticos y plásticos alternativos que no generen impactos ambientales, sociales y de salud negativos [4].
3 Incrementar la cobertura de recolección y crear sitios de disposición adecuada para los residuos, como medida en el corto plazo para reducir la contaminación plástica en Ecuador [4].
4 Estimular el reciclaje con un enfoque inclusivo y garantizando condiciones justas para los trabajadores, a través del rediseño e implementación de mejores sistemas [4].
5 Mejorar la recopilación y gestión de datos para alinear esfuerzos estratégicos entre agencias gubernamentales, sector privado y sociedad civil” [4].

La basura plástica se clasifico por regiones considerando que la costa posee más contaminación de plásticos con un porcentaje de 6.94 % en envases plásticos y un 4.17 % de fundas plásticas, mientras que en la sierra se registra mayor cantidad de bolsas con un 6.44 % esta se la puede observar en la Fig. 1.

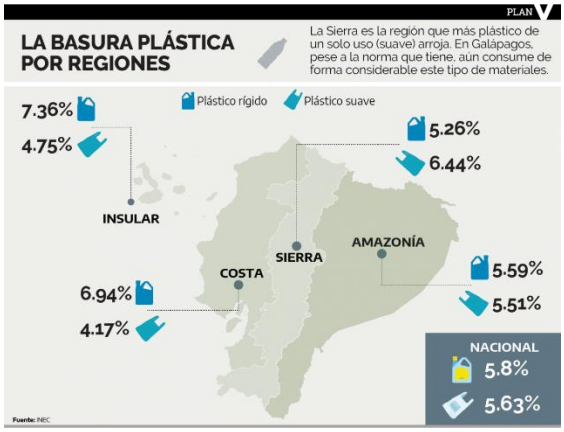


Fig 1. Basura plástica producida en cada región [4].

1.1.4.2 Cucharas

No existe un origen conocido de este utensilio, pero se sabe que es uno de los más antiguos creados, según varios expertos estos utensilios eran utilizados desde el Paleolítico, aunque tenían distintas formas y materiales dependiendo de la zona, pero todas eran usadas para consumir sus alimentos líquidos que no eran posibles consumir a mano o pinchándolos. En cada época fueron evolucionando, llegando a ser incluso objetos de gran valor ya que eran elaboradas con distintos materiales preciosos, hasta llegar a la cuchara conocida el día de hoy, elaborada de distintos materiales como el metal, el plástico o el más reciente, el material biodegradable, este utensilio se encuentra presente en la mayoría de los hogares del mundo debido a su diseño simple y que permite consumir alimentos. Mayormente se utiliza un factor de seguridad de 1.5 a 2.5 para su construcción. Su forma y sus propiedades fueron mejorando según las necesidades, adaptándose al contexto histórico [5].

1.1.4.2.1 Tipos de cucharas

Cuchara sopera: Posee una cavidad honda lo que la hace ideal para sopas, purés o legumbres [6].

Cuchara para consomés: Tiene una longitud menor y su cavidad es mayor, lo que la hace ideal para caldos y consomés [6].

Cuchara para el postre: Esta cuchara tiene dimensiones pequeñas debido al uso que se le da [6].

Cuchara para el café: Es la más pequeña, ligeramente diferente a la cuchara para

postres y se utiliza para infusiones o café [6].

Cuchara de servicio: Tiene dimensiones grandes y su pala es de mayor tamaño, es utilizada para servir acompañamientos y guarniciones [6].

Cuchara para ensalada: Tiene una longitud de 30 cm, con una pala amplia y pequeña cavidad la cuál es utilizada para mezclar y servir ensaladas [6].

Cuchara salsera: Tiene una longitud de 20 cm, la cual tiene una cavidad mediana y aplanada, la cual es utilizada para servir todo tipo de salsas [6].

Cuchara legumbrera: Cuchara especial con agujeros en la cavidad lo cual es útil para servir legumbres y pastas [6].

Con dichas cucharas podemos visualizarla en la Fig. 2.



Fig 2. Tipos de cucharas [7].

1.1.4.3 Tenedores

Los tenedores nacen de la necesidad de comer alimentos sólidos sin tocarlos, estos ya eran utilizados en la antigüedad pero no contaban con las cuatro puntas que tienen los tenedores actuales, si no que contaban con solo dos puntas lo que hacía que los pequeños trozos de comida se resbalen por lo que su uso no era muy popular, fue hasta que en Francia en el siglo XVII se le añadieron las dos puntas extras que el utensilio se popularizó y su uso se extendió por toda Europa y eventualmente llegaría a América donde continuamos utilizándolos hasta el día de hoy [8].

1.1.4.3.1 Tipos de Tenedores

Tenedor para el plato principal: Tiene 4 o 5 puntas y es del mismo tamaño que la cuchara de mesa [6].

Tenedor para entrantes: Tiene 4 puntas y es de menor tamaño que el tenedor para el plato principal [6].

Tenedor para pescado: Este tenedor es más ancho y posee únicamente tres puntas debido a las necesidades al comer pescado [6].

Tenedor para el postre: Posee un diseño similar a otros tenedores, con la diferencia de que es más pequeño [6].

Mencionados los tenedores podemos visualizarlos en la Fig. 3.



Fig 3. Tipos de tenedores [7].

1.1.4.4 Cubiertos biodegradables

El mercado de cubiertos biodegradables ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años debido a la búsqueda de alternativas al uso de plásticos. Estos utensilios son producidos a partir de materiales de origen orgánico que se descomponen en un menor tiempo que el plástico y el daño ambiental causado es mínimo. Estos utensilios son ideales para adoptar prácticas sostenibles tanto en empresas como personas ya que los utensilios son ampliamente utilizados en reuniones, conferencias, a nivel casero y en diferentes eventos masivos. Existen diversas opciones en cuanto a materiales se refieren, siendo un tema de interés para recientes investigaciones nuevos materiales que posean características similares o mejores a las del plástico, además que sea posible su producción a gran escala con un costo bajo para de esta manera competir con los utensilios tradicionales [9].

En cuanto a cifras se habla de que en el año 2023 alrededor del mundo el mercado de estos utensilios alcanzó los 45 millones de dólares y se espera que con las nuevas investigaciones y hallazgos este mercado mejore y alcance los 65.8 millones de dólares para el año 2032, experimentando un gran crecimiento y aceptación entre los consumidores que buscan una opción alternativa que sea ecológica y no cause un gran impacto ambiental, cada vez la conciencia ambiental es mayor debido a que los cambios ambientales son aún peores y cada vez más evidentes [9].

1.1.4.5 Productos desechables

Por lo general cuando hablamos de estos productos nos referimos a artículos de un solo uso, los cuáles pueden ser convenientes, pero causan un gran daño al ambiente y la salud de los seres vivos. Estos productos son altamente contaminantes y malos para la salud y lo son aún más cuando estos son quemados, consumimos mariscos contaminados con residuos plásticos o simplemente con la aparición de microplásticos, por todas estas razones es que uno de los más grandes objetivos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) es eliminar la contaminación por plásticos. De acuerdo con informes del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) se estima que en el océano existen entre 175 y 199 millones de toneladas de estos desechos y representan el 85% de la contaminación existente en los océanos [10]. En la Fig. 4 se puede observar los diferentes productos plásticos presentes en el océano.



Fig 4. Productos de un solo uso [11].

1.1.4.6 Alcance de mercado

El uso de utensilios plásticos es bastante común, los usamos si vamos a restaurantes, en eventos, reuniones o incluso almuerzos familiares. Existen otros sectores como el

turístico donde los utensilios se usan en los diferentes medios de transporte como aviones o cruceros, siendo una tarea importante y delicada para todos estos sectores es necesario ofrecer productos de calidad por lo que es necesario seguir normas en su fabricación para que de esta manera los clientes consideren el producto como una alternativa segura, de bajo costo y amigable con el ambiente [9].

1.1.4.7 Materiales para el molde

1.1.4.7.1 Aluminios

El aluminio es un material presente en gran medida en la vida cotidiana, siendo el tercer elemento más abundante en el planeta, su gran uso en la industria se debe a sus diversas características como sus propiedades mecánicas que incluyen la resistencia a la corrosión, aleabilidad, sus propiedades de conducción tanto térmicas como eléctricas, su peso bajo el cual es un tercio del peso del acero, su durabilidad y su reciclabilidad, entre otros. En cuanto a las propiedades que lo hacen adecuado para la industria alimenticia podemos destacar su baja toxicidad ya que no emite tóxicos ni olores y ayuda a conservar el aroma de los alimentos, lo que lo hace muy apreciado para la fabricación de ollas, utensilios y moldes para estos utensilios [12].

Aluminio 5083

El aluminio 5083 es una aleación destacada en la industria alimentaria por su alta resistencia a la corrosión, excelente soldabilidad, ligereza, seguridad para contacto con alimentos, resistencia moderada a altas temperaturas y facilidad para lograr acabados higiénicos. Es ideal para fabricar recipientes, superficies de trabajo, equipos procesadores y estructuras resistentes, manteniendo estándares de higiene y durabilidad [13].

Aluminio 6061

El aluminio 6061 es ampliamente utilizado en la industria alimentaria gracias a su combinación de alta resistencia mecánica, excelente resistencia a la corrosión, buena soldabilidad, ligereza, capacidad de maquinado y versatilidad para acabados higiénicos. Es ideal para fabricar componentes estructurales, recipientes, superficies de trabajo y equipos procesadores que requieren durabilidad y precisión [14].

Aluminio 6063

El aluminio 6063 es valorado en la industria alimentaria por su excelente resistencia a la corrosión, buena capacidad de extrusión, alta calidad de acabado superficial, ligereza, y facilidad para el anodizado. Es ideal para fabricar perfiles, marcos, recipientes y estructuras donde se requieran acabados higiénicos y estéticos [15].

Aluminio 7075

El aluminio 7075 es reconocido en la industria alimentaria por su excepcional resistencia mecánica, buena resistencia a la corrosión, ligereza y alta durabilidad, aunque es menos soldable y trabajable que otras aleaciones. Es ideal para aplicaciones estructurales exigentes que requieren robustez y bajo peso [16].

Las propiedades de cada aluminio analizado se encuentran listadas en la TABLA I.

TABLA I

FICHA TÉCNICA DE LOS MATERIALES EN ALUMINIO [12] [13] [14] [15]

Propiedades	Aluminio 5083	Aluminio 6061	Aluminio 6063	Aluminio 7075
Físicas				
Densidad (g/cc)	2.68	2.70	2.70	2.81
Mecánicas				
Dureza, Brinell (HB)	75	95	60	150
Resistencia a la tracción, máxima (MPa)	330	310	186	524
Resistencia a la tracción, rendimiento (MPa)	240	276	145	462
Alargamiento a la rotura (%)	14	12	18	9
Módulo de elasticidad (GPa)	72	69	68,9	71,7
Térmicas				
Conductividad térmica (W/mK)	121	167	209	130
Punto de fusión (°C)	570 - 640	582 - 652	616-654	477 - 635

1.1.4.7.2 Aceros Inoxidables

Los aceros inoxidables son esenciales en la industria alimentaria por su resistencia a la corrosión, durabilidad, facilidad de limpieza y cumplimiento de estándares

higiénicos. Entre ellos, los aceros inoxidables austeníticos, como los de las series 304 y 316, son la mejor opción gracias a su excelente resistencia a la corrosión, incluso en ambientes húmedos o con químicos como ácidos y sales presentes en alimentos, su alta ductilidad y soldabilidad, y su superficie lisa que minimiza la acumulación de residuos. Estas propiedades los hacen ideales para equipos de procesamiento, recipientes, superficies de trabajo y tuberías alimentarias [17]. Las propiedades de cada acero inoxidable analizado se encuentran listadas en la TABLA II.

Acero Inoxidable 304

El acero inoxidable 304 es ampliamente utilizado en la industria alimentaria por su excelente resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza, alta durabilidad y compatibilidad con estándares de higiene. Su estructura austenítica lo hace ideal para fabricar equipos como recipientes, superficies de trabajo, tanques y tuberías que están en contacto constante con alimentos, incluso en ambientes húmedos o expuestos a ácidos débiles, garantizando seguridad alimentaria y larga vida útil [18].

Acero Inoxidable 310

El acero inoxidable 310 es ideal en la industria alimentaria para aplicaciones que requieren resistencia a altas temperaturas y excelente resistencia a la corrosión. Es utilizado en equipos expuestos a calor prolongado, como hornos, intercambiadores de calor y componentes que mantienen contacto con alimentos, ofreciendo durabilidad, seguridad higiénica y desempeño confiable en condiciones térmicas extremas [19].

Acero Inoxidable 316

El acero inoxidable 316 es altamente valorado en la industria alimentaria por su superior resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes agresivos con exposición a sales, ácidos o productos químicos. Es ideal para fabricar equipos como tanques, tuberías, recipientes y superficies de trabajo en contacto con alimentos, asegurando durabilidad, higiene y desempeño confiable incluso en condiciones exigentes, como entornos salinos o procesos de limpieza rigurosos [20].

Acero Inoxidable 321

El acero inoxidable 321 es utilizado en la industria alimentaria debido a su excelente

resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes con altas temperaturas, y a la corrosión intergranular. Es ideal para aplicaciones que requieren exposición constante al calor, como hornos y sistemas de tuberías, ya que mantiene sus propiedades mecánicas y de resistencia a la oxidación, garantizando durabilidad y seguridad en el contacto con alimentos en condiciones térmicas exigentes [21].

Acero Inoxidable 347

El acero inoxidable 347 es muy utilizado en la industria alimentaria por su excelente resistencia a la corrosión, especialmente en ambientes con temperaturas altas y ciclos térmicos frecuentes. Su capacidad para resistir la corrosión intergranular lo hace adecuado para aplicaciones como intercambiadores de calor, equipos de procesamiento y sistemas de tuberías, asegurando durabilidad, seguridad e higiene en contacto con alimentos en condiciones térmicas extremas [22].

TABLA II

FICHA TÉCNICA DE LOS MATERIALES EN ACERO INOXIDABLE [18] [19] [20] [21] [22]

Propiedades	Inox 304	Inox 310	Inox 316	Inox 321	Inox 347
Físicas					
Densidad (g/cc)	7.93	7.98	7,98	7.92	7.92
Mecánicas					
Dureza, Brinell (HB)	123-201	160-192	123-200	123-192	150-190
Resistencia a la tracción, máxima (MPa)	505-735	520-760	515-760	505-735	515-760
Resistencia a la tracción, rendimiento (MPa)	215-310	205-310	205-310	205-310	210-310
Alargamiento a la rotura (%)	40-60	40-50	40-60	40-60	40-60
Módulo de elasticidad (GPa)	193-200	193-200	193-200	193-200	193-200
Térmicas					
Conductividad térmica (W/mK)	16.2	14.2	16.3	16.1	15.5
Punto de fusión (ºC)	1400-1450	1400-1450	1375-1400	1400-1420	1400-1425

1.1.5 Materiales Biodegradables

Son materiales capaces de descomponerse debido a la acción de agentes biológicos y factores ambientales sin dejar microplásticos, durante este proceso el material sufrirá cambios tanto a nivel estructural como químico. Este proceso afecta a cualquier material, pero el tiempo es diferente para cada material, dependiendo de las condiciones que se encuentre. Para hacer una comparación los materiales biodegradables pueden descomponerse en semanas o incluso días, mientras que a los plásticos les toma cientos o miles de años en hacerlos por lo que en el caso de los plásticos existe una mayor acumulación de desechos debido a la dificultad para deshacerse de ellos [23].

1.15.1 Bagazo de yuca

La yuca cuenta con una gran capacidad para crecer en condiciones adversas lo que hace que sea un recurso abundante y de fácil obtención, este producto es uno de los más importantes para la alimentación junto con el arroz, el trigo y el maíz. Además, cuenta con una gran versatilidad en cuanto a cocina se refiere ya que existen diversas recetas y además es posible extraer su almidón para crear materiales [24].

La yuca es ampliamente utilizada en la industria ya que se extrae el almidón y en base a esto se produce el bagazo el cual se dirige a la alimentación animal, pero puede ser utilizada con otros objetivos. Para la obtención de este material biodegradable es necesario mezclar polímero en una proporción del 20 al 40%, bagazo en una proporción del 42 al 56% y glicerol en una proporción del 18 al 24% dependiendo de las propiedades físicas que se buscan en el material [25].

1.15.2 Almidón de achira

La achira es una planta producida en los Andes de Sudamérica, tarda en madurar entre 10 y 12 meses, para obtener el almidón de esta planta se lo hace a partir de los tubérculos. Algunas de las ventajas de esta planta incluyen que puede ser fácilmente cultivada durante cualquier época del año y no es necesario utilizar químicos en ninguna etapa. La achira posee propiedades físicas y químicas que la hacen una buena opción al uso de plásticos, estas características pueden ser mejoradas al añadir fibras naturales las cuáles actúan como refuerzo y aumentan la resistencia del material [26].

1.1.5.3 Bioplástico de maíz

Este bioplástico es un polímero natural obtenido a partir de granos de maíz el cuál es procesado para obtener almidón de maíz compuesto por amilopectina y amilosa, lo que otorga a este material propiedades biodegradables y renovables. Este material es un bioplástico ligero, resistente y compostable, ideal para fabricar utensilios, platos y vasos. Posee una gran versatilidad y capacidad para moldearse lo que lo hace un material excelente para reemplazar los plásticos tradicionales [27].

Además, este material es sostenible debido a que es uno de los productos más cultivados alrededor del mundo, lo que hace que la dependencia a materiales derivados del petróleo sea reducida y promueve la economía circular al ser apto para el compostaje industrial lo cual contribuye a un futuro más limpio y ecológico [28]. En la Fig. 5 se puede observar productos hechos con bioplástico de maíz.

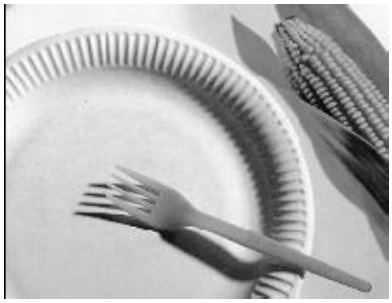


Fig 5.- Bioplásticos a base de almidón de maíz [29].

1.1.5.4 Bioplástico de Maracuyá

Este bioplástico es elaborado a partir de los residuos de la cáscara y semillas de esta fruta, esto hace que se pueda aprovechar sus altos contenidos de almidón, pectina y fibras naturales, con estos componentes se puede crear el material biodegradable y resistente que puede moldearse para fabricar utensilios, platos y empaque. Tiene un límite elástico de 12.1 MPa. Gracias a su biodegradabilidad el bioplástico se compone de manera natural sin generar residuos tóxicos lo cual permite la reducción de la contaminación por el uso de plásticos convencionales y la disminución de desperdicios agrícolas y contribuyendo a un modelo de producción más limpio y respetuoso con el medio ambiente [30]. En la Fig. 6 se puede observar productos hechos con bioplástico de maracuyá que existen en el mercado tales como es una bolsa realizada con base a

este material y cumple dicha funcionalidad.



Fig 6.- Bioplástico a base de cáscara de maracuyá [31].

1.1.5.5 Bioplástico de arveja

Estos bioplásticos son producidos a partir de proteínas y almidones presentes en esta leguminosa, la cual tiene la capacidad de formar películas resistentes y flexibles. Gracias a estas propiedades se puede crear materiales para utensilios biodegradables. Su fabricación utiliza recursos renovables y promueve el aprovechamiento integral de los cultivos de arveja. Estos bioplásticos al descomponerse no generan residuos tóxicos además de ser biodegradables, además el uso de estos bioplásticos contribuye a la disminución de la huella ambiental de los desechos reutilizando los desechos generados para diferentes usos [32]. En la Fig.7 se puede observar el almidón obtenido a partir de la arveja con el que se trabaja para la obtención del material bioplástico.



Fig 7.- Almidón de arveja [33].

1.1.5.6 Bioplástico de trigo

El trigo, proveniente de la familia del Triticum es uno de los principales productos agrícolas del mundo, esencial en la nutrición humana, con un contenido proteico que incluye un 12% de albúminas, un 40% de prolaminas y un 40% de gluteninas. Junto con el maíz y el arroz, es uno de los cereales más cultivados, lo que lo convierte en un mercado activo y global [34].

Debido a su gran demanda, su cultivo es objeto de mucha investigación y los agrónomos se ven llevados a desarrollar programas para mejorar sus variedades. En Ecuador, el consumo anual de trigo supera las 450.000 toneladas, con un consumo promedio per cápita de 30 kg por año. El 98% del trigo que se consume en el país es importado, mientras que solo el 2% se produce localmente (Banco Central del Ecuador, 2016), lo que ha llevado a una alta dependencia de las importaciones para satisfacer la demanda interna [34].

En cuanto a su composición se pueden destacar los siguientes porcentajes de elementos presentes en la TABLA III.

TABLA III

ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE TRIGO [14]

Material	Porcentaje de composición
Trigo	66%
Agua	33%
Enzimas	033%
Bacterias	0,66%

1.1.5.7 Fibras de bambú

El bambú, perteneciente a la familia Poaceae y al género Bambusoidae, es una planta gigante emparentada con otras gramíneas como el arroz, el trigo y el maíz. En Ecuador, la especie más abundante es la Guadua angustifolia, que destaca por sus excepcionales propiedades físico-mecánicas y su durabilidad. Esta especie contiene un alto porcentaje de fibras y un bajo contenido de lignina, lo que facilita la extracción de fibras de refuerzo, convirtiéndolo en un material muy útil en diversas industrias [35]. El bambú posee una notable elasticidad, con valores que oscilan entre $9000 - 10100\ \mathrm{N}/mm^2$ y una resistencia a la tracción que varía entre $84 - 126\ \mathrm{N}/mm^2$. Estas características lo convierten en un material óptimo para la construcción, con más de 1500 aplicaciones documentadas. Un aspecto importante es que, tras un periodo de crecimiento de entre 2 y 3 años, el bambú está listo para ser utilizado, y sus fibras son

completamente biodegradables, descomponiéndose en el suelo por la acción de microorganismos y la luz solar [36].

Además, las fibras de bambú presentan una mayor resistencia en sentido longitudinal y una menor resistencia en sentido transversal, lo que influye en su comportamiento estructural y en su utilización en aplicaciones específicas. Su composición y características lo convierten en un recurso sostenible y versátil, con aplicaciones que abarcan desde la construcción hasta productos biodegradables, en línea con las tendencias actuales hacia la sostenibilidad [37]. En la Fig. 8 se puede observar las zonas donde crece el bambú alrededor del mundo.

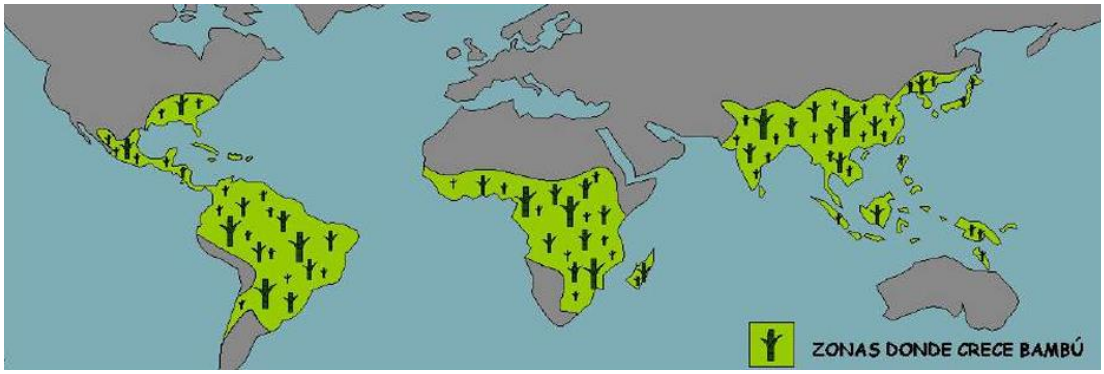


Fig 8. Distribución del bambú en el mundo [37].

1.1.6 Polimerización

La polimerización es el proceso químico en el que los monómeros, que son moléculas pequeñas, reaccionan y se agrupan mediante enlaces covalentes para formar una macromolécula conocida como polímero. En este proceso, los catalizadores juegan un papel crucial al acelerar la formación del polímero. Otros factores, como la luz o la presencia de agentes antioxidantes, también pueden influir en el desarrollo de la reacción. Los grupos funcionales de los monómeros, junto con los efectos estéricos (presencia de ramificaciones o cadenas laterales voluminosas), determinan en gran medida cómo la molécula puede rotar y acomodarse durante el proceso de polimerización. Si solo se utiliza un tipo de monómero en la reacción, el producto resultante es un homopolímero. Sin embargo, cuando se utilizan dos o más tipos de monómeros, el resultado son copolímeros o terpolímeros, dependiendo de la cantidad de monómeros utilizados. La ruta de síntesis elegida para la polimerización influye

directamente en las propiedades finales del polímero, como la resistencia mecánica, la flexibilidad o la degradabilidad. Este es un factor clave, ya que el proceso debe adaptarse a las propiedades requeridas por la aplicación final del material polimérico. Por ejemplo, la estructura final determinará si el polímero es adecuado para envases, textiles, componentes electrónicos o materiales biodegradables, entre otras aplicaciones [38].

1.1.6.1 Métodos de polimerización

Polimerización en bloque o fase condensada: es un proceso donde el monómero y un iniciador se combinan en un reactor y se controla directamente la temperatura, para obtener el producto deseado de calidad con todas sus normas. este proceso es común en la polimerización por condensación, especialmente cuando un monómero está cargado en el reactor y el otro se añade gradualmente durante el proceso [39].

Polimerización en solución: este método explica cuando el monómero se disuelve en un solvente no reactivo que contiene un catalizador, permitiendo que el calor liberador por la reacción sea absorbido y reduzca la velocidad por la misma [39].

Polimerización en suspensión: este método implica suspender el monómero y el catalizador en gotitas en una fase continúa, como el agua, ya que este proceso es muy crucial para un producto un buen estado, donde tiene como trabajo absorber el calor generado por la reacción, requerido agitación constante y posterior separación y deshidratación del polímero [39].

Polimerización por emulsión: este proceso está dado por emulsión que se efectúa en agua donde el monómero se incorpora en micelas formadas por un agente emulsificante, comúnmente como el jabón, y la polimerización se lleva a cabo en su interior. Como punto fuerte de cada uno de estos métodos se emplea ampliamente en la producción de diferentes tipos de polímeros, como el PMMA, PP, VC y pinturas estos son los productos que han ido evolucionando con el pasar del tiempo y nos han sido muy útiles en muchas áreas de trabajo [39].

1.1.7 Normas

UNE-EN 1672-2:2020

El reglamento establece los requisitos de seguridad e higiene de las máquinas utilizadas en el procesamiento de alimentos, con especial atención a los equipos de corte y triturado. Su principal objetivo es proteger a los operarios que interactúan con estas máquinas, garantizando que se minimicen los riesgos. Entre los requisitos clave se encuentran [40]:

- Protección del operario: Las máquinas deben contar con dispositivos de seguridad, como resguardos y protectores, que eviten el contacto accidental con partes móviles y afiladas.
- Materiales de construcción: Los equipos deben estar fabricados con materiales resistentes a la corrosión y de fácil limpieza, para evitar la contaminación de los alimentos.
- Facilidad de limpieza: Las máquinas deben estar diseñadas de manera que todas las superficies en contacto con los alimentos sean accesibles para una limpieza eficaz, reduciendo el riesgo de acumulación de residuos o bacterias.
- Controles de emergencia: Deben estar equipados con botones de parada de emergencia que sean fácilmente accesibles para los operarios, permitiendo detener la máquina rápidamente en caso de peligro.
- Mantenimiento y accesibilidad: Los equipos deben permitir un mantenimiento seguro, sin exponer a los trabajadores a riesgos innecesarios durante el desmontaje o la reparación.

Este reglamento es crucial para garantizar no solo la protección del personal, sino también la calidad en el procesamiento de alimentos, ofreciendo directrices claras y específicas para la industria alimentaria [40].

NORMA EN 13432

Si un envase o embalaje está fabricado con materiales compostables y biodegradables, no siempre se considera que sea completamente compostable, a menos que los componentes puedan separarse fácilmente. Según la normativa europea, los envases

deben descomponerse en un plazo máximo de seis meses y alcanzar una biodegradabilidad de al menos el 90%. Sin embargo, esta normativa no contempla las normativas relacionadas con la compostabilidad de los residuos que puedan contener los envases [41].

INEN-EN 1672-2:2017

La norma adoptada por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) define los requisitos de seguridad e higiene que deben cumplir las máquinas utilizadas en la industria alimentaria, en particular las utilizadas en el procesamiento de alimentos. Su principal enfoque es la protección contra riesgos mecánicos, eléctricos y térmicos, así como la prevención de la contaminación de los alimentos. Además, incluye lineamientos para la limpieza y desinfección de las máquinas, con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos. El cumplimiento de estos requisitos es fundamental para garantizar la inocuidad de los alimentos procesados y proteger a los consumidores [42].

1.1.8 Transformación de Polímeros

Existen varios métodos para moldear polímeros, la elección del más adecuado depende del tipo de material, geometría de la pieza y volumen de producción. Cada método es más adecuado para determinadas aplicaciones, aunque muchos polímeros se pueden moldear mediante diferentes procesos según los requisitos del producto final [43].

1.1.8.1 Moldeo por transformación.

El moldeo por transferencia es una evolución del moldeo por compresión, en el que el material de moldeo se coloca en una cavidad inicial y, al cerrarse el molde, se transfiere a través de canales hacia las diferentes cavidades de moldeo. Este método se sitúa entre los procesos de inyección y compresión, combinando características de ambos. Es especialmente útil para moldes con múltiples cavidades o cuando es difícil llenar el molde (por ejemplo, moldes planos o con inserciones metálicas). Aunque ofrece una transferencia de calor más eficiente y un ciclo más corto, tiene algunas desventajas: el flujo del material es más complejo, lo que puede causar orientación en el material, los moldes sufren mayor desgaste, los equipos son más costosos y el material restante en

los canales se convierte en desecho no reutilizable [44]. En la Fig. 9 se puede observar un esquema del moldeo por transferencia.

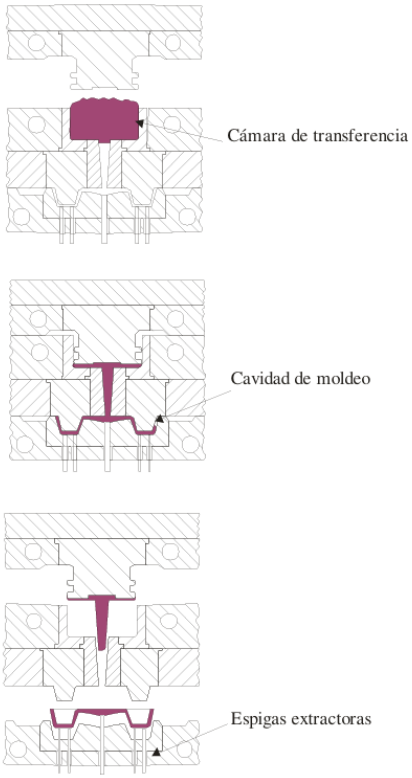


Fig 9. Esquema del moldeo por transferencia [44].

1.1.8.2 Moldeo por inyección

Se lleva a cabo fundiendo el material plástico en condiciones controladas y luego inyectándolo a altas presiones en la cavidad de un molde. Aquí el material se enfría a una temperatura determinada que permite extraerlo sin deformarse; esta es la descripción definitiva de uno de los métodos utilizados en la industria del plástico. Ejemplos reales de equipos diseñados y construidos para la producción en masa de piezas son las modernas máquinas de inyección. Su historia se remonta a los primeros años del siglo XX, cuando se procesaron las primeras resinas termoplásticas con máquinas bastante elementales. La mayoría de los plásticos comunes actuales, como PS, PA, PVC, PMMA y muchos otros, se desarrollaron en la década de los años treinta específicamente para este proceso. La principal aplicación del moldeo por inyección es con las resinas termoplásticas, aunque, con algunas adaptaciones, también se puede aplicar a material termoendurecible y elastómeros sintéticos. El proceso consiste básicamente en el flujo de un polímero líquido no newtoniano caliente a través de

conductos o canales de complejidad geométrica, con sus paredes mucho más frías que la temperatura del polímero líquido, que llena un molde frío. Su simulación es muy complicada, a pesar de que han surgido programas comerciales, como MOLDFLOW, que han guiado el proceso de crecimiento de la técnica. Este proceso puede considerarse compuesto por dos partes: primero se funde el material y luego se inyecta en el molde. La forma en que se realizan estas dos fases permite distinguir entre las distintas máquinas de inyección [45]. En la Fig.10 se puede observar un ejemplo de máquina por moldeo de inyección.

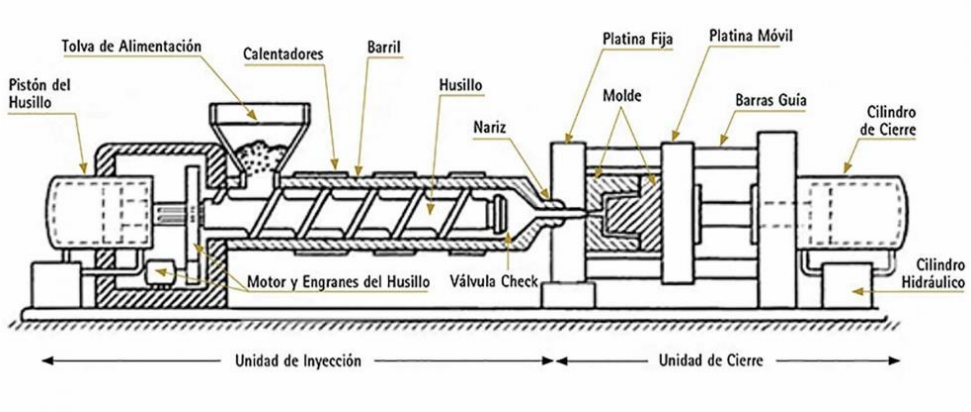


Fig 10. Máquina para moldeo de inyección [46].

1.1.8.2.1 Consideraciones preliminares antes de la inyección

Antes de inyectar los materiales es imprescindible tener en cuenta ciertos factores como la humedad presente en los pellets, ya que un exceso de humedad puede provocar defectos en las piezas finales y pérdida de recursos. Para evitar estos problemas, los pellets de todas las mezclas se han secado en un horno a aproximadamente 45 grados centígrados durante 48 horas, consiguiendo que los materiales estén totalmente libres de humedad antes de su inyección. Otro aspecto importante es la interacción entre PCL (policaprolactona) y PLA (ácido poliláctico), ya que su combinación en el proceso de inyección puede provocar complicaciones. Por ello, se ha investigado una temperatura de inyección adecuada que permita trabajar con ambos materiales sin que sufran degradación, garantizando así la obtención de muestras con buena mezcla y calidad. Las temperaturas a las que se degradan el almidón y la policaprolactona están en torno a los 300 grados centígrados, mientras que la del ácido poliláctico es de 350 grados centígrados. Se han realizado análisis para determinar una temperatura óptima que no

comprometa la integridad de los materiales de la mezcla [47].

1.1.8.2.2 Moldes de 2 placas

Los moldes de 2 platos o placas son uno de los diseños más comunes en la industria del moldeo. En este tipo de moldes, la cavidad se monta sobre el plato fijo, que permanece en su lugar durante la inyección, mientras que el plato macho se coloca sobre la parte móvil, lo que permite accionar el proceso de extracción. El canal de alimentación se encuentra en el centro del molde, lo que facilita una distribución uniforme del plástico al inyectarlo. Sin embargo, la efectividad de esta distribución depende del diseño específico de la pieza a fabricar [47]. En la Fig. 11 se puede observar un molde de 2 placas.

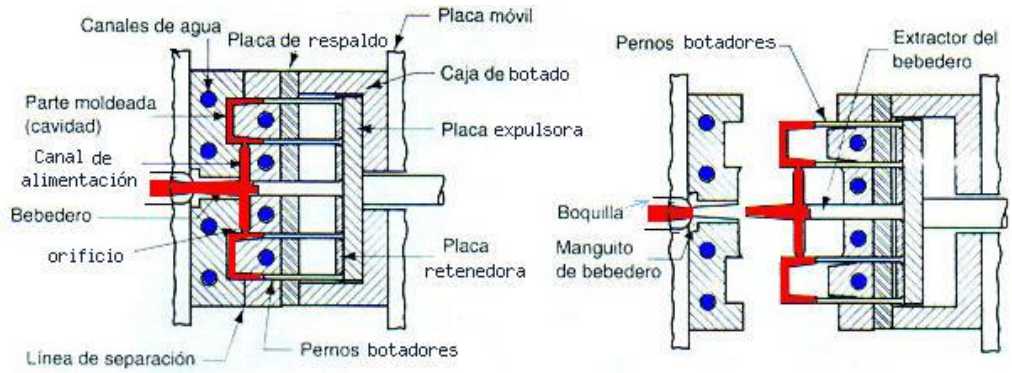


Fig 11. Molde de 2 placas [47].

1.1.8.2.3 Moldes de 3 placas

En los moldes de 3 placas, la configuración incluye tres placas con funciones específicas. La primera placa, conectada a la parte estática de la máquina de inyección, contiene la mazarota y parte de los canales de alimentación. La segunda placa, situada en el centro, alberga la cavidad para la pieza a moldear y la otra parte de los canales de alimentación. Por último, la tercera placa está unida a la parte móvil de la máquina de inyección y contiene la parte macho o los machos del molde. La principal ventaja de este diseño es que permite la separación tanto de la placa intermedia como de la placa móvil, facilitando la extracción de la mazarota y de los canales de alimentación sin interferir con la pieza moldeada [47]. En la Fig. 12 se puede observar un molde de 3 placas.

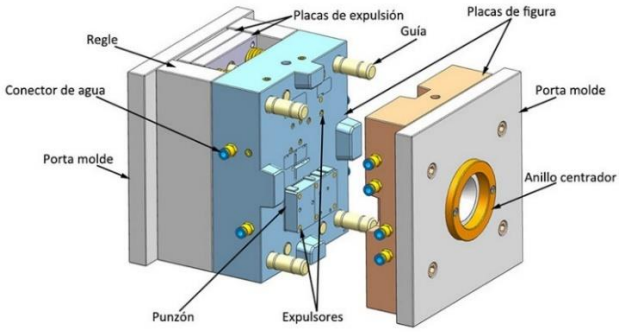


Fig 12. Molde de 3 placas [48].

1.1.8.3 Moldeo por compresión

El moldeo por compresión o termocompresión se utiliza principalmente para moldear materiales termoestables y, en ocasiones, termoplásticos [43]. Los materiales termoestables altamente reticulados se fabrican a partir de precursores que incluyen aditivos como rellenos, lubricantes y catalizadores. Estos materiales suelen estar disponibles en forma de polvos, gránulos o líquidos. Cuando se someten a calor y presión, su viscosidad disminuye hasta que se vuelven líquidos y luego experimentan una reacción química irreversible (endurecimiento). Los materiales más comunes son los epoxis, los fenólicos, los poliésteres, los poliuretanos y las siliconas, así como los materiales reforzados con fibra y las espumas [44]. En la Fig. 13 se puede observar el moldeo por compresión.

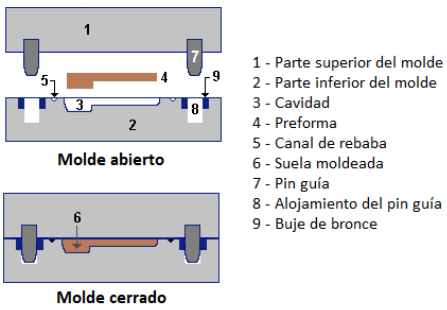


Fig 13. Moldeo por compresión [49].

El proceso de moldeo por compresión, el material, ya sea líquido, polvo, pellet o tableta preformada, se coloca en un molde calentado que se cierra lentamente hasta que se le aplica presión mediante las dos mitades del molde. A medida que el molde

se cierra, el material se ve obligado a llenar todas las cavidades del molde. En ciertos casos, es beneficioso cerrar el molde casi por completo, abriéndolo brevemente para permitir que el material "respire" y libere los gases atrapados antes de aplicar la presión completa. Una vez cerrado, se aplica la presión completa, completando el llenado de la cavidad. Bajo la combinación de calor y presión, se producen reacciones de reticulación que convierten el material termoendurecible en un termoestable, conocido como el proceso de curado. Después del ello, se abre el molde y se retira la pieza, que adquiere su rigidez final cuando se enfría completamente. Para piezas complejas o grandes, es aconsejable colocarlas en moldes después del desmontaje para evitar la deformación durante el enfriamiento [44]. En la Fig. 14 se puede observar un esquema del proceso de termocompresión.

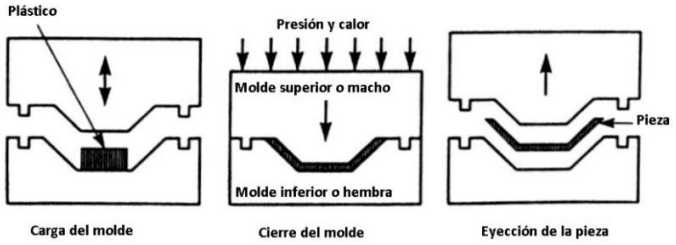


Fig 14. Esquema del proceso [50].

Los factores clave son la temperatura del molde y la presión aplicada. Sin embargo, otros elementos también influyen en la calidad de las piezas, como el diseño de la pieza a moldear, la velocidad de cierre de la prensa, la plasticidad del material y el estado superficial de la cavidad de moldeo. Es fundamental colocar la cantidad exacta de material en la cavidad, ya que una cantidad insuficiente puede dar lugar a piezas porosas con baja densidad y malas propiedades mecánicas, mientras que un exceso de material puede producir rebabas excesivas [44]**.**

Los moldes de compresión se clasifican en tres tipos principales: manuales, que se utilizan para pruebas funcionales; semiautomáticos, en los que un ciclo programado sigue al prensado, pero el operario carga y descarga la prensa manualmente; y automáticos, que tienen ciclos totalmente automatizados, que incluyen tanto la carga como la descarga de las piezas.

1.1.9 Métodos poco ortodoxos de mecanizado

Es un punto muy importante durante muchos años, la industria metalmecánica ha empleado técnicas significativas como el fresado, torneado y taladrado, donde son muy relevantes al momento de remover material de manera eficiente. Por otro lado debido a la creciente demanda de piezas que existen con formas y cavidades complejas, debido por este motivo se han desarrollado técnicas nuevas de mecanizado que permiten trabajar con mayor precisión y sin afectar las propiedades del metal al momento del contacto. Los métodos también conocidos como mecanizados no convencionales permiten la eliminación de material de forma precisa y lo impresiónate es sin que la herramienta entre en contacto directo con la pieza, donde resulta en la creación de diferentes piezas con formas más definidas y con ángulos más precisos sin dañar al material. La categorización es importante en los procedimientos de mecanizado no convencional, este proceso se realiza según el tipo de energía empleada puede ser, mecánica, térmica o química. La clasificación de los 3 grupos es muy importante en sectores industriales de alto nivel como la electrónica, militar y aeroespacial, donde se alcanza componentes de máxima calidad y facilitan el trabajo, gracias a estos métodos de fabricación [51]. Un listado de algunos procesos de mecanizado poco ortodoxos se puede observar en la TABLA IV.

TABLA IV

PROCESOS DE MECANIZADO POCO ORTODOXOS [51]

Térmico	Mecánico	Químico
Electroerosión	Chorro abrasivo	Electroquímico
Haz de electrones	Ultrasonido	

1.1.10 Control numérico asistido por computadora (CNC)

La integración de la manufactura asistida en el control numérico por computadora (CAM) con el diseño asistido por computadora (CAD) tuvo un movimiento muy importante donde ha permitido mejorar significativamente la precisión, productividad y calidad en los proyectos de diseño. En la actualidad, podemos observar que es común en las oficinas de diseño que los planos están directamente relacionados con los

aspectos de diseño y producción. Un método común de transferencia de información del CAD al CAM es a través del control numérico (CN) o control numérico por computadora que es la más utilizada hoy en día y la más exacta (CNC). Esta tecnología puede almacenar diseños utilizados en diversos procesos de fabricación, permitiendo la producción automática de piezas con las medidas, tolerancias y precisión requeridas. Dentro del CAM, la robótica juega un papel muy importante en diferentes áreas de trabajo. Los sistemas robóticos se diferencias de las maquinas CNC en que su principal función es el movimiento. Los manipuladores automáticos, como brazos y manos robóticas, tienen una amplia variedad de tareas de manipulación de materiales con una precisión y confiabilidad excepcionales para un producto final deseado. Aunque la implementación de este sistema puede ser gradual, existen softwares compatibles disponibles en el mercado [51].

1.1.11 Centro de mecanizado

El centro de mecanizado es la etapa más importante donde consta con una maquina altamente automatizada que puede llevar a cabo diversas operaciones de maquinado con una alta exactitud mediante un sistema de control numérico computarizado, con mínima intervención de un individuo, durante el mecanizado metal. Estas operaciones suelen involucrar el uso de herramientas robóticas en diferentes campos donde son muy útiles y ayudan optimizar el tiempo, como cortadores y brocas. Las características clave que hacen que los centros de maquinado sean altamente productivos incluyen [51]:

Cambio automático de herramientas: donde un programa de control numérico coordina un cambiador automático de herramientas donde realiza la mayoría de trabajo para intercambiar cortadores entre los husillos de la maquina y un tambor de almacenamientos de los mismo, donde puede contener entre 16 y 80 herramientas de corte [51].

Paletas conductoras: estas pueden transferir automáticamente las diversas piezas que contiene de trabajo al husillo de la máquina. Con esta función, el operador puede

descargar las piezas ya maquinadas y cargar las siguientes en las que se van a trabajar, mientras la maquina se encarga de trabajar en la pieza actual, reduciendo así los tiempos inactivos [51].

Alineado automático de las piezas de trabajo: donde muchos centros de maquinado disponen de más de tres ejes, con uno diseñando como una mesa rotatoria para colocarla en la posición deseada en relación con el husillo y obtener un producto de calidad. Esto permite que la herramienta de corte realice el maquinado en los cuatro lados de la pieza en una sola instalación, mejorando le eficiencia del proceso de fabricación [51].

1.1.12 Propiedades mecánicas

La dureza es una propiedad mecánica fundamental crucial para determinar la capacidad de un material para resistir la deformación, el desgaste y la abrasión. En la fabricación de cuchillos, la dureza influye directamente en el filo de la hoja, la retención del filo y el rendimiento general. Los materiales biodegradables, como los bioplásticos y los biocompuestos, deben tener la dureza adecuada para garantizar su viabilidad como sustitutos de los cuchillos. Los materiales biodegradables suelen tener propiedades mecánicas únicas en comparación con los materiales tradicionales para cuchillos, como el acero o la cerámica. Estos materiales pueden variar en composición, estructura y métodos de procesamiento, lo que plantea desafíos a la hora de evaluar con precisión su dureza. Además, factores como el contenido de humedad, las fluctuaciones de temperatura y la cinética de degradación pueden afectar la dureza de los materiales biodegradables con el tiempo [51].

1.1.12.1 Progreso en la ciencia de los materiales

Este mercado crece a medida que los científicos y productores diseñan una mayor eficiencia, resistencia y, mucho más importante, una relación ecológica en comparación con los productos desechables. Nuevos materiales, así como formas alternativas de resolver las desventajas de los biodegradables tradicionales para obtener nuevos subproductos, por ejemplo, biopolímeros avanzados y materiales

compuestos que ayudan a su degradación adecuada. La producción de cubiertos biodegradables garantiza que su resistencia mecánica se conserve durante su período de uso y luego se degrade después en diversas condiciones, por lo que no es perjudicial para el medio ambiente circundante. Son materiales altamente competitivos como sustitutos de los plásticos habituales. La nanotecnología es una ciencia ultramoderna que permite la ingeniería de alta calidad de las características mecánicas y térmicas al tiempo que reduce el tiempo de descomposición y aumenta la aceptación en el mercado [52].

Sin embargo, en el uso para la redacción de este texto, aún se necesitaría realizar una investigación sobre las materias primas de almidón de maíz, papas y aguacates para determinar su idoneidad para producir utensilios de cocina biodegradables. De otros trabajos en la literatura sobre envases biodegradables desechables para un enfoque complementario con motivos encontrados en trabajos que se refieren a fuentes renovables prescriben ciertas características intrínsecas además de la degradabilidad; Entre ellos destacan la dureza, flexibilidad y resistencia, además de ser degradables. Para comprender la velocidad de descomposición y los efectos ambientales que esto provoca, se realiza el ensayo de degradación controlada para todos los materiales. Esto ayuda a avanzar en el envasado sostenible y ecológico de envases desechables mediante el estudio científico y técnico del desarrollo de nuevos materiales biodegradables a partir de sus materias primas [52].

1.1.13 Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Es un conjunto de metas adoptadas por las Naciones Unidas en el año 2015 como parte de la agenda de desarrollo sostenible para el 2030. Estas metas buscan abordar las diferentes problemáticas que enfrenta actualmente la humanidad, las cuales incluyen la erradicación de la pobreza, la protección del planeta, y la promoción de la prosperidad y paz para todos [53].

De manera detallada los ODS incluyen estas 17 metas [53]:

1. Fin de la pobreza: Eliminar la pobreza en todas sus formas y en todos los países del mundo [53].

2. Hambre cero: Erradicar el hambre, mejorar la seguridad alimentaria y promover la agricultura sostenible para una nutrición adecuada [29].
3. Salud y bienestar: Asegurar el acceso a servicios de salud y promover el bienestar para todas las personas, sin importar su edad [29].
4. Educación de calidad: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, así como promover el aprendizaje a lo largo de toda la vida [29].
5. Igualdad de género: Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres [29].
6. Agua limpia y saneamiento: Asegurar el acceso a agua limpia, mejorar las condiciones de saneamiento y gestionar adecuadamente los recursos hídricos [29].
7. Energía asequible y no contaminante: Asegurar el acceso a energías asequibles, sostenibles y modernas [29].
8. Trabajo decente y crecimiento económico: Promover un crecimiento económico inclusivo, el trabajo decente y la creación de empleo para todos [29].
9. Industria, innovación e infraestructura: Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación [29].
10. Reducción de las desigualdades: Reducir las desigualdades sociales y económicas dentro y entre los países [29].
11. Ciudades y comunidades sostenibles: Crear ciudades y comunidades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles [29].
12. Producción y consumo responsables: Promover patrones de producción y consumo responsables y sostenibles [29].
13. Acción por el clima: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y mitigar sus efectos [29].
14. Vida submarina: Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, mares y recursos marinos [29].
15. Vida de ecosistemas terrestres: Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres [29].
16. Paz, justicia e instituciones sólidas: Promover sociedades pacíficas, inclusivas y justas, fortaleciendo las instituciones públicas [29].
17. Alianzas para lograr los objetivos: Revitalizar la cooperación global para

alcanzar los ODS mediante asociaciones eficaces [29].

Las metas de interés para este trabajo de titulación se encuentran dentro de los objetivos 9, 12 y 13 los cuales busca una producción y consumo responsables los cuales sean sostenibles a largo plazo.

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura

Los avances tecnológicos son clave para encontrar soluciones a los desafíos económicos y ambientales, así como para generar nuevos empleos y fomentar la eficiencia energética. Otras maneras fundamentales de facilitar el desarrollo sostenible incluyen la promoción de industrias sostenibles y la inversión en investigación e innovación científica [54].

Metas del objetivo 9

- Promover la industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, teniendo en cuenta las condiciones nacionales, y duplicar su contribución en los países menos desarrollados [54].
- Para 2030, modernizar la infraestructura y transformar las industrias para que sean sostenibles, optimizando el uso de los recursos y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente responsables, asegurando que todos los países tomen acciones conforme a sus capacidades respectivas [54].
- Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación en los países en desarrollo, asegurando, entre otras cosas, un entorno normativo favorable para la diversificación industrial y la valorización de los productos básicos [54].

Objetivo 12: Producción y consumo responsables

Para lograr el crecimiento económico y el desarrollo sostenible, es fundamental reducir

la huella ecológica mediante la transformación de los métodos de producción y consumo de bienes y recursos. La gestión responsable de los recursos naturales compartidos y la eliminación adecuada de los residuos tóxicos y contaminantes son esenciales para lograr este objetivo. Además, es fundamental motivar a la industria, las empresas y los consumidores a reciclar y reducir los residuos, al tiempo que se apoya a los países en desarrollo para que adopten patrones de consumo sostenibles de aquí a 2030 [55].

A pesar de los avances, una gran parte de la población mundial todavía no puede satisfacer sus necesidades básicas. Por tanto, la prioridad es reducir a la mitad el desperdicio de alimentos por persona a nivel minorista y de consumo. Este enfoque ayudará a mejorar la eficiencia de la cadena de suministro, mejorar la seguridad alimentaria y desarrollar economías que utilicen los recursos de manera más eficiente [55].

Metas del objetivo 12

Estas metas fungen como indicadores para los objetivos que se quieren alcanzar para el año 2030, estas buscan ayudar a una producción y consumo sostenibles además de amigables con el medio ambiente [55].

- Implementar el Marco Decenal de Programas sobre Consumo y Producción Sostenibles, asegurando la participación de todas las naciones, con los países desarrollados liderando el proceso y considerando el nivel de desarrollo y las capacidades específicas de los países en desarrollo [55].
- Para 2030, asegurar la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales [55].
- Para 2030, garantizar una gestión ambientalmente responsable de los productos químicos y los desechos durante todo su ciclo de vida, en línea con los acuerdos internacionales establecidos, y disminuir de manera significativa su liberación al aire, agua y suelo para reducir los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente [55].
- Para 2030, disminuir significativamente la generación de desechos mediante

estrategias de prevención, reducción, reciclaje y reutilización [55].

- Fomentar que las empresas, especialmente las grandes corporaciones y las transnacionales, adopten prácticas sostenibles e integren datos sobre sostenibilidad en sus informes periódicos [55].
- Impulsar prácticas de compras públicas sostenibles, alineadas con las políticas y prioridades de cada país [55].
- Para 2030, garantizar que todas las personas a nivel global dispongan de la información y los conocimientos necesarios para fomentar el desarrollo sostenible y adoptar estilos de vida en equilibrio con la naturaleza [55].
- Apoyar a los países en desarrollo en el fortalecimiento de su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modelos de consumo y producción más sostenibles [55].

Objetivo 13: Acción por el clima

Ningún país en el mundo ha quedado exento de los efectos dramáticos del cambio climático. Las emisiones de gases de efecto invernadero siguen en aumento, siendo actualmente un 50 % más altas que en 1990. Además, el calentamiento global está ocasionando cambios permanentes en el sistema climático, cuyas repercusiones podrían ser irreversibles si no se adoptan medidas urgentes de inmediato [56].

Metas del objetivo 13

- Integrar medidas relacionadas con el cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales [56].
- Fortalecer la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional en relación con la mitigación del cambio climático, su adaptación, la reducción de sus impactos y los sistemas de alerta temprana [56].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General:

Diseño, y construcción de moldes para la producción de cucharas y tenedores

constituidos de materiales biodegradables locales.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Investigar materiales biodegradables disponibles adecuados para la fabricación de utensilios.
- Utilizar software de diseño asistido por computadora (CAD) y simulaciones de elementos finitos (FEA) para predecir el comportamiento del material durante la fabricación.
- Fabricar moldes para cucharas y tenedores mediante el uso de maquinaria CNC para la elaboración de los utensilios a fabricar y de esta manera verificar su funcionamiento.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Enfoque Metodológico

Este proyecto se enmarca en una investigación aplicada y experimental orientada a resolver un problema práctico mediante el diseño y construcción de moldes para utensilios biodegradables. La investigación aplicada se centra en la creación de soluciones innovadoras para la producción de utensilios sostenibles, mientras que el enfoque experimental permite probar y ajustar el diseño del molde según los resultados de pruebas funcionales.

La investigación adopta un enfoque cuantitativo y experimental, ya que se realizarán mediciones precisas de propiedades de materiales, simulaciones, pruebas de resistencia, y evaluaciones de rendimiento. Estos datos cuantitativos facilitarán la optimización del diseño y la toma de decisiones fundamentadas en la calidad y durabilidad del molde.

2.2 Investigación Bibliográfica

La recopilación de información científica y técnica sobre materiales biodegradables y métodos de fabricación conlleva una parte fundamental para la toma de decisiones sobre el diseño y la selección de materiales. La revisión se centrará en el análisis de las propiedades mecánicas, la resistencia, la durabilidad y la disponibilidad local de materiales biodegradables y de materiales para la construcción del molde. Además, se analizarán investigaciones sobre el diseño y la fabricación de moldes para asegurar la posibilidad de utilizar materiales biodegradables.

Para realizar la revisión bibliográfica sobre materiales biodegradables se utilizarán las siguientes bases de datos y fuentes de información:

- Bases de datos científicas como Scopus, Web of Science y Google Scholar para buscar estudios previos relacionados con materiales biodegradables y métodos de fabricación de moldes.
- Revistas científicas especializadas en el campo de los materiales y la fabricación.

- Informes y publicaciones de organizaciones y asociaciones relacionadas con la sostenibilidad y los materiales biodegradables.
- Patentes y artículos técnicos relacionados con el desarrollo y la aplicación de materiales biodegradables en la fabricación de moldes.

2.3 Selección de Materiales

La selección de cada material resulta importante debido a que necesitamos obtener materiales que sean acordes a la función que se le va a dar.

2.3.1 Selección de materiales biodegradables

Se investigarán y definirán criterios como resistencia mecánica, biodegradabilidad, costo, y facilidad de procesamiento para determinar los materiales biodegradables apropiados. Estos criterios permitirán seleccionar un material que cumpla con los requisitos de funcionalidad y sostenibilidad necesarios para los utensilios.

Los principales criterios a considerar para la selección del material biodegradable son:

- Disponibilidad local: Se priorizarán materiales que puedan obtenerse de fuentes locales o regionales, para reducir el impacto ambiental que el transporte genera. Además de evaluar la disposición y abastecimiento continuo del material.
- Propiedades mecánicas: El material debe tener las propiedades mecánicas acordes a lo necesario (resistencia, dureza, flexibilidad, etc.) para soportar los esfuerzos y condiciones a los que se le puede someter el uso de utensilios.
- Durabilidad: El material debe tener una vida útil adecuada para el uso previsto de los utensilios, sin perder sus propiedades de manera temprana.
- Impacto ambiental: Se elegirán materiales que posean un bajo impacto ambiental en todas las etapas de su ciclo de vida (producción, uso y disposición final).
- Seguridad para el consumo humano: El material debe ser competente para el contacto con alimentos y no representar riesgos para la salud de las personas. Se revisarán las certificaciones y normativas aplicables sobre seguridad alimentaria.

Mediante la evaluación de estos criterios, se seleccionará el material biodegradable que mejor se ajuste a los requerimientos de los utensilios a fabricar, buscando un equilibrio entre las propiedades técnicas, la sostenibilidad ambiental y la seguridad para el usuario.

2.3.2 Selección del material del molde

Se tendrán en cuenta los siguientes criterios a la hora de seleccionar un material adecuado para el molde:

- Disponibilidad local: Se dará prioridad a la selección de materiales que estén fácilmente disponibles localmente para facilitar el suministro y minimizar los costos de transporte y logística.
- Propiedades mecánicas: El material del molde debe ser lo suficientemente fuerte y rígido para soportar las fuerzas y presiones encontradas durante el proceso de elaboración de los utensilios. También debe mantener su integridad dimensional durante todo el proceso de fabricación.
- Durabilidad: El material elegido debe tener una larga vida útil para que el molde pueda usarse para producir múltiples lotes de utensilios de cocina sin deteriorarse rápidamente. Esto ayuda a reducir los costos de mantenimiento y reemplazo de moldes.
- Impacto Ambiental: Se dará preferencia a materiales que tengan un bajo impacto ambiental, ya sea por su origen renovable, reciclabilidad o biodegradabilidad. Esto ayudará a alinear el proyecto con los principios de sostenibilidad y economía circular.
- Seguro para el consumo humano: Dado que los utensilios fabricados estarán en contacto directo con los alimentos, el material del molde debe ser inofensivo y no liberar sustancias tóxicas o peligrosas durante su uso. Se verificará que cumpla con las normas y regulaciones aplicables para materiales en contacto con alimentos.

Al evaluar estos criterios, se seleccionará el material de molde más adecuado para optimizar el rendimiento, la sostenibilidad y la seguridad del proceso de fabricación de vajillas biodegradables.

2.4 Diseño del Molde

Se diseñarán modelos 3D detallados utilizando un software CAD especializado. Esto permitirá la elaboración precisa de la forma y los detalles del diseño, asegurando la funcionalidad de la forma en la producción de cucharas y tenedores biodegradables. Para el diseño del molde se considerarán ciertos parámetros como dimensiones del molde, tolerancias de fabricación, geometría interna y externa y la facilidad del desmontaje. Además de mejorar el diseño para minimizar el desgaste y maximizar la eficiencia de la producción. Para diseñar poder obtener lo requerido se llevarán a cabo los siguientes pasos:

- Modelado 3D de los utensilios

Utilizaremos las herramientas de diseño 3D para crear modelos digitales de utensilios de cocina teniendo en cuenta el tamaño, la funcionalidad y la ergonomía del diseño para que puedan usarse con facilidad y eficacia.

- Diseño de molde

Utilizaremos los modelos 3D de los utensilios de cocina para crear el diseño de los moldes que se usarán para fabricar los utensilios de cocina. Considerando los requisitos que debe de tener el molde de acuerdo al proceso que se utilizara para la elaboración de los utensilios.

2.5 Simulación por FEA

2.5.1 Simulación de Cargas y Esfuerzos

Para validar el diseño del molde, se utilizará el análisis de elementos finitos (FEA) en ANSYS. Mediante este software, se simularán las cargas, esfuerzos, y posibles deformaciones que el utensilio y el molde podría experimentar durante su uso, garantizando que el diseño resista las condiciones de trabajo a la que se encontrara sometido. Identificando las principales cargas y esfuerzos a los que estarán sometidos los utensilios durante el proceso de fabricación y estableciendo las restricciones y condiciones de contorno adecuadas para simular el comportamiento real de los moldes. Utilizando los módulos de análisis estructural de ANSYS para simular el comportamiento de los utensilios y molde bajo las cargas y esfuerzos definidos, determinando aspectos como las deformaciones, las tensiones, los factores de seguridad y la resistencia de los materiales

En caso de identificar puntos débiles o áreas susceptibles a fallos, se realizarán ajustes en el diseño para mejorar su desempeño debido a que la simulación permite realizar modificaciones antes de la fabricación, ahorrando costos y tiempo.

2.5.2 Simulación del molde

Para modelar el comportamiento del molde durante el proceso de fabricación. Se evaluará aspectos como distribución de presión, deformación y flujo de material durante el llenado del molde, esto permitirá identificar y corregir posibles problemas de diseño antes de que comience la producción física. Esto incluirá la presión de inyección del material, las fuerzas de cierre del molde, las temperaturas de trabajo, entre otros.

Las simulaciones térmicas nos ayudaran a predecir la distribución de temperaturas en los moldes durante el proceso a seleccionar, esto me permitirá identificar posibles puntos calientes o zonas de sobrecalentamiento que puedan afectar la integridad de los moldes. Se evaluará el comportamiento a fatiga de los moldes, considerando los ciclos de apertura y cierre, así como las cargas variables a las que estarán sometidos, lo cual ayudará a estimar la vida útil de los moldes y prevenir fallas prematuras. Estas simulaciones en ANSYS me permitirán validar el diseño de los moldes y predecir su comportamiento bajo las condiciones de operación, lo que ayudará a prevenir fallas durante la fabricación y mejorar la calidad de los utensilios producidos.

2.6 Fabricación de Moldes

La fabricación del molde se llevará a cabo mediante una máquina CNC, que permite trabajar con precisión y exactitud en materiales como acero o aluminio. El CNC garantiza que los detalles del molde se desarrollen conforme al diseño realizado en digital, asegurando que se cumplan las especificaciones de forma y las tolerancias.

Para ello se realizará lo siguiente:

- Calibración de la máquina CNC

Para garantizar una producción de alta precisión, la máquina CNC deberá ser calibrada

previamente. Siendo crucial para evitar errores de fabricación y asegurar que el molde final cumpla con las dimensiones necesarias para producir utensilios funcionales.

- Preparación de la máquina CNC

Verificar que la máquina CNC esté en buen estado y calibrada adecuadamente para poder instalar las herramientas de corte necesarias, como fresas, brocas y herramientas de acabado. Del mismo modo se configuran los parámetros de la máquina, como velocidades de corte, avances, profundidades de pasada, entre otros.

- Importación y preparación de los diseños

Importar los modelos 3D de los moldes diseñados al software de programación CNC verificando que las geometrías y dimensiones se hayan transferido correctamente, haciendo eso se lograra generar los códigos de mecanizado (G-code) que controlarán los movimientos de la máquina CNC.

- Proceso de fabricación

Asegurar adecuadamente los bloques de aluminio en la mesa de la máquina CNC y ejecutar los programas de mecanizado generados, siguiendo una secuencia de operaciones que incluirá: desbaste grueso para eliminar el material en exceso, mecanizado de formas y cavidades con fresas de diferentes diámetros y operaciones de acabado y pulido para lograr la superficie deseada.

- Verificación

Realizar mediciones periódicas durante el proceso de fabricación para asegurar que las dimensiones y tolerancias se mantengan dentro de los límites especificados. En caso de ser necesario ejecutar ajustes en los parámetros de la máquina CNC o en los programas de mecanizado para corregir cualquier variante.

2.7 Pruebas de Funcionamiento

Una vez elaborado el molde, se someterá a una serie de pruebas preliminares para evaluar su eficacia en la elaboración de utensilios entre ellas son las pruebas de llenado, desmoldeo y de limpieza [57]. Las pruebas incluirán la verificación que el molde sea capaz de darle la forma correcta a cucharas y tenedores y que los utensilios terminados cumplan con las especificaciones del diseño realizado.

La prueba de llenado se ejecutará llenando el molde con material biodegradable en forma líquida, solida o en polvo, apreciando que el material biodegradable se adapte completamente a la forma deseada sin dejar ningún defecto. Probando del mismo modo el proceso de desmoldeo extrayendo cuidadosamente los utensilios del molde y verificando que se desprendan fácilmente del molde sin sufrir deformaciones para poder evaluar la integridad de los utensilios. Para la prueba de durabilidad se someterá el molde a ciclos repetitivos de llenado y de desmoldeo para evaluar su resistencia y durabilidad al proceso utilizado para la fabricación de utensilios, observando la aparición de desgaste y deformaciones que se pueden producir a lo largo de los ciclos. Como último se evaluará los métodos de limpieza y mantenimiento que se pueden utilizar para eliminar eficazmente los residuos biodegradables manteniendo la integridad del molde.

Por medio del análisis de los resultados que obtengamos de dichas pruebas se identificarán oportunidades de mejora del diseño, del material y del proceso de fabricación, además de implementar ajustes en caso de ser necesario y conjuntamente con esas rectificaciones se harán de nuevo las respectivas pruebas para poder obtener un producto de buena calidad que cumplan con las especificaciones y que me permitirán garantizar que el proceso de fabricación de los utensilios biodegradables se lleve a cabo de manera eficiente y consistente.

2.8 Ajuste de Diseño

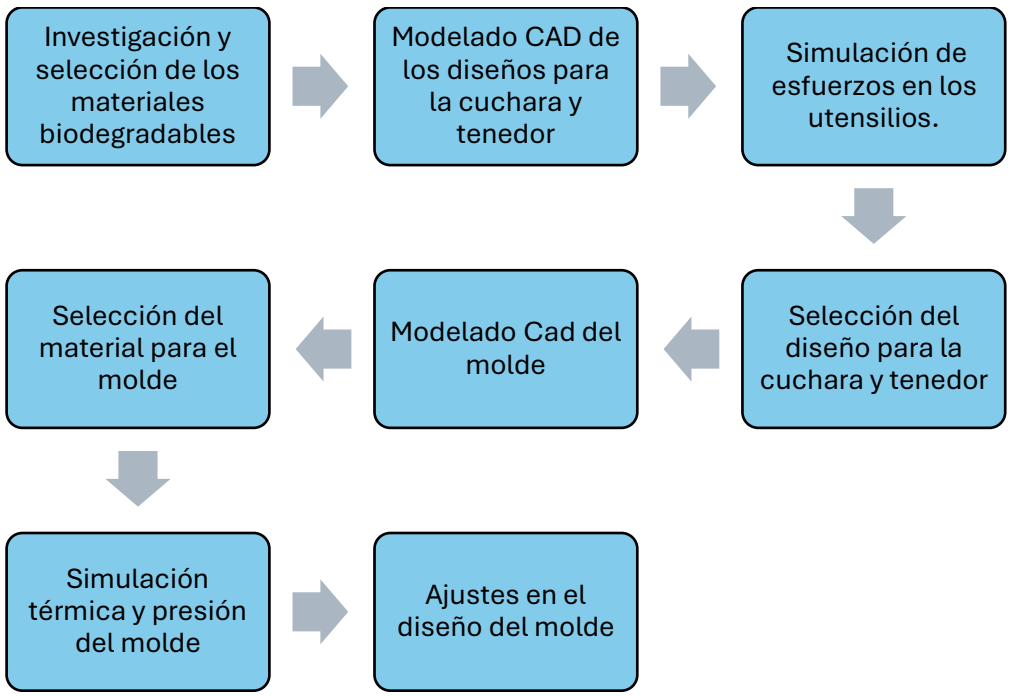
En caso de detectar problemas en la funcionalidad del molde, se realizarán ajustes de diseño, como modificar ciertos detalles de geometría o aplicar un recubrimiento adicional para mejorar la durabilidad. Estos ajustes aseguran que el molde sea funcional y cumpla con los requisitos de producción. Una vez completadas las pruebas de funcionamiento del producto y del molde, se analizará cuidadosamente los resultados obtenidos para identificar oportunidades de mejora en el diseño.

De ser necesario se revisarán las observaciones recopiladas durante las diferentes pruebas de rendimiento y se identificaran los aspectos que presentaron dichos problemas o que no cumplieron con lo requerido. Generando ideas y propuestas de modificaciones al diseño actual de los productos y se evaluara el impacto potencial de

cada propuesta de mejora en el rendimiento, la funcionalidad, la facilidad de fabricación y los costos. Utilizando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) para modelar y visualizar las propuestas de mejora en el diseño de los utensilios y del molde así mismo se llevará a cabo las simulaciones respectivas para predecir el comportamiento y el desempeño de los diseños modificados. Determinando lo anterior se procederá a la fabricación de prototipos de los diseños modificados y se realizará las pruebas respectivas y se analizará los resultados de las pruebas y se comparará el rendimiento de los diseños modificados con respecto al diseño original.

Una vez validadas las propuestas de mejora, implementare los cambios necesarios en el diseño final del producto y del molde. Este proceso iterativo de análisis, generación de propuestas, modelado, pruebas y validación permitirá optimizar de manera continua el diseño del producto y del molde, mejorando su desempeño, funcionalidad y facilidad de fabricación.

2.9 Diagrama de Procesos del Diseño



2.10 Diagrama de Procesos de Construcción



Simulación del mecanizado del molde



Preparación del material base



Configuración de parámetros y herramientas



Mecanizado CNC del molde



Control de calidad del proceso



Ensamble del molde



Pruebas funcionales del molde



Evaluación de calidad del producto obtenido



Ajustes en el molde si es necesario

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la Investigación Bibliográfica

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las investigaciones que se realizaron previamente, enfocándonos en la selección del proceso y del material tanto para la construcción de los utensilios como la del molde, considerando los materiales que sean más adecuados considerando los respectivos criterios como la sostenibilidad, la durabilidad, la disponibilidad local y la compatibilidad en el proceso de producción.

3.1.1 Selección del proceso

Para obtener un producto que logre cumplir con las especificaciones, se compararon las características principales de diferentes procesos de moldeo, se consideraron tres procesos como lo son el moldeo por inyección, termoformado y termocompresión. En la siguiente tabla se presenta una comparación entre dichos procesos (TABLA V).

TABLA V

CARACTERÍSTICAS DE PROCESO DE MOLDEO POR INYECCIÓN, TERMOFORMADO Y TERMOCOMPRESIÓN [58] [59] [44]

VARIABLES	PROCESO		
	Inyección	**Termoformado**	**Termocompresión**
Espesor	Constante	Variable	Variable
Ángulos de salida del molde	0.5º - 1º	3º - 5º	1º - 3º
Temperatura del molde	200°C a 240°C	160ºC a 180ºC	- Para materiales termoestables 150°C a 200°C - Para materiales termoplásticos de 30°C a 60°C

VARIABLES	PROCESO		
	Inyección	**Termoformado**	**Termocompresión**
Tolerancia dimensional	Excelente (+/- 0.05 mm a +/- 0.2)	Relativamente buena, no para piezas de precisión (+/- 0.5 mm a +/- 1.0 mm)	Relativamente buena, no para piezas de precisión (+/- 0.2 mm a +/- 0.5 mm)
Acabado superficial	Superficies lisas y de diferentes texturas	Superficies lisas y de diferentes texturas no muy profundas	Superficies lisas y de diferentes texturas no muy profundas
Producción	Alta producción de cientos o miles de piezas al día	Media producción de cientos de piezas al día	Media producción de cientos de piezas al día
Molde	De acero con aleaciones, de alto costo y diseño complejo	Variedad de materiales, costos relativamente bajos y diseño sencillo	Variedad de materiales, costos relativamente bajos y diseño sencillo
Radios	Redondeo de aristas de aproximadamente 1.5 del espesor del material	Redondeo de radios relativamente más grandes	Redondeo de radios relativamente más grandes
Tratamientos o acabados posteriores	Se puede aplicar cualquier tratamiento o acabado	Se puede aplicar cualquier tratamiento o acabado	Se puede aplicar cualquier tratamiento o acabado

Con las características fundamentales de cada proceso se evaluarán algunos parámetros que consideramos fundamentales para poder seleccionar el proceso

adecuado para la elaboración de los utensilios de igual manera como los diferentes requerimientos que el molde necesitara dependiendo del proceso que sea seleccionado (TABLA VI).

TABLA VI

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CADA PROCESO [44]

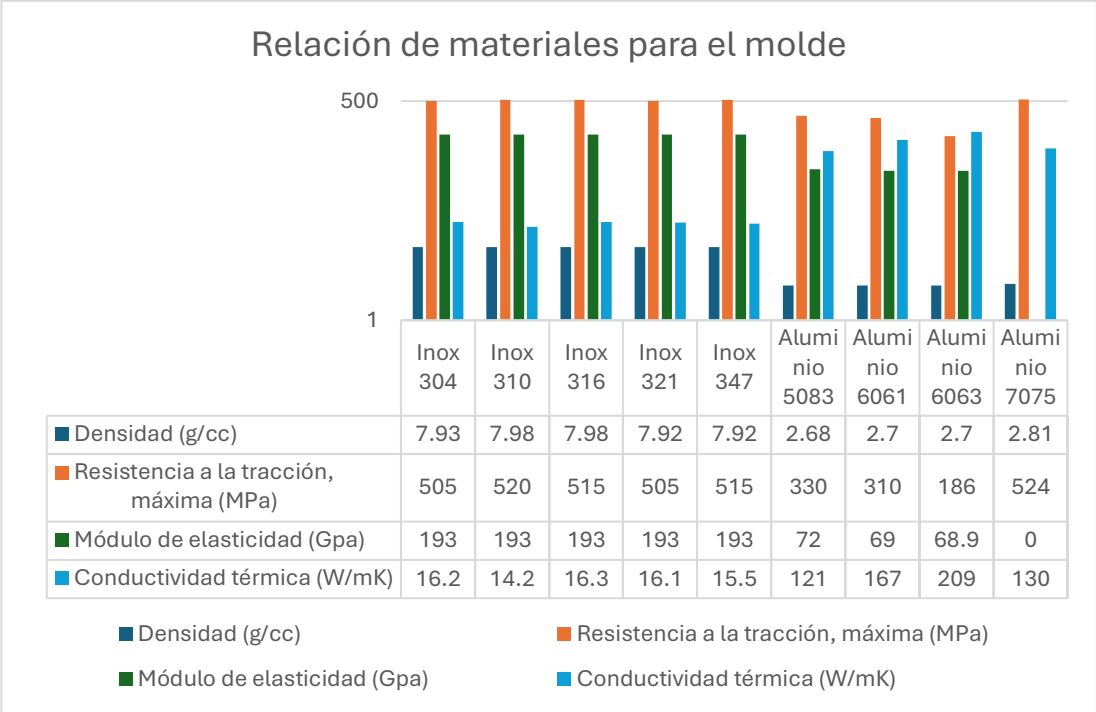
Parámetro	Termoformado	Inyección	Termocompresión
Costo de implementación inicial	Medio ($10,000 - $50,000)	Alto ($50,000 - $500,000)	Bajo ($5,000 - $20,000)
Compatibilidad con materiales biodegradables	Cumple	Cumple	Cumple
Versatilidad de diseño	Media	Alta	Media
Consumo energético	Medio (1.5 - 3 kWh/kg)	Alto (3 - 6 kWh/kg)	Bajo (0.5 - 2 kWh/kg)
Precisión en detalles	Media (+/- 0.05 mm a +/- 0.2)	Alta (+/- 0.5 mm a +/- 1.0 mm)	Media (+/- 0.2 mm a +/- 0.5 mm)
Velocidad de producción	Alta (600 - 3,000 piezas/h)	Alta (1,000 - 5,000 piezas/h)	Media (100 - 500 piezas/h)
Requerimientos de maquinaria compleja	Sí	Sí	No
Costos operativos	Medio ($0.10 - $0.50/kg)	Alto ($0.30 - $1.00/kg)	Bajo ($0.05 - $0.30/kg)
Durabilidad de los moldes antes del desgaste	Media (100,000 - 300,000 ciclos)	Alta (500,000 - 2,000,000 ciclos)	Alta (300,000 - 1,000,000 ciclos)

Con la TABLA V y VI se pudo seleccionar el proceso de fabricación para la elaboración de los utensilios biodegradables, el proceso selecto fue el de moldeo por termocompresión, una técnica que es eficiente y adecuada para trabajar con materiales biodegradables. También se tomó en consideración que la universidad cuenta con una máquina de termocompresión lo que nos permite utilizar los recursos que existentes.

Además, el proceso opera en rangos de temperaturas ajustables que se pueden adaptar dependiendo del material y nos permite un mejor manejo de materiales sensibles al calor, de igual forma fue elegido por su simplicidad y versatilidad, ya que no requiere de maquinaria compleja como los demás moldeos. Adicionalmente, este proceso permite obtener superficies lisas y acabados aceptables, cumpliendo con los estándares de calidad necesarios para utensilios biodegradables y finalmente desde una perspectiva de sostenibilidad, la termocompresión produce menos residuos que la inyección porque no requiere canales o coladas complejas. Esto ayuda a optimizar los recursos y reducir el impacto ambiental, en línea con el enfoque del proyecto en la sostenibilidad. Por todo ello, la termocompresión no sólo fue la opción más viable dados los recursos actuales, sino que también nos permitió alcanzar los objetivos de diseño, funcionalidad y sostenibilidad establecidos en el proyecto.

3.1.2 Selección del material del molde

Con la ayuda de la Tabla I y Tabla II se determinó que es el material más adecuado para procesos de termocompresión, ya que soporta las condiciones de temperatura y de presión requeridas durante la fabricación de utensilios biodegradables, adicionalmente es una aleación de alta resistencia utilizada en diferentes aplicaciones industriales debido a su combinación de ligereza, durabilidad y propiedades excepcionales. Desarrollando una relación entre dichos materiales para evaluar cuál de los materiales es el más apropiada guiándonos de propiedades que se consideran de mayor como son la densidad para reducir el peso que puede tener el elemento, resistencia a la tracción máxima que evita fracturas durante su uso, el módulo de elasticidad nos ayuda a mantener la forma bajo cargas y la conductividad térmica.
En la siguiente figura se puede observar una comparación entre las propiedades de los diferentes materiales escogidos como opción para el molde (Fig. 15).



	Inox 304	Inox 310	Inox 316	Inox 321	Inox 347	Aluminio 5083	Aluminio 6061	Aluminio 6063	Aluminio 7075
Densidad (g/cc)	7.93	7.98	7.98	7.92	7.92	2.68	2.7	2.7	2.81
Resistencia a la tracción, máxima (MPa)	505	520	515	505	515	330	310	186	524
Módulo de elasticidad (Gpa)	193	193	193	193	193	72	69	68.9	0
Conductividad térmica (W/mK)	16.2	14.2	16.3	16.1	15.5	121	167	209	130

Fig 15. Relación de los materiales para el molde.

En comparación con otras opciones como el acero o el aluminio serie 6000, el aluminio 7075 presenta una mejor relación resistencia-peso, asegurando una larga vida útil del molde con un mantenimiento adecuado. Su selección responde a la necesidad de un material que combine eficiencia y confiabilidad en el proyecto que busca equilibrar sustentabilidad y desempeño técnico, considerando que este molde al ser un prototipo se utilizará dicho aluminio, recomendando utilizar los aceros inoxidables austeníticos, siendo el más recomendable el Acero Inoxidable 316 debido a sus diferentes propiedades tanto como resistencia, conductividad además de su cumplimiento de las normas alimentarias, lo cual lo hacen la mejor opción.

3.2 Materiales poliméricos

Una de las características clave para la selección de los polímeros se basa en las propiedades mecánicas que cada uno presenta, debido a que es un factor fundamental para determinar la capacidad de un material para poder soportar cargas, deformaciones y fractura, con ello buscamos comprender el comportamiento y como se van a desempeñar a las distintas aplicaciones y ambientes a los que se les va a exponer. De los materiales previstos anteriormente nos quedamos con cinco que resaltan por sus

buenas propiedades además de poder satisfacer el propósito que se le va a dar, sabiendo esto se realizó una tabla comparativa entre estos materiales para compararlos y ver si todos llegan a soportar las cargas que tienen los utensilios (TABLA VII).

TABLA VII

COMPARATIVA ENTRE BIOPLÁSTICOS [60] [61] [62]

Propiedades	**Bioplástico de maíz**	**Bioplástico de Maracuyá**	**Bioplástico de Yuca**	**Bioplástico de Arveja**	**Bioplástico de Trigo**
Densidad (g/cc)	0.82	1.2 – 1.3	1.3 – 1.35	1.2 - 1.3	0.84
Espesor (mm)	0.83	1.9	0.5 – 1	0.5 – 1	0.7 – 1.2
Costo de plancha ($\$/m^2$)	4 - 5	5 – 7	4 - 6	4 – 6	4 – 6
Tasa de combustión (mm/min)	118.43			110	115
Degradación en compostaje	< 75 días	< 46 días		< 62días	< 58 días
Degradación en agua	< 75 días	< 46 días		< 62días	< 58 días
Resistencia a la tracción (MPa)	23.96	30.34	20	20	16.55
Resistencia a la fluencia por tracción (MPa)	21.9	15 – 20	10 - 15	12 – 16	9.6
Módulo de Young (MPa)	337	100 - 300	200 - 500	500 – 800	797.3
Ratio de Poisson	0.2	0.3 - 0.35	0.3 - 0.4	0.25 – 0.35	0.2

Propiedades	Bioplástico de maíz	Bioplástico de Maracuyá	Bioplástico de Yuca	Bioplástico de Arveja	Bioplástico de Trigo
Porcentaje de elongación (%)	1.96	9		6 – 12	8 – 14
Dureza shore	73.85		60-70	60 - 70	65 - 75
Resistencia Térmica (°C)	60 - 70	70 – 80	60 -90	70 - 90	70 - 85
Resistencia a la tensión (MPa)			6.31	5 – 7	5 – 6
Esfuerzo a la fractura (MPa)			6.27	5 – 7	5 – 6

Para determinar si los materiales son adecuados para el consumo humano y satisfacen la función como un tenedor y cuchara es necesario evaluar una serie de factores clave en las que se encuentran las propiedades físicas, como la resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia por tracción, módulo de Young, la resistencia térmica y la densidad, que son fundamentales para garantizar la funcionabilidad de los utensilios a elaborar. De igual manera es crucial considerar el impacto ambiental desde el uso de los recursos naturales hasta su descomposición para que no generen un mayor daño al ecosistema. Finalmente, la seguridad para el consumo humano en el que el material debe estar completamente seguro al entrar en contacto con los alimentos sin liberar sustancias tóxicas.

3.2.1 Propiedades mecánicas

Para poder evaluar la viabilidad del material no sólo en términos de su funcionabilidad, sino de la misma manera de su desempeño en condiciones prácticas de uso se deben priorizar propiedades que lleguen a un equilibrio que me ayuden a aportan sostenibilidad, confort y durabilidad de la cuchara y el tenedor, de igual modo manteniendo un diseño sostenible. Las propiedades que nos ayudan a identificar que

material rendirá de la mejor manera son las que se desglosaran a continuación, realizando la comparación de los materiales a dicha propiedad tratada.

3.2.1.1 Resistencia Máxima a la tracción

Dicha propiedad determina el punto en el que el material se rompe, garantizando que no se rompan cuando se llegue a aplicar una fuerza moderada como al momento de sujetar o penetrar alimentos con ello evitamos fallos estructurales (Fig. 16).

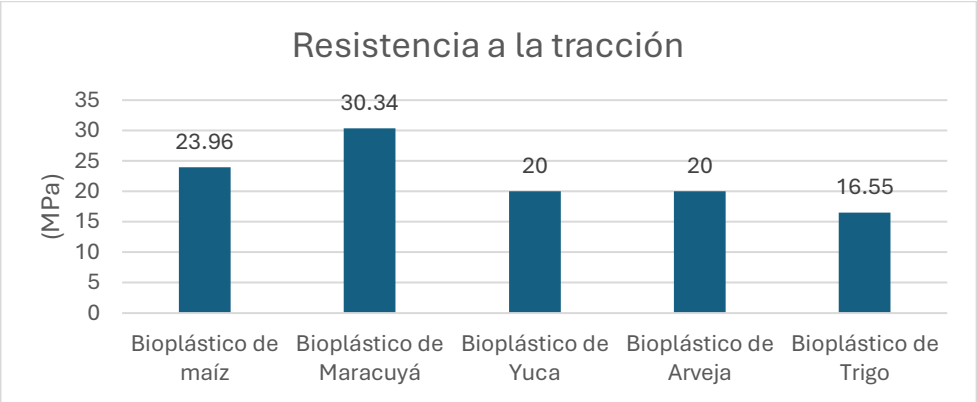


Fig 16. Comparativa de la resistencia a la tracción de los bioplásticos.

Entre los bioplásticos evaluados, el bioplástico de maracuyá destaca con una resistencia a la tracción superior a los 30 MPa, lo que lo hace altamente resistente en comparación con otros materiales como el bioplástico de yuca y trigo, que presentan valores entre 10 y 25 MPa. Esta diferencia indica que el bioplástico de maracuyá es más adecuado si se requiere mayor durabilidad y resistencia mecánica. Sin embargo, algunos bioplásticos, como el de arveja y trigo, también presentan valores aceptables, por lo que pueden ser opciones viables dependiendo de la aplicación específica.

3.2.1.2 Resistencia a la fluencia por tracción

Esta propiedad indica la capacidad del material para resistir la deformación plástica bajo una carga constante. Una buena resistencia a la fluencia nos garantiza que los utensilios se mantengan en su forma original durante su vida útil ya que van a estar expuestos a fuerzas continuas cuando se manipulen alimentos pesados o calientes. En la Fig 17 se exponen la relación de los materiales con respecto a esta propiedad física.

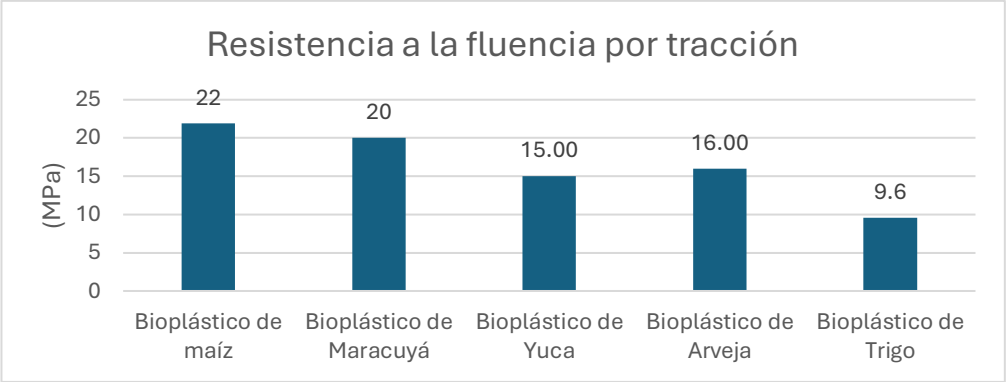


Fig 17. Comparativa de la resistencia a la fluencia por tracción de los bioplásticos.

Materiales como el bioplástico de maíz y el de maracuyá muestran una mejor resistencia en este aspecto, con valores relativamente altos en comparación con el bioplástico de trigo y yuca, que tienden a deformarse más rápidamente bajo esfuerzo continuo. Un bioplástico con baja resistencia a la fluencia podría perder su forma después de varias aplicaciones, comprometiendo su funcionalidad.

3.2.1.3 Módulo de Young

Nos permite medir la rigidez del material, lo cual es importante para saber cómo se deforma bajo una carga. En el caso de las cucharas y tenedores elegir un material con un adecuado valor nos garantiza que no se doblen fácilmente cuando se ejerce cargas durante el uso, considerando que si el material es demasiado flexible ocasionara incomodidad al usuario por otra parte si es más rígido se verá propensa a fracturarse. Por tal razón en la Fig 18 se presenta una relación para encontrar un buen equilibrio del material para así asegurar su funcionabilidad y la durabilidad del material.

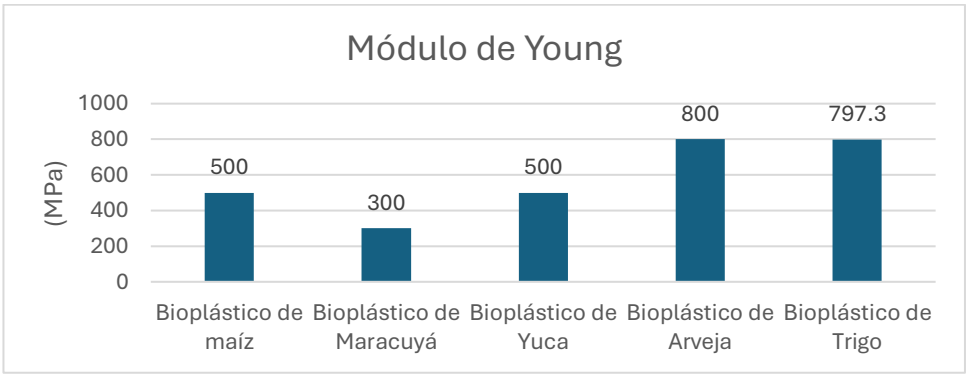


Fig 18. Comparativa del módulo de Young de los bioplásticos.

En esta relación, el bioplástico de arveja y trigo sobresale con valores de 800 MPa, lo que indica que es un material estructuralmente fuerte y adecuado para utensilios reutilizables o de mayor exigencia mecánica. En contraste, los otros bioplásticos tienen módulos de Young mucho menores, en el rango de 300 a 500 MPa, lo que sugiere una menor rigidez y mayor flexibilidad.

3.2.1.4 Resistencia térmica

Es una propiedad critica para utensilios que están en contacto con alimentos calientes. El material debe soportar temperaturas moderadamente altas sin perder sus propiedades mecánicas o sufrir degradación, ya que su baja resistencia térmica puede ocasionar deformaciones al exponerse con líquidos o alimentos calientes afectando el desempeño de los utensilios (Fig.19).

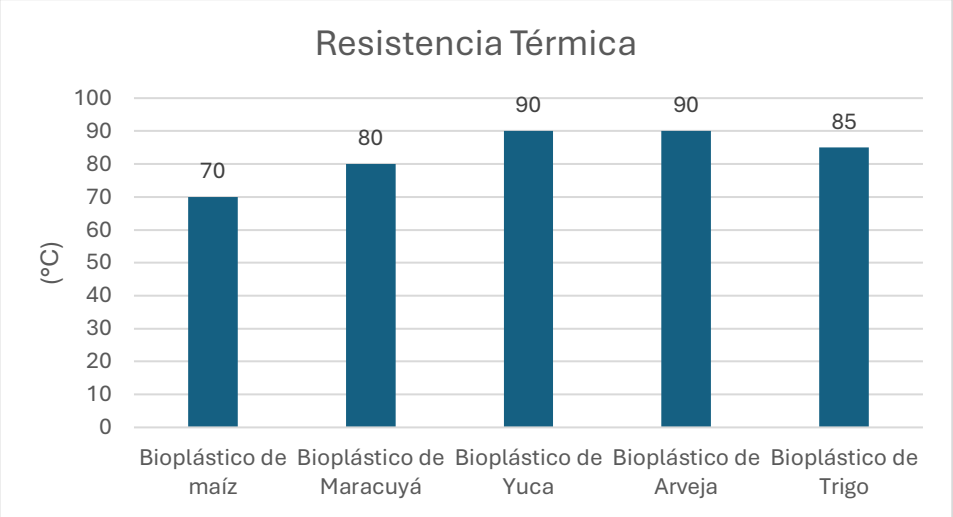


Fig 19. Comparativa de la resistencia térmica de los bioplásticos.

En este aspecto, el bioplástico de yuca y el de arveja presentan una resistencia térmica relativamente alta, con temperaturas de hasta 90°C, lo que los hace adecuados para el contacto con líquidos y alimentos calientes sin deformarse significativamente. Por otro lado, el bioplástico de maíz tiene una resistencia térmica más baja, en torno a los 70°C, lo que podría limitar su uso en aplicaciones donde se requiera resistencia a temperaturas más elevadas. Los bioplásticos de maracuyá y trigo, aunque tienen una resistencia térmica moderada, pueden presentar ablandamiento a temperaturas superiores a 80°C y 85° C respectivamente.

3.2.1.5 Densidad

La densidad actúa directamente en el peso del utensilio, una densidad adecuada asegura que sea ligero para su cómodo manejo, pero sin sacrificar su resistencia, además de que al ser más liviano puede disminuir los costos del material en la fabricación de las cucharas y tenedores. Por ende, resulta fundamental realizar una comparación que se llega a observar en la siguiente figura (Fig.20).

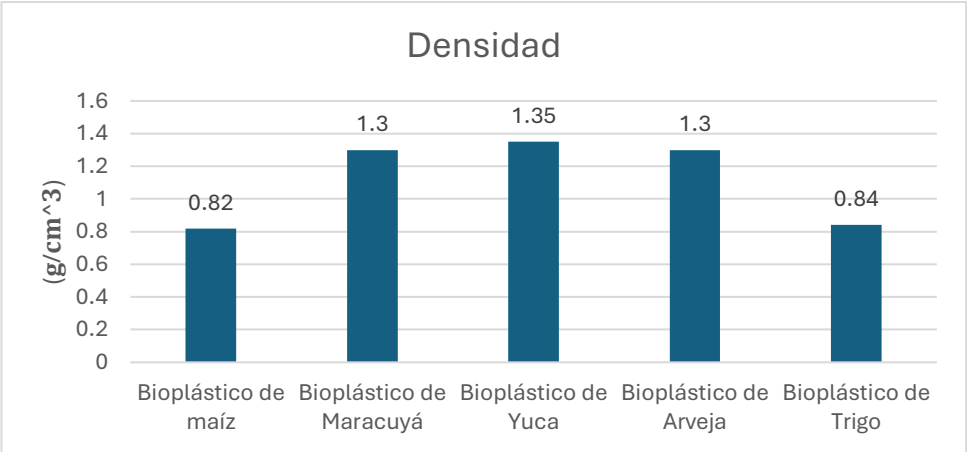


Fig 20. Comparativa de la densidad de los bioplásticos.

Materiales con densidades más bajas, como el bioplástico de trigo y maíz, pueden resultar en productos más livianos y con menor consumo de material. Mientras que los otros bioplásticos presentan densidades en el rango de 1.3-1.4 g/cc, lo que los hace lo suficientemente densos para proporcionar estabilidad y resistencia sin comprometer la ligereza del utensilio. En contraste, bioplásticos más livianos pueden tener ventajas en el ahorro de material, pero podrían requerir mayor espesor para alcanzar una resistencia similar con los otros.

3.2.2 Impacto ambiental

Los bioplásticos fabricados a partir de almidón de maíz tienen efectos relativamente menores en el medio ambiente en comparación con el plástico normal. Su mayor avance es su capacidad de descomponerse en condiciones de compostaje, lo que conduce a una reducción en la acumulación final de residuos plásticos en vertederos, así como en el océano. Dado que el cultivo de maíz depende principalmente de recursos naturales como el agua, la tierra y la energía, que pueden deteriorar la condición ambiental si no se utilizan de forma sostenible. En este sentido, los

bioplásticos de maíz son mucho más ecológicos que los plásticos a base de petróleo si los aspectos ecológicos también son respetuosos y ecológicamente sólidos.

Al igual que el bioplástico de maíz, el bioplástico de trigo es biodegradable, por lo que tiene un beneficio a largo plazo en la disminución de los residuos plásticos. La producción de bioplástico de trigo afecta al medio ambiente porque el trigo, la materia prima del bioplástico, es un cultivo que crece en tierras agrícolas, lo que ejerce presión sobre los recursos naturales. Si no se controla, incluso el cultivo del trigo común implica la aplicación de fertilizantes químicos y pesticidas, lo que supone el riesgo de degradación de la calidad del suelo y el agua. Estas grandes parcelas de monocultivo de trigo reducen la biodiversidad y gradualmente dejarán el suelo sin nutrientes. Si bien todo esto puede ser cierto, la degradación en condiciones de compostaje coloca a los bioplásticos de trigo muy por delante de sus competidores tradicionales, especialmente si se cultivan de manera sostenible.

El bioplástico de maracuyá es sin duda respetuoso con el medio ambiente, ya que implica el uso de desechos de la fruta, lo que reduce los niveles de desechos orgánicos que conducen a la noción de economía circular. Debido a que es biodegradable, el bioplástico de maracuyá puede reducir el nivel de plástico acumulado en un medio ambiente. Estos insumos agrícolas, necesarios para procesar el maracuyá en bioplásticos, pueden afectar el uso de la tierra y el agua, al tiempo que dan lugar a otras preocupaciones ecológicas. El uso de maracuyá como materia prima para la síntesis de bioplásticos podría reducir la carga ambiental en comparación con otras materias primas, ya que se trata de una fruta ampliamente cultivada en Ecuador y muchas otras partes de América Latina.

El cultivo de tubérculos de yuca ha tenido un impacto ambiental general bajo debido a su capacidad de crecimiento en climas variados sin grandes cantidades de fertilizantes y pesticidas. Básicamente, la yuca es un cultivo muy resistente. De todas las regiones tropicales, su cultivo para bioplásticos en Ecuador sería muy apropiado. La capacidad de degradación resulta bastante beneficiosa desde el punto de vista de la reducción de desechos porque entonces el residuo no contribuye a la tan famosa persistencia o, digamos, a la basura plástica en este entorno. Sin embargo, como ocurre

con cualquier otro cultivo, la producción a gran escala de yuca puede afectar el uso de la tierra agrícola y el consumo de recursos naturales. También existe el peligro de que la expansión del cultivo de yuca, como la de cualquier otro cultivo, pueda provocar impactos negativos en la biodiversidad local si no se gestiona adecuadamente. La conclusión es que el uso de bioplásticos de yuca en una práctica agrícola responsable es ecológicamente sano.

El bioplástico de arveja se puede sintetizar como una fuente alternativa de materiales biodegradables y respetuosos con el medio ambiente utilizando subproductos de cultivos. Como cultivo secundario de leguminosas, los guisantes también tienen inmensos méritos medioambientales, ya que favorecen la fijación del nitrógeno en el suelo y, por tanto, reducen la aplicación de fertilizantes químicos, además de mejorar las características del suelo. Esto permite que el proceso de producción de bioplásticos de guisantes cause menos contaminación, especialmente en los sistemas de suelo y agua. Además, las propiedades biodegradables garantizan que el bioplástico de guisantes se degrade sin dejar residuos tóxicos, lo que reduce la contaminación. En conjunto, el bioplástico de guisantes influye de forma optimista.

3.2.3 Seguridad para el consumo humano

Entre ellos, el plástico de maíz es un material muy adecuado y preferido por su fácil acceso y sus características amigables. Para garantizar la seguridad humana, es muy recomendable que el maíz utilizado esté libre de cualquier residuo de pesticidas, así como de otros productos químicos utilizados durante su cultivo. La conversión de plástico de almidón en bioplásticos también exige que los aditivos cumplan con las regulaciones de materiales en contacto con alimentos y tengan el menor potencial de liberar sustancias peligrosas. Evidentemente, se necesitan pruebas de migración para los bioplásticos para garantizar que el proceso de implementación no pase sustancias peligrosas a los alimentos. El plástico de maíz básicamente se incluye en la etiqueta de ecológico, ya que se degrada en condiciones fijas sin dejar residuos venenosos. Los medios de seguridad alimentaria deben considerarse adecuadamente.

Otros ejemplos de bioplásticos incluyen el trigo, a menudo derivado de la base de almidón del material y fabricado a partir de residuos de cultivos de trigo. El perfil de

seguridad es algo similar al del bioplástico de maíz; sin embargo, es obligatorio garantizar que el trigo en sí esté libre de contaminantes. Los fungicidas y pesticidas se aplican comúnmente al trigo durante el crecimiento y, si no se controlan, estos productos químicos tóxicos pueden entrar en contacto con alimentos o piensos. Por lo tanto, la migración de sus componentes a los alimentos debe probarse con precaución para confirmar que no se libera ninguna sustancia química peligrosa. Aparte de esto, los bioplásticos de trigo son muy ecológicos siempre que se produzcan y utilicen correctamente, ya que este material es altamente biodegradable.

El bioplástico de maracuyá se prepara utilizando el material de desecho de la fruta, que parece un material interesante y ecológico. Una primera condición para la seguridad es verificar que el desecho de maracuyá no contenga ningún tipo de sustancia química tóxica peligrosa o contaminantes de la agricultura química como pesticidas, metales pesados, etc. En segundo lugar, dado que es un material bioplástico a base de fruta, es esencialmente importante investigar la idoneidad de sus materiales de incorporación para los materiales alimentarios. Para estos bioplásticos, es necesario introducir pruebas de migración para que los alimentos no migren de ellos a materiales tóxicos indeseables. Dado que este bioplástico es respetuoso con el medio ambiente, su aplicación en el campo tiene que ser segura durante su proceso de fabricación en lo que respecta a su degradación, donde no debe proporcionar compuestos tóxicos.

El almidón de yuca también es de excelente calidad, por lo que se puede utilizar en la formulación de bioplásticos. La inocuidad alimentaria del plástico de yuca se puede garantizar si se asegura que la plantación de yuca no esté contaminada y que el proceso de conversión del almidón se lleve a cabo en condiciones sanitarias y controladas. Dados los grandes volúmenes cultivados en Ecuador y otras regiones tropicales, la disponibilidad de tales cantidades de materia prima de calidad es comparativamente sencilla. Como es hidrófila, también se debe controlar la migración de compuestos peligrosos. Además, la yuca en sí es biodegradable y respetuosa con el medio ambiente. Sin embargo, el inconveniente es que se debe tener la misma precaución para asegurarse de que no se generen compuestos tóxicos durante su degradación que con otros bioplásticos.

En comparación con el plástico sintético, el bioplástico de arveja se parece a otros bioplásticos a base de almidón en que son materiales respetuosos con el medio ambiente y se producen a partir de residuos de cultivos. La seguridad alimentaria de los bioplásticos de guisante está relacionada con las operaciones agrícolas y de producción que deben realizarse para evitar que los productos químicos tóxicos migren a los alimentos. En cuanto a la migración de componentes del material bioplástico al producto alimenticio, también debe implementarse minuciosamente como bioplástico, para evitar que libere material tóxico. Sin embargo, por otro lado, también sugiere que los guisantes son cultivos templados con estaciones definidas durante la cosecha, por lo tanto, su disponibilidad también depende estacionalmente de la futura producción de bioplástico de arveja. En cuanto a su degradabilidad, se requieren precauciones para que la degradación no resulte en algún tipo de problema o la posible formación de productos tóxicos por el proceso de biodegradación.

3.2.4 Análisis investigativo

Desde el punto de vista material, el bioplástico de maíz sería el más apropiado porque, como se ha descrito, presenta un equilibrio entre resistencia, flexibilidad y rigidez. Este equilibrio perfecto es ideal para la producción de utensilios desechables que normalmente se espera que sean fuertes, a la vez que rígidos. El bioplástico de maracuyá también exhibe propiedades mecánicas apropiadas, aunque más desde el punto de vista está bastante equilibrado entre resistencia y rigidez; sería más adecuado para utensilios desechables. Por el contrario, los bioplásticos de arveja y trigo muestran baja resistencia y flexibilidad y estas características son más adecuadas para productos más simples y menos exigentes.

Desde el punto de vista ambiental, el bioplástico de maracuyá se degradó a un ritmo rápido en compost y agua. Esto demostró que es un material alternativo altamente sustentable, especialmente para aplicaciones de corta vida. Igualmente, los bioplásticos de maíz y mandioca también exhibieron un efecto de degradación positivo con la misma duración, pero más largo que el del maracuyá. Aunque el bioplástico de trigo también es biodegradable, su eficiencia de degradación es mucho menor que la de los tres anteriores, lo que puede ser un inconveniente en su impacto sobre el medio ambiente. En este sentido, el maracuyá es la más amigable.

En términos de disponibilidad local, tanto el maracuyá como el maíz tienen una gran ventaja ya que son cultivos ampliamente producidos en Ecuador, esto facilita el acceso a la materia prima necesaria y reduce el costo de producción de los utensilios. La yuca y la arveja están disponibles en algunas partes del país, pero estos dos cultivos no están tan extendidos como los dos primeros en términos de su producción. En cuanto al trigo, su disponibilidad local puede estar ahí, pero compite con ser un alimento básico. La seguridad para el consumo humano es el aspecto más esencial de la producción de utensilios biodegradables, ya que una gran mayoría de ellos entran en contacto con alimentos. Por lo tanto, prevalece la seguridad de todas las muestras evaluadas, ya que derivan de materias primas naturales. Sin embargo, los productores deben asegurarse de que las materias primas que utilizan estén libres de contaminantes o aditivos dañinos, especialmente el trigo y la yuca.

Para concluir, el bioplástico de maíz se destaca como la mejor opción debido a su equilibrio entre resistencia mecánica, rigidez y biodegradabilidad, seguido por el bioplástico de maracuyá y el de yuca, que ofrecen buenas propiedades térmicas y sostenibilidad. Por otro lado, los bioplásticos de trigo y arveja, aunque ecológicos, presentan limitaciones mecánicas que podrían afectar su funcionalidad en los utensilios, considerando todo ello los cinco materiales pueden utilizarse en la fabricación de los utensilios obteniendo diferentes propiedades.

3.3 Diseño de los utensilios

El diseño es una etapa crucial en el proyecto, ya que determina tanto la funcionalidad como la viabilidad de los utensilios y materiales seleccionados que permitan cumplir con los estándares de calidad y desempeño requerido, al tiempo que se respeten los principios ecológicos fundamentales de la biodegradabilidad, teniendo un impacto sobre el medio ambiente, la salud humana y su desarrollo en una economía circular.

En esta etapa del proyecto se utilizaron herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), que permitieron desarrollar modelos tridimensionales con alta precisión, optimizando formas y dimensiones para una fabricación eficiente. El diseño también consideró aspectos ergonómicos, como el tamaño y la forma de los utensilios, para adaptarse a las necesidades del usuario final, tomando como base diseños de

cucharas y tenedores existentes con el propósito de tomar un punto base.

3.3.1 Diseño de la cuchara

El diseño de la cuchara se centró en lograr un equilibrio entre estética, funcionalidad y resistencia mecánica. En la elaboración de la cuchara se tuvieron en cuenta diversas variables, como son la forma y el tamaño de la copa o cuenco y el cuello de la cuchara, de la misma forma se consideró el peso de esta, con el objetivo de que pueda ser ligero y a la vez soportar cargas a las que va a ser sometida, con esas consideraciones se optaron por la realización de tres posibles diseños para poder identificar cual es el más apropiado.

Opción de diseño 1

El diseño muestra una construcción resistente con un refuerzo sutil en los costados del mango que resulta ser efectivo para proporcionar rigidez además que contribuye a la durabilidad de esta sin necesitar de aumentar excesivamente el espesor de la cuchara, así evitando que la cuchara se doble cuando se llega a aplicar fuerzas durante el uso, especialmente cuando se manipulan alimentos más densos o pesados (Fig. 21 y 22).

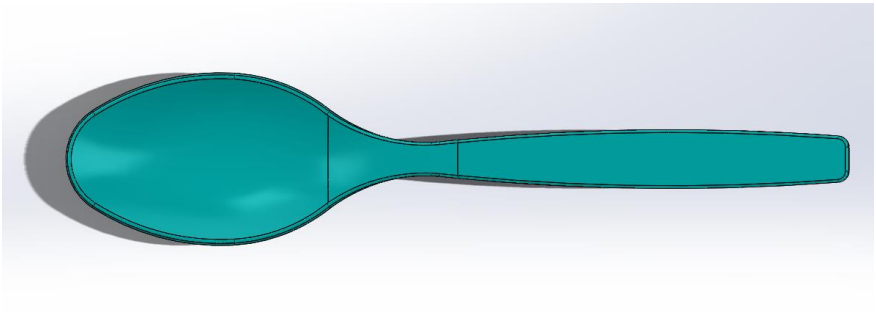


Fig 21. Diseño 1 en SolidWorks vista superior de la cuchara

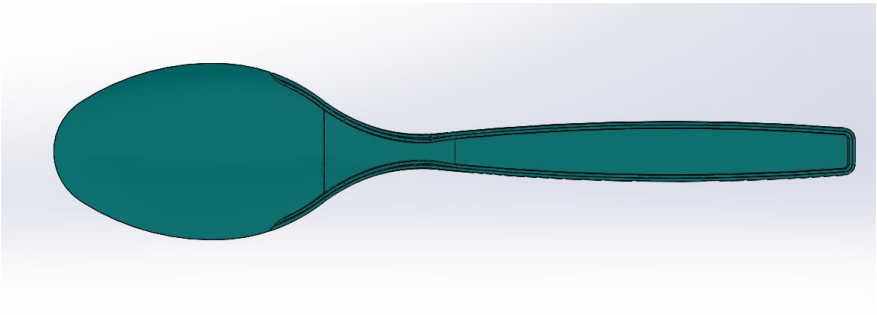


Fig 22. Diseño 1 en SolidWorks vista inferior de la cuchara

Opción de diseño 2

En este caso la estructura sigue siendo ligera y con un refuerzo mínimo en la parte del cuello de la cuchara con el objetivo de que pueda soportar mejor las cargas en dichas partes, el refuerzo menos pronunciado puede limitar su capacidad para soportar tensiones elevadas (Fig. 23 y 24).

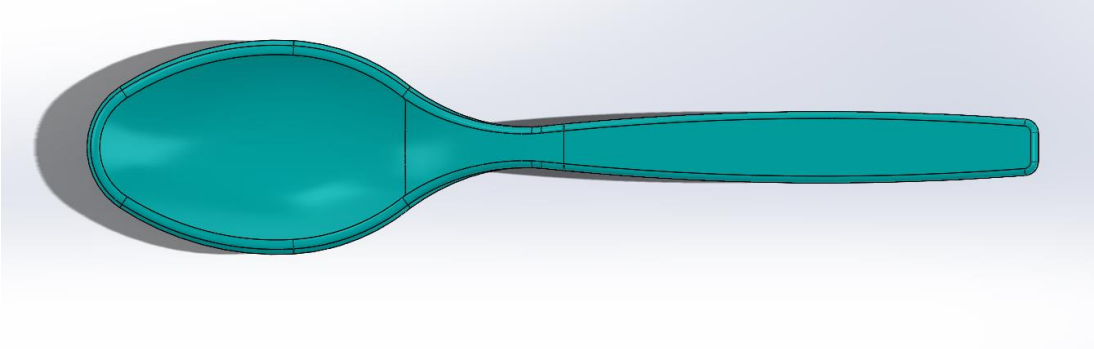


Fig 23. Diseño 2 en SolidWorks vista superior de la cuchara.

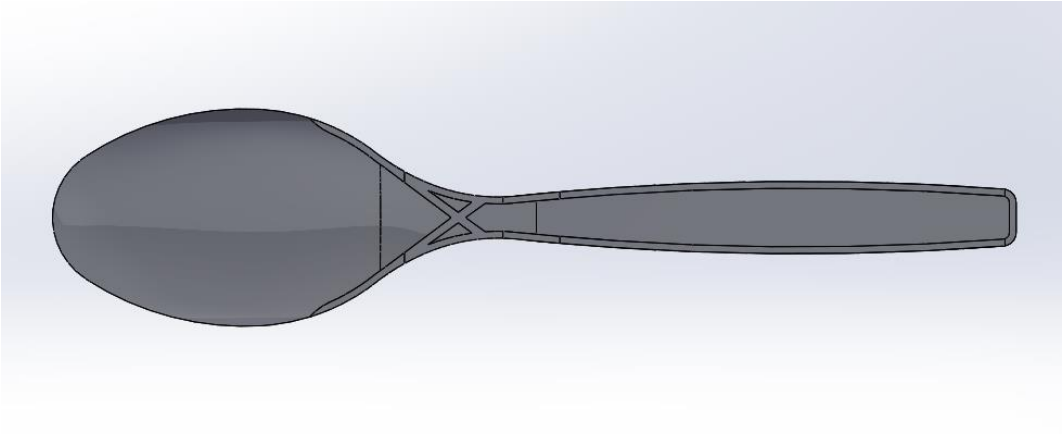


Fig 24. Diseño 2 en SolidWorks vista inferior de la cuchara.

Opción de diseño 3

Este diseño presenta una combinación equilibrada de refuerzos que van desde el mango hacia la parte inicial del cuenco o copa, Esto no solo mejora su estética, sino que también aumenta la rigidez de la cuchara. Los refuerzos están colocados estratégicamente para distribuir uniformemente las cargas al manipular los diferentes tipos de alimentos, lo que lo hace resistente, versátil y duradera (Fig. 25 y 26).

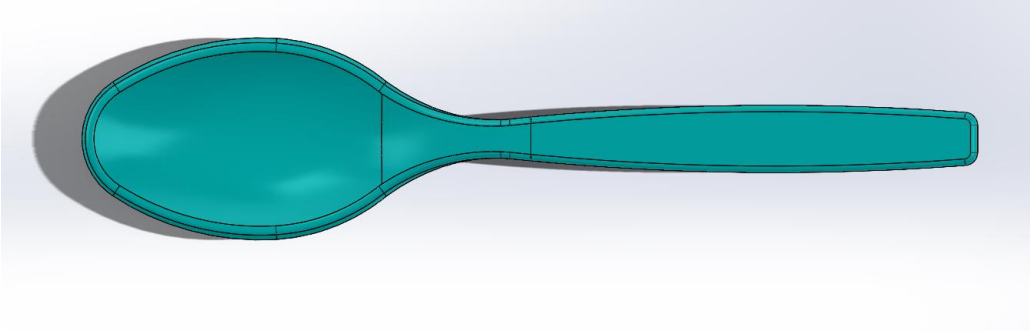


Fig 25. Diseño 3 en SolidWorks vista superior de la cuchara.

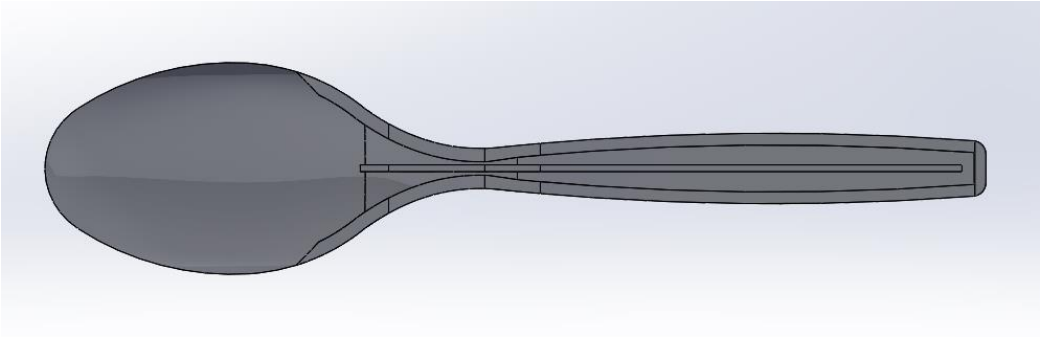


Fig 26. Diseño 3 en SolidWorks vista inferior de la cuchara.

3.3.2 Diseño del tenedor

El diseño del tenedor buscó una combinación de resistencia, flexibilidad y facilidad de uso, considerando su función principal de perforar y sujetar alimentos sólidos.

Opción de diseño 1

El diseño destaca por la presencia de refuerzos longitudinales bien definidos en el mango y en la zona de la punta, estos refuerzos proporcionan rigidez y capacidad para soportar tensiones intensas, esto lo hace ideal para perforar sólidos (Fig. 27 y 28).

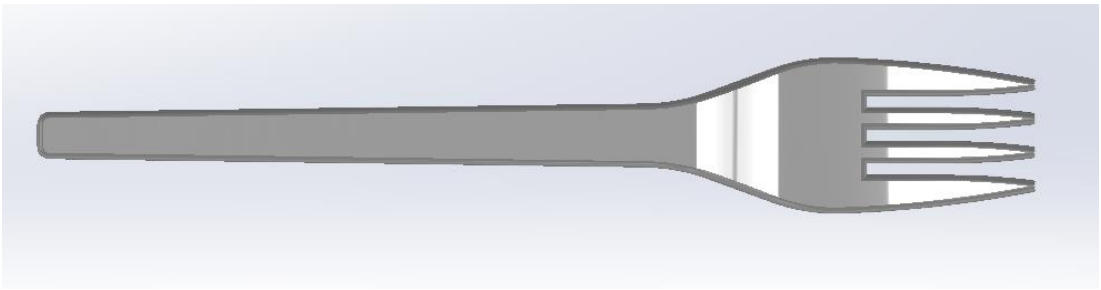


Fig 27. Diseño 1 en SolidWorks vista superior del tenedor.

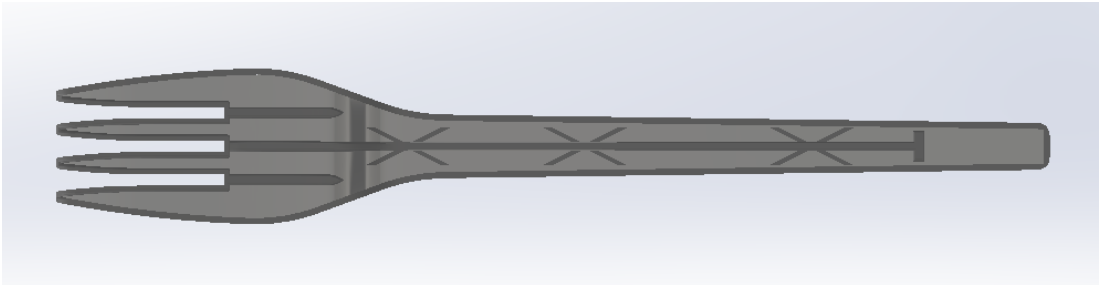


Fig 28. Diseño 1 en SolidWorks vista inferior del tenedor.

Opción de diseño 2

Este diseño contiene refuerzos más discretos en la parte trasera, enfocandonos más en la reducción del uso del material (Fig. 29 y 30).

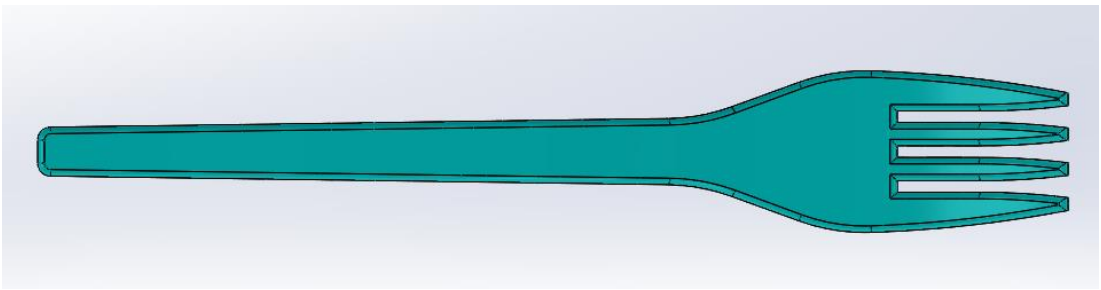


Fig 29. Diseño 2 en SolidWorks vista superior del tenedor.

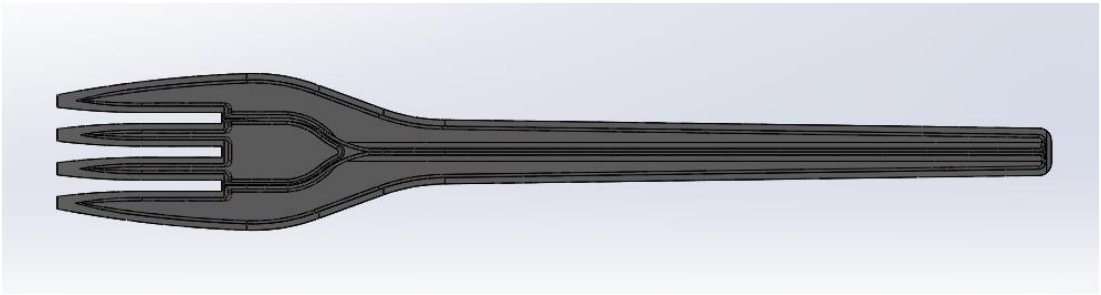


Fig 30. Diseño 2 en SolidWorks vista inferior del tenedor.

Opción de diseño 3

El tercer diseño incorpora refuerzos más amplios y curvados en la parte posterior especialmente en el mango. Esta configuración mejora significativamente la distribución de las cargas y aporta mayor rigidez sin sacrificar la estética del utensilio.

Las puntas también se benefician de este refuerzo, lo que reduce el riesgo de la deformación al perforar o manipular los alimentos haciéndolo apto para diferentes tipos de alimentos (Fig. 31 y 32).

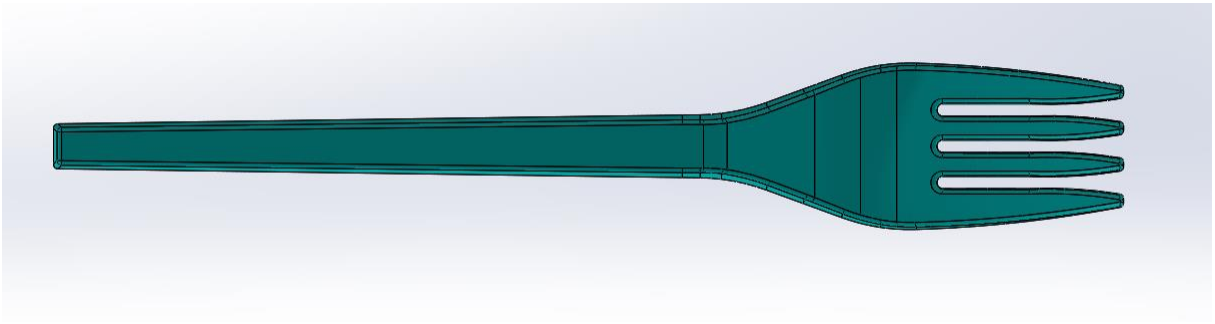


Fig 31. Diseño 3 en SolidWorks vista superior del tenedor.

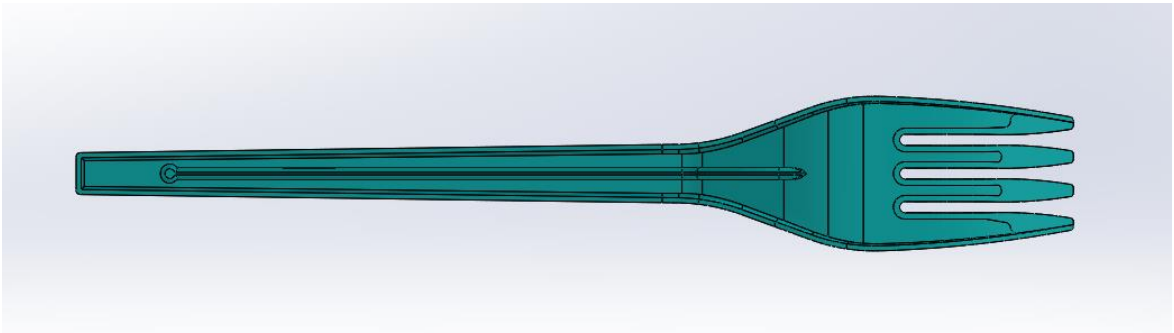


Fig 32. Diseño 3 en SolidWorks vista inferior del tenedor.

3.4 Simulaciones y Análisis de Esfuerzos en los utensilios

Se utilizaron los tres diseños de cada utensilio para poder evaluar sus características al soportar esfuerzos y deformaciones a la que se someterá en la vida útil considerando las cinco materias primas que se llegaron a consultar para evaluar el comportamiento que tienen estas con los diferentes diseños y poder evaluar cual es el apropiado.

3.4.1 Simulación y análisis en la cuchara

3.4.1.1 Aplicación de cargas

Se analizaron 6 condiciones de cargas como son dos momentos, una fuerza en el eje x, la fuerza en el eje y, velocidad de rotación y el apoyo fijo considerando las más apropiadas.

A. Momento

La carga simula las torsiones que ocurren durante el uso cotidiano que se le presta a la cuchara, estas ocurren al girar la cuchara precisamente en eventos cotidianos como cuando revolvemos líquidos como el café o la sopa, o cuando se ajusta la posición al recoger alimentos. La carga tiene un valor de 5 N.mm que genera una pequeña fuerza aplicada perpendicularmente a una palanca corta, dicha esfuerzo genera flexión y torsión en zonas críticas de la estructura (Fig. 33).

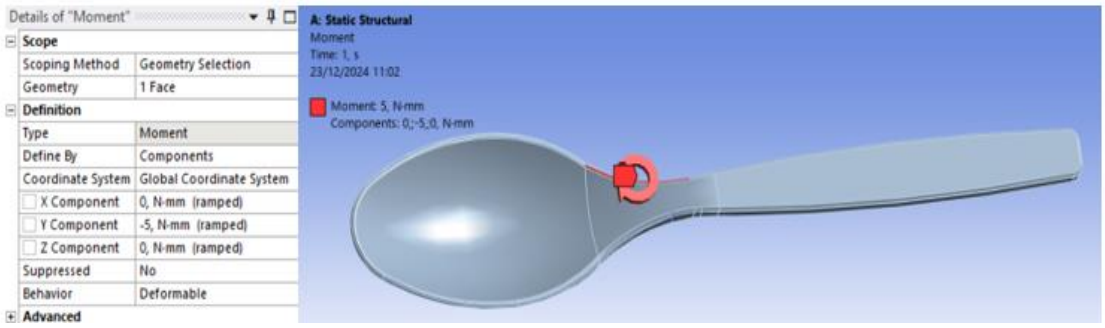


Fig 33. Atribución del momento a la cuchara

B. Fuerza en el eje X

Esta carga es aplicada para simular situaciones en las que la cuchara debe atravesar alimentos sólidos o semisólidos, en el caso de la vida real se trata casos como cortar una papa cocida, perforar una porción de helado o raspar restos adheridos a un plato. En dichas situaciones, la fuerza lateral produce esfuerzos de cizalladura y flexión que se dan especialmente en el cuenco y la unión con el mango. El valor asignado es de 10 N en términos de masa es de 1.02 kg que equivale a un peso de una papa grande y permite que tenga una resistencia al atravesar alimentos semiduros. El análisis con esta carga es crucial para determinar si el grosor del cuenco es adecuado, además de ver si esta correctamente dimensionada la unión del tazón con el mango para que pueda soportar cargas laterales a lo largo de su uso (Fig. 34).

C. Apoyo fijo

Esta aplicada en el mango que representa el punto de agarre que ejerce el usuario durante el uso mientras se aplican fuerzas y torsiones (Fig. 35).

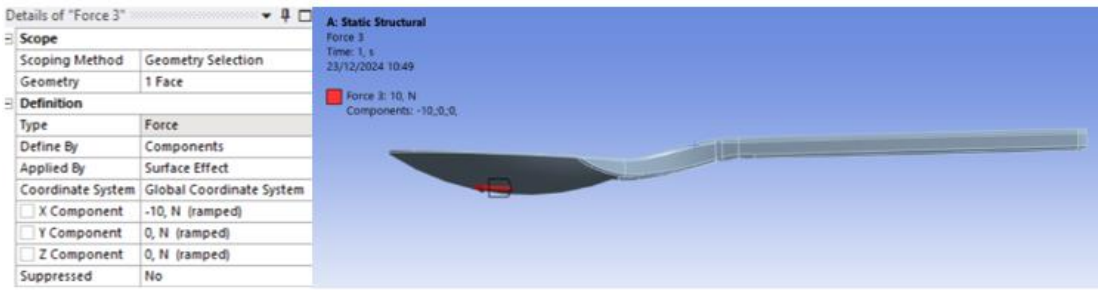


Fig 34. Asignación de la fuerza a la cuchara.

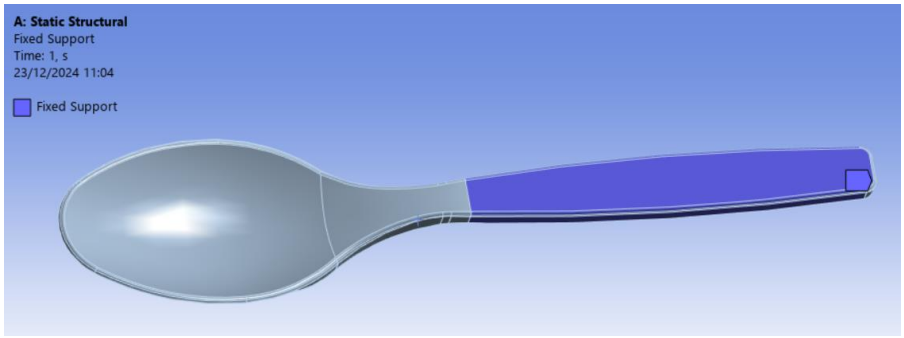


Fig 35. Atribución del apoyo fijo de la cuchara.

D. Momento

Este momento se considera igual que el momento en el punto A que simula cuando gira la cuchara para mezclar alimentos evaluando que el material no sea frágil ante cargas de torsión garantizando que la cuchara pueda resistir ese tipo de usos sin fracturarse (Fig. 36).

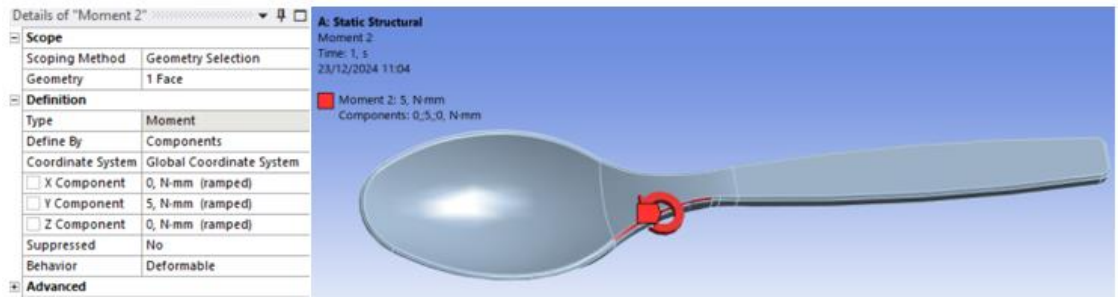


Fig 36. Adjudicación del momento en la cuchara.

E. Velocidad de rotación

Representa el giro que puede ocurrir durante el uso dinámico asegurándose que soporte ciclos repetitivos de uso sin presentar fatiga estructura (Fig. 37).

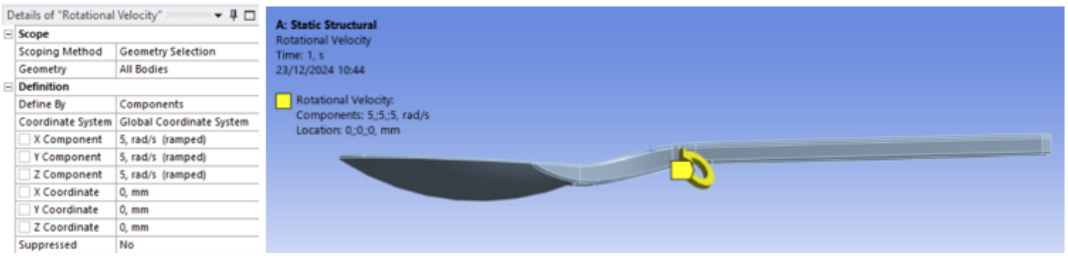


Fig 37. Asignación de la velocidad de rotación de la cuchara.

F. Fuerza Y

La carga simula el peso del alimento transportado por la cuchara. Al llevar alimentos hacia la boca, el peso ejerce una carga estática que llega a distribuirse sobre todo el cuenco y a la vez transmite esfuerzos hacia el mango, verificando que el diseño sea práctico y que no presente fallas localizadas. Esta carga conlleva un valor de 2N o 0.2 kg que corresponden a 300 gr, un peso realista para alimentos como sopas, purés o porciones de arroz o carne, etc., con ello evaluamos que el cuenco de la cuchara pueda soportar dicha carga sin deformarse excesivamente ni fracturarse en su uso (Fig. 38).

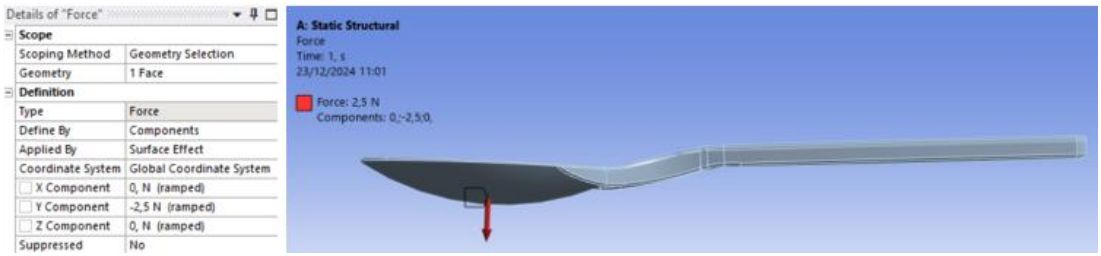


Fig 38. Atribución de la fuerza en el eje Y en la cuchara.

Las cargas fueron diseñadas para representar condiciones reales a los que se va a ver expuesta garantizando que el diseño pueda cumplir su función sin deformarse ni fracturarse en su vida útil (Fig. 39).

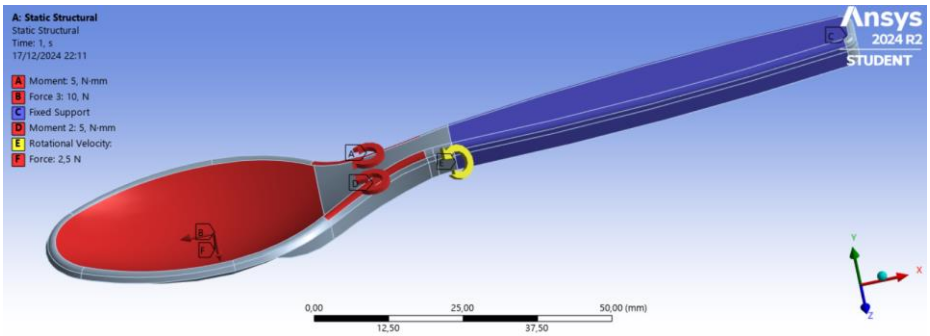


Fig 39. Distribución de las cargas en la cuchara.

3.4.1.2 Deformación total

En el análisis de la cuchara, se evaluaron las deformaciones totales para identificar las regiones de mayor desplazamiento en las condiciones de carga aplicadas. Este análisis es de importancia primordial en el estudio del desarrollo de diseños y combinaciones de materiales que limitarán las deformaciones excesivas para garantizar la retención de la forma y el rendimiento funcional de las cucharas en condiciones de uso diario.

Diseño 1

Cada material contiene diferentes propiedades que sirven para distintos usos, para este caso se le aplicaron cargas que se vio anteriormente todas esas condiciones nos permiten obtener diversos resultados dependiendo de cada material, al desarrollar las simulaciones se obtuvieron datos que se presentan en la TABLA VIII.

TABLA VIII

DEFORMACIÓN TOTAL DE LOS BIOPLÁSTICOS EN EL DISEÑO 1

Material	Deformación total (mm)
Bioplástico de maracuyá	37.264
Bioplástico de maíz	21.574
Bioplástico de yuca	21.376
Bioplástico de arveja	11.416
Bioplástico de Trigo	9.11

Los valores obtenidos fueron significativamente altos, destacando el bioplástico de maracuyá con una deformación de 37.264 mm, seguido por el bioplástico de maíz y el de yuca con valores mayores a 20 mm, un valor menor que se obtuvo en el bioplástico de trigo con un valor de 9.11 mm y una mediana de 21.376 mm del bioplástico de yuca. Estas cifras indican que este diseño no es viable, ya que la excesiva deformación compromete la funcionalidad del utensilio.

En la Fig. 40 podemos observar la deformación máxima que se ocasiona en este diseño considerando que no llega a romperse pero se visualiza que la deformación no es la adecuada para obtener un utensilio con una buena rigidez, en cambio en la Fig.41 observamos que la deformación ya no es excesiva siendo el menor resultado que se obtuvo de las simulaciones realizadas para este diseño, los puntos mínimos se logran

visualizar en el la unión del mango con el cuello de cuchara y el máximo en la punta del cuenco o copa.

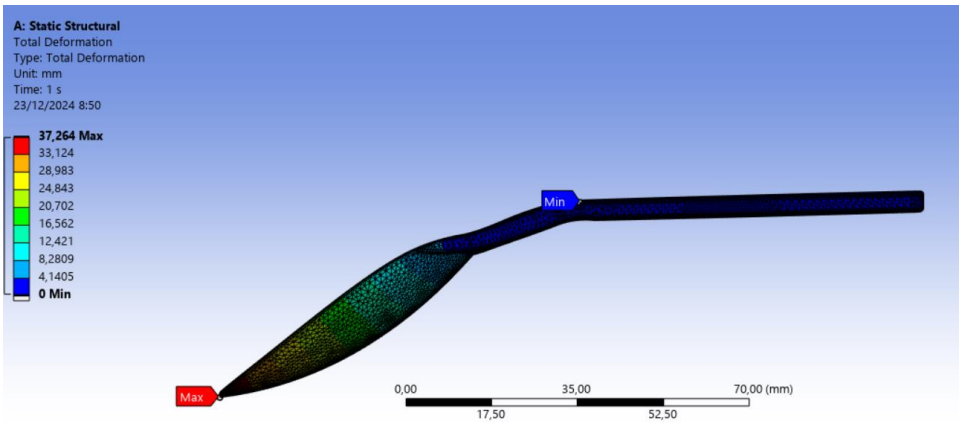


Fig 40. Deformación total del diseño 1 con el bioplástico de maracuyá.

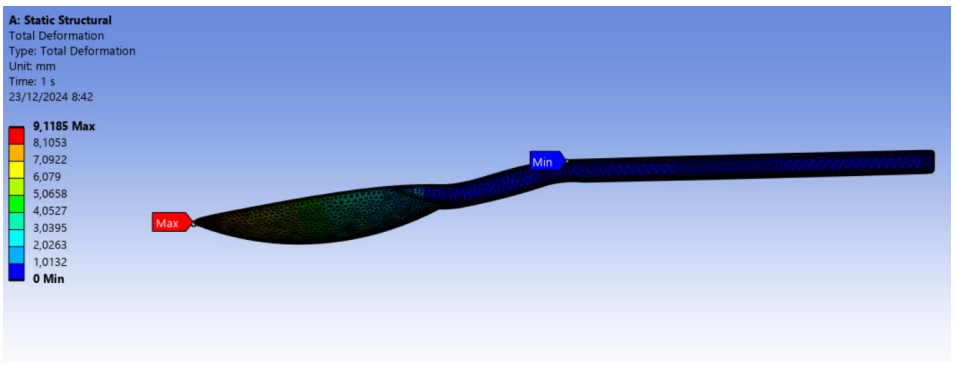


Fig 41. Deformación total del diseño 1 con el bioplástico de trigo.

Diseño 2

Con las condiciones de carga ya establecidas se realizaron las simulaciones del diseño 2 para determinar cómo es su deformación hacia dichas cargas dependiendo del material biodegradable que se desea fabricar, obteniendo resultados que se visualizan en la TABLA IX.

TABLA IX

DEFORMACIÓN TOTAL DE LOS BIOPLÁSTICOS EN EL DISEÑO 2

Material	Deformación total (mm)
Bioplástico de maracuyá	12.63
Bioplástico de maíz	7.3883
Bioplástico de yuca	7.232
Bioplástico de arveja	3.875
Bioplástico de Trigo	3.12

El Diseño 2 se obtuvo una mejora significativa en la reducción de la deformación en comparación con el Diseño 1. En este caso, los valores fueron más controlados, con el bioplástico de trigo mostrando la menor deformación de 3.12 mm, el bioplástico de maracuyá la más alta dentro del diseño 12.63 mm y una mediana de 7.232 mm correspondiente al bioplástico de yuca. Esto dice que el diseño tiene una geometría más optimizada, lo que permite una mejor resistencia mecánica. Sin embargo, en algunos materiales aún se presentan deformaciones que podrían comprometer su estabilidad durante el uso. En la Fig. 42 se observa cómo es la deformación mayor obtenida en este diseño presentando una curvatura mayor a la de la Fig. 43 que es la de menor deformación, encontrando puntos máximos y mínimos en las mismas zonas que el Diseño 1.

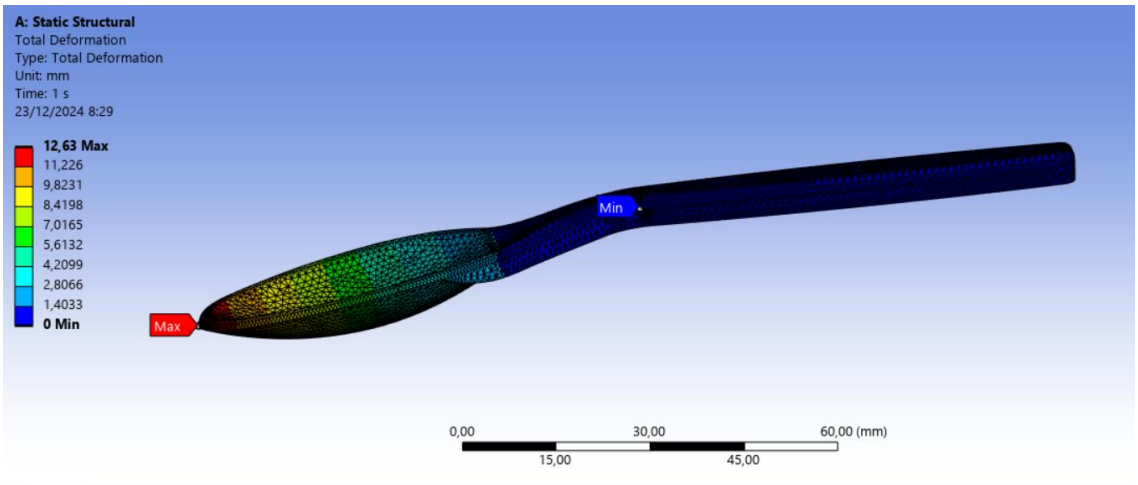


Fig 42. Deformación total del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de maracuyá.

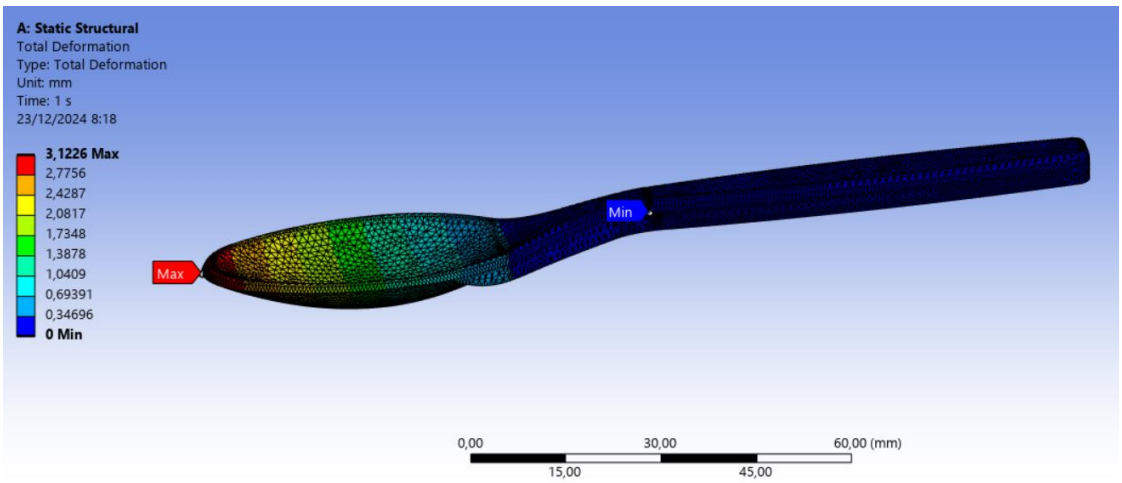


Fig 43. Deformación total del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de trigo.

Diseño 3

Para el debido funcionamiento del utensilio bajo condiciones reales se aplicaron las cargas previstas anteriormente para evaluar cómo se comporta en términos de deformación evaluando a los materiales bioplásticos selectos y obtener una mejoría con respecto a los otros diseños, realizando la simulación correspondiente encontramos resultados que se describen en la TABLA X.

TABLA X

DEFORMACIÓN TOTAL EN EL DISEÑO 3 DE LA CUCHARA

Material	Deformación total (mm)
Bioplástico de maracuyá	9.4538
Bioplástico de maíz	5.5284
Bioplástico de yuca	5.4148
Bioplástico de arveja	2.9009
Bioplástico de Trigo	2.3366

El Diseño 3 fue el mejor evaluado en deformación, ya que presentó los valores más bajos en todos los bioplásticos. En particular, el bioplástico de trigo mostró solo 2.336 mm, lo que indica que este diseño mantiene su forma y estabilidad bajo carga, como mayor deformación tenemos al bioplástico de maracuyá con 9.4538 mm y una mediana de 5.41 mm del bioplástico de yuca. Los demás bioplásticos también mostraron mejoras significativas, esto indica que este diseño es el más adecuado para garantizar un utensilio funcional y resistente. En la Fig. 44 se presenta la mayor deformación obtenida en las simulaciones y en la menor en la Fig. 45, aquí los puntos mínimos cambian siendo en la mitad del mango donde se obtiene dichos valores, manteniendo los puntos máximos como en los otros diseños.

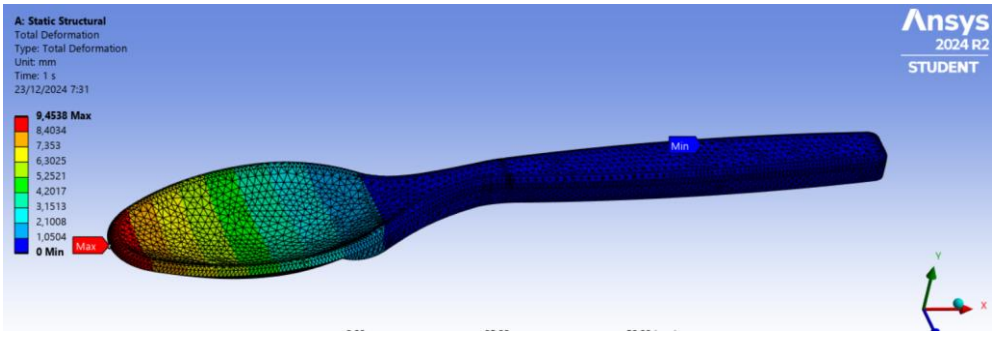


Fig 44. Deformación total del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de maracuyá.

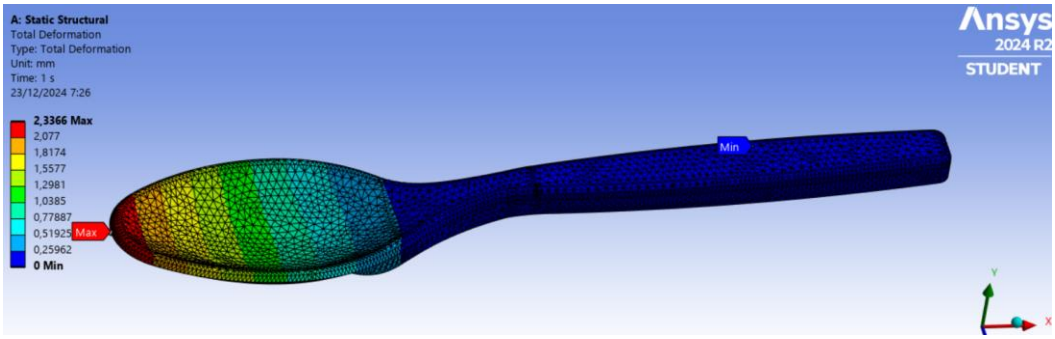


Fig 45. Deformación total del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de trigo.

3.4.1.3 Esfuerzo de von-Mises

Esto asegura además un análisis comparativo del diseño de manera que sólo los modelos preferidos puedan resistir las fuerzas aplicadas, manteniendo la integridad. El análisis comparativo ayuda a identificar los mejores valores de tensión equivalente de von-Mises para comprobar la distribución de la tensión y si el material permanece elástico. Este análisis establece los mejores diseños para su fabricación en términos de resistencia.

Diseño 1

En las simulaciones de los materiales se obtuvieron valores distintos pero no muy alejados teniendo un valor de juego de casi uno entre dichos resultados (TABLA XI).

TABLA XI

ESFUERZO DE VON-MISES DEL DISEÑO 1 DE LA CUCHARA

Material	Esfuerzo de von-Mises (Mpa)
Bioplástico de maíz	11.083
Bioplástico de Trigo	11.082
Bioplástico de arveja	10.559
Bioplástico de maracuyá	10.408
Bioplástico de yuca	10.234

El Diseño 1 obtuvo valores elevados de esfuerzo teniendo valores oscilaron entre 10.234 MPa (maracuyá) y 11.083 MPa (maíz), y una mediana de 10.559 (arveja), lo que indica que el diseño está sometido a altas cargas internas que podrían llevarlo a una falla tempana. Aunque el esfuerzo soportado es alto, la gran deformación sugiere

que el material no está bien distribuido y que la geometría del diseño no contribuye a una adecuada absorción de las cargas. El valor mayor lo podemos visualizar en la Fig. 46 y la de menor en la Fig. 47, los puntos máximos en este caso se dan en la unión del cuello con el mango y el punto mínimo en el mango de la cuchara.

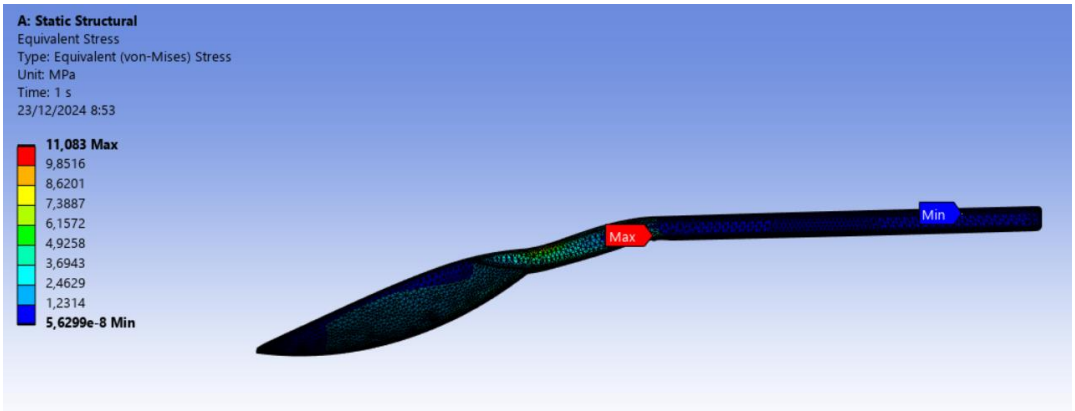


Fig 46. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de maíz.

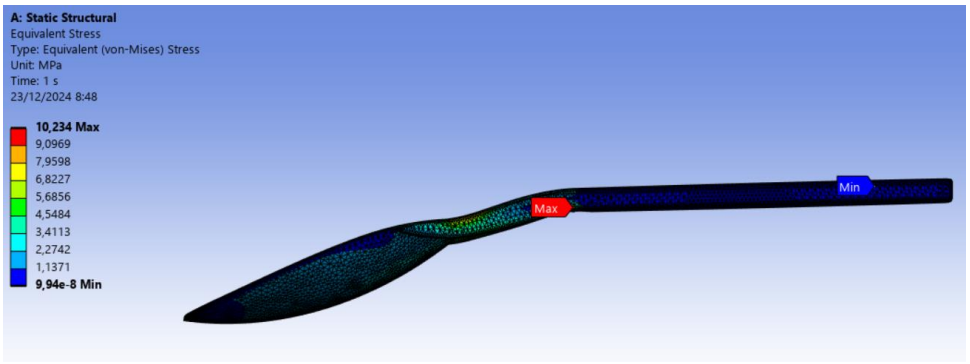


Fig 47. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de yuca.

Diseño 2

El esfuerzo considerado para este diseño se ve reducido en comparación con el diseño anterior obteniendo resultados que no poseen mucha variación de resultados (TABLA XII).

TABLA XII

ESFUERZO DE VON-MISES DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA

Material	Esfuerzo de von-Mises (Mpa)
Bioplástico de maíz	7.1287
Bioplástico de Trigo	7.127

Material	Esfuerzo de von-Mises (Mpa)
Bioplástico de arveja	6.768
Bioplástico de maracuyá	6.72
Bioplástico de yuca	6.65

En términos de esfuerzo, el Diseño 2 presentó valores más moderados que el Diseño 1, con esfuerzos que oscilaron entre 6.65 MPa (yuca) y 7.128 MPa (maíz), con una mediana de 6.768 MPa (arveja). Estos valores indican que la carga se distribuye de manera más uniforme, reduciendo el riesgo de concentración de tensiones que podrían llevar a una falla. En la Fig. 48 y 49 se obtiene el valor mayor y el valor menor respectivamente que se obtuvo de las simulaciones realizadas con los puntos máximos y mínimos ubicados igual que el Diseño 1.

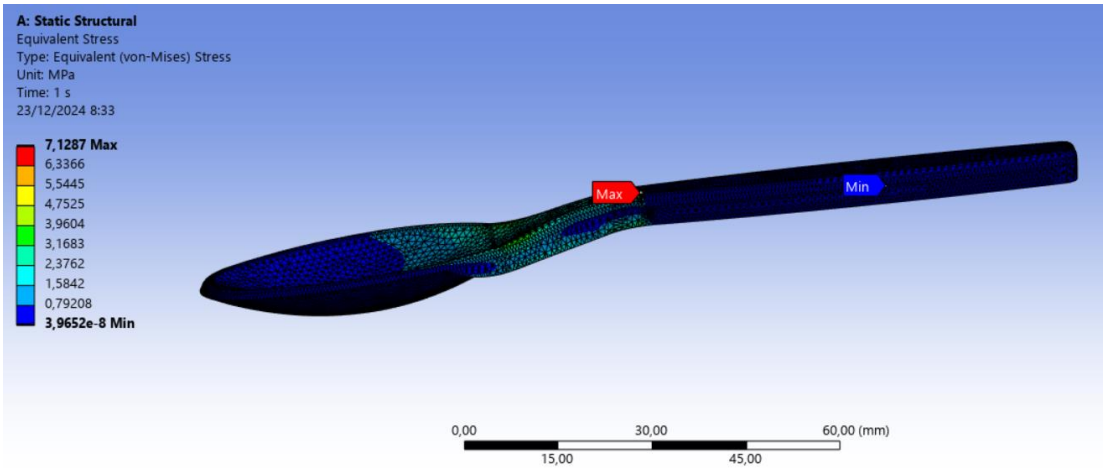


Fig 48. Esfuerzo de von-Mises del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de maíz.

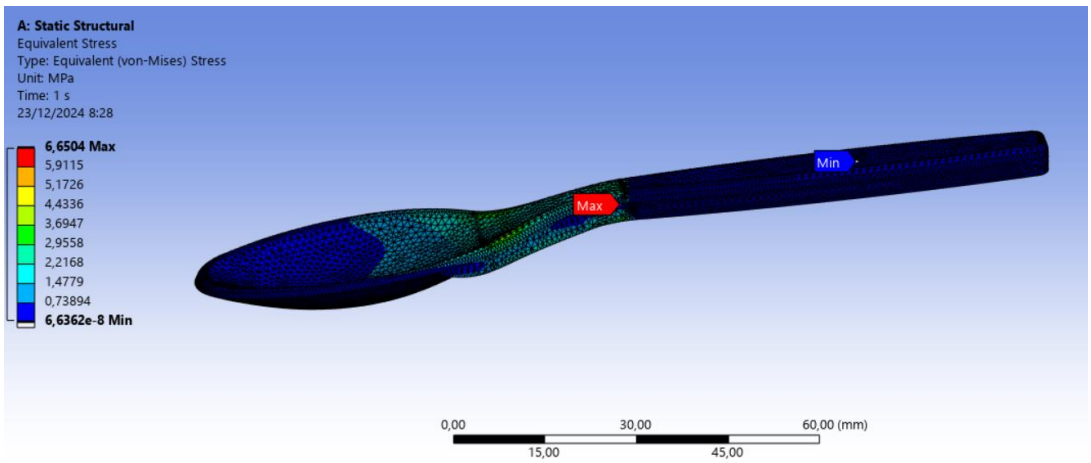


Fig 49. Esfuerzo de von-Mises del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de yuca.

Diseño 3

Los resultados en estos diseños fueron menores que los otros diseños asegurando que la cuchara soporte más cargas y produciendo una menor variación de datos con respecto a los otros, los resultados se presentan en la TABLA XIII.

TABLA XIII

ESFUERZO DE VON-MISES DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA

Material	Esfuerzo de von-Mises (Mpa)
Bioplástico de maíz	6.7663
Bioplástico de Trigo	6.7661
Bioplástico de arveja	6.4444
Bioplástico de maracuyá	6.3269
Bioplástico de yuca	6.1875

El Diseño 3 también mostró los mejores valores de esfuerzo, con cifras equilibradas que van desde 6.766 MPa (trigo y maíz) hasta 6.18 MPa (yuca), con un valor medio de 6.44 (arveja). Estos valores reflejan una mejor distribución de carga y una menor concentración de tensiones, lo que minimiza el riesgo de falla estructural. El valor máximo como mínimo se plasman en la Fig. 50 y 51 respectivamente con puntos máximos y mínimos que se mantienen como en los otros diseños.

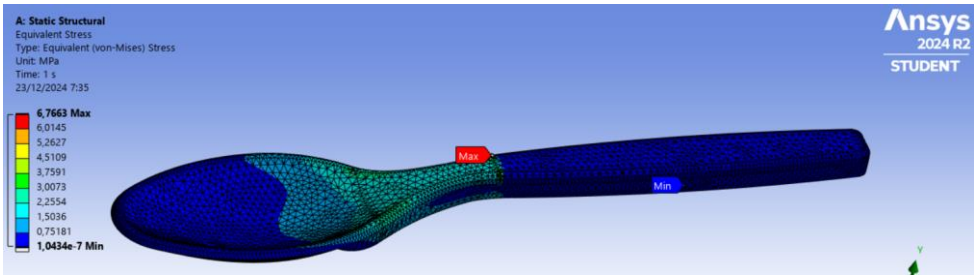


Fig 50. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de maíz.

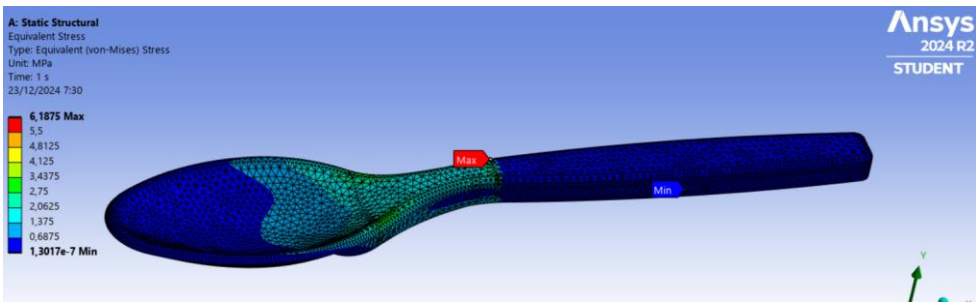


Fig 51. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de yuca.

3.4.1.4 Factor de seguridad

El factor de seguridad es un indicador clave para garantizar la integridad de los utensilios durante su uso. En las simulaciones realizadas, este parámetro se empleó para verificar si los materiales biodegradables seleccionados pueden resistir las cargas aplicadas sin superar su límite de resistencia.

Diseño 1

El factor de seguridad en los utensilios son de 1 a 2.5 que son utilizados para utensilios de cocina [63]. Es un parámetro fundamental para garantizar la integridad estructural del diseño utilizando valores menores para avalar que la cuchara pueda tener la resistencia necesaria en las zonas donde menor factor de seguridad obtenemos como resultado en cada uno de los materiales biodegradables, facilitando que el diseño sea el óptimo en toda la cuchara y no pueda fallar con el tiempo y con el uso que se le vaya dando, los resultados obtenidos de las simulaciones fueron descritas en la TABLA XIV.

TABLA XIV

FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 1 DE LA CUCHARA

Material	Factor de seguridad
Bioplástico de maíz	1.976
Bioplástico de maracuyá	1.6814
Bioplástico de arveja	1.3258
Bioplástico de yuca	1.2214
Bioplástico de Trigo	0.8662

El Diseño 1 obtuvo los valores bajos, lo que indica un alto riesgo de falla. El bioplástico de trigo presentó el menor factor de seguridad (0.866), lo que sugiere que este diseño no sería viable, ya que está operando muy cerca del límite de su resistencia, de otro modo obtenemos un valor máximo en el bioplástico de maíz (1.976) y un valor medio del bioplástico de arveja (1.3258). En la Fig. 52 se aprecia el resultado mayor que se obtuvo de todas las simulaciones realizadas de cada material, de igual modo en la Fig.53 se aprecia el bioplástico que obtuvo menor valor de factor de seguridad. Los puntos máximos encontrados para este diseño son en la punta del mango y sus valores mínimos en la unión del mango con el cuello de la cuchara.

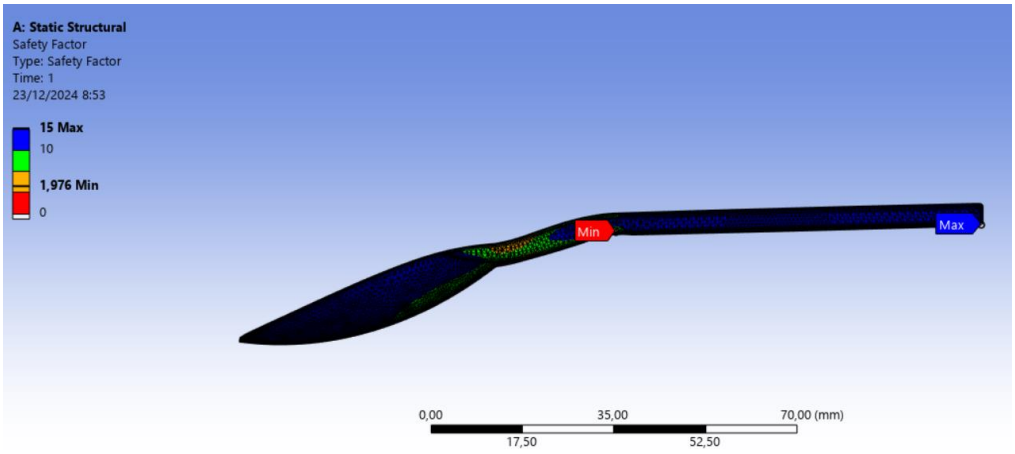


Fig 52. Factor de seguridad del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de maíz.

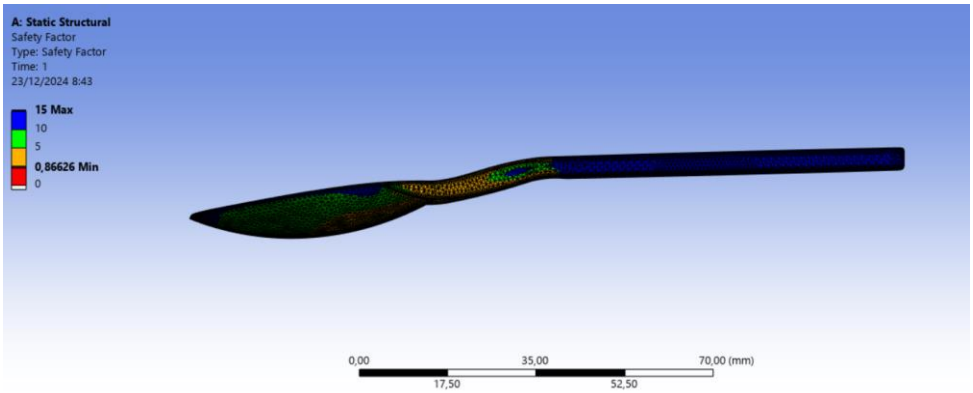


Fig 53. Factor de seguridad del diseño 1 de la cuchara con el bioplástico de trigo.

Diseño 2

En las simulaciones ejecutadas se obtuvieron valores más altos con los que podemos trabajar de mejor manera, los resultados se detallan en la TABLA XV.

TABLA XV

FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA

Material	Factor de seguridad
Bioplástico de maíz	3.072
Bioplástico de maracuyá	2.6041
Bioplástico de arveja	2.0684
Bioplástico de yuca	1.8796
Bioplástico de Trigo	1.3469

El Diseño 2 obtuvo factores de seguridad considerablemente mejores que el Diseño 1,

con valores entre 1.347 (trigo) y 3.072 (maíz), con una mediana de 2.068 (arveja). Esto indica que este diseño es más confiable estructuralmente y una mayor resistencia ante fallas. Sin embargo, aún existen variaciones significativas entre materiales, lo que sugiere que algunos bioplásticos podrían no ser adecuados para este diseño. En la Fig. 54 y 55 se observan como se comporta el valor mayor y menor respectivamente, obteniendo puntos mínimos en la unión del cuello con el mango y máximos en el cuenco de la cuchara. En el de mayor valor se observa de igual manera que solo existe pequeñas zonas que no se encuentran en los valores máximos mientras que en la otra hay más zonas que pueden llegar a obtener valores cercanos al factor de seguridad menor.

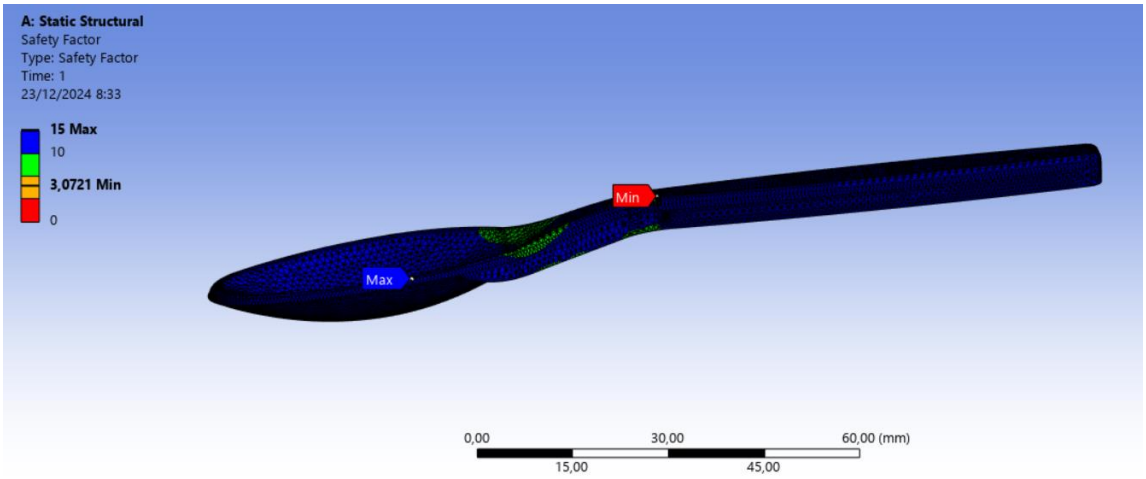


Fig 54. Factor de seguridad del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de maíz.

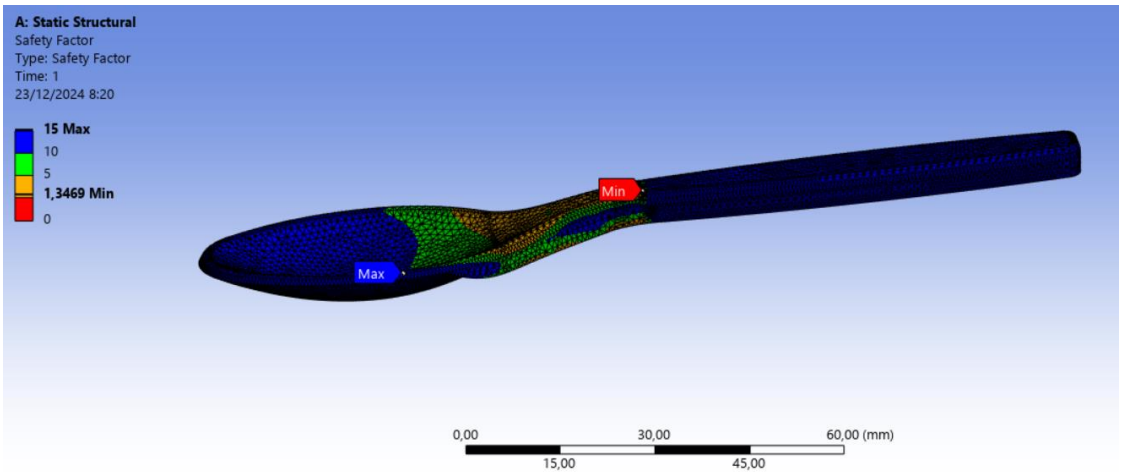


Fig 55. Factor de seguridad del diseño 2 de la cuchara con el bioplástico de trigo.

Diseño 3

Los resultados de las simulaciones se describen en la TABLA XVI donde se presentan de cada uno de los bioplásticos el valor de factor de seguridad que se obtuvo con las cargas pertinentes.

TABLA XVI

FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 3 DE LA CUCHARA

Material	Factor de seguridad
Bioplástico de maíz	3.23
Bioplástico de maracuyá	2.766
Bioplástico de arveja	2.17
Bioplástico de yuca	2.02
Bioplástico de Trigo	1.418

El Diseño 3 obtuvo los factores de seguridad cercanos y altos, lo que indica que es la opción más confiable. El bioplástico de maíz alcanzó un factor de 3.23, mientras que el bioplástico de trigo obtuvo 1.418 y el bioplástico de arveja con un valor medio de 2.17, valores superiores al de los otros diseños. Esto demuestra que este diseño ofrece la mejor relación entre resistencia y estabilidad. Para el valor mayor se puede visualizar en la Fig. 56 que tiene espacios más reducidos donde encontramos valores cercanos al valor que se obtuvo, mientras que en la Fig, 57 presenta muchos más espacios que pueden ser equivalentes o mayores que el valor mínimo que se presentó, los puntos máximos y mínimos su ubicación es equivalente al Diseño 1 presentándose de igual manera en dichos puntos.

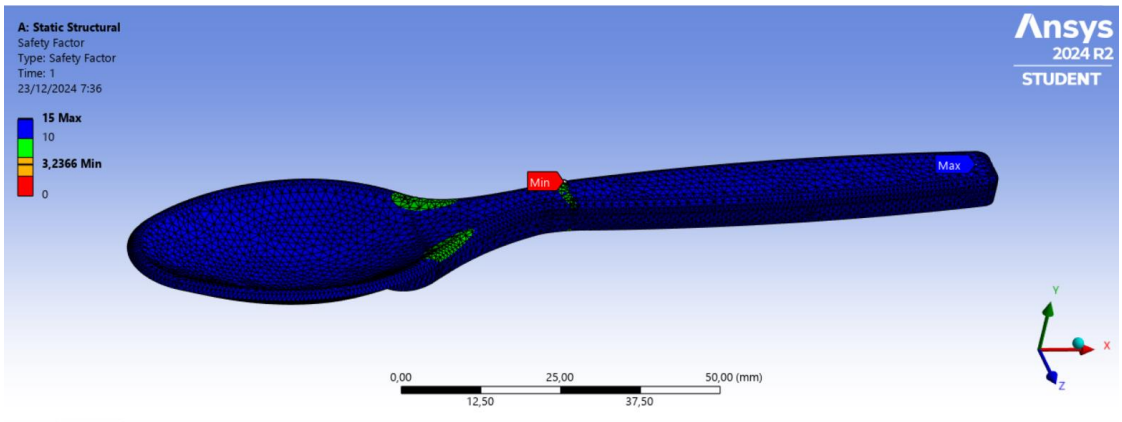


Fig 56. Factor de seguridad del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de maíz.

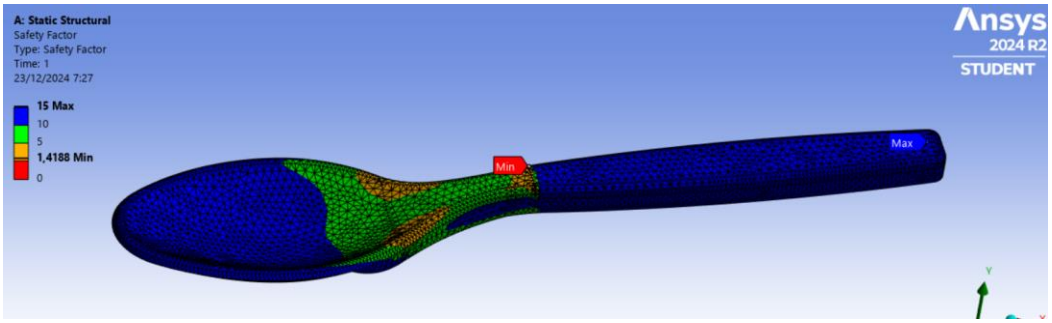


Fig 57. Factor de seguridad del diseño 3 de la cuchara con el bioplástico de trigo.

3.4.1.5 Volumen

Los volúmenes utilizados en la fabricación de las cucharas implican un estudio para maximizar la aplicación de material biodegradable, teniendo en cuenta tanto la resistencia estructural como las implicaciones ambientales. Este modo de acción asegura la sostenibilidad en el producto final.

Diseño 1

Para el Diseño 1 se obtuvo un volumen de 2881.8 mm^3 considerando que este valor se repite en todos los bioplásticos, y cuya densidad depende del material y que fue propuesta en la TABLA VII, con esos datos podemos obtener la cantidad de material que se va a utilizar para fabricar la cuchara, multiplicando los dos datos dan dicho resultado que se presenta en la TABLA XVII.

TABLA XVII

CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 1 DE LA CUCHARA

Material	Volumen (mm^3)	Densidad (g/mm^3)	Cantidad de material (g)
Bioplástico de yuca	2881.8	0.00135	3.89043
Bioplástico de maracuyá	2881.8	0.0013	3.74634
Bioplástico de arveja	2881.8	0.0013	3.74634
Bioplástico de Trigo	2881.8	0.00084	2.420712
Bioplástico de maíz	2881.8	0.00082	2.363076

El consumo de material en el Diseño 1 fue el más bajo entre los tres diseños evaluados, con valores entre 2.36 g (maíz) y 3.89 g (yuca). Esto podría representar una ventaja en términos de eficiencia de material. La alta deformación y el bajo factor de seguridad

indican que la reducción de material ha afectado negativamente la estructura del utensilio.

Diseño 2

El Diseño 2 obtuvo un volumen de 5058.7 mm^3, del mismo proceso que el diseño 1 se obtuvo la cantidad de material que se representa en la TABLA XVIII.

TABLA XVIII

CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 2 DE LA CUCHARA

Material	Volumen (mm^3)	Densidad (g/mm^3)	Cantidad de material (g)
Bioplástico de yuca	5058.7	0.00135	6.829245
Bioplástico de maracuyá	5058.7	0.0013	6.57631
Bioplástico de arveja	5058.7	0.0013	6.57631
Bioplástico de Trigo	5058.7	0.00084	4.249308
Bioplástico de maíz	5058.7	0.00082	4.148134

El Diseño 2 necesita un mayor consumo de material en comparación con el Diseño 1, con valores entre 4.14 g (maíz) y 6.82 g (yuca). Aunque este mayor uso de material ha contribuido a mejorar la resistencia del utensilio, aún ocurren problemas de deformación en algunos bioplásticos.

Diseño 3

En este diseño se presentó un volumen de 5723.7 mm^3 al igual que los otros diseños se obtuvo la cantidad de material que se representa en la TABLA XIX.

TABLA XIX

CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 3 DE LA CUCHARA

Material	Volumen (mm^3)	Densidad (g/mm^3)	Cantidad de material (g)
Bioplástico de yuca	5723.7	0.00135	7.726995
Bioplástico de maracuyá	5723.7	0.0013	7.44081
Bioplástico de arveja	5723.7	0.0013	7.44081
Bioplástico de Trigo	5723.7	0.00084	4.807908
Bioplástico de maíz	5723.7	0.00082	4.693434

El Diseño 3 logró un equilibrio óptimo en el uso de material, con valores entre 4.69 g (maíz) y 7.72 g (yuca). El bioplástico de trigo utilizó 4.80 g, lo que confirma su eficiencia en términos de consumo de material sin comprometer la resistencia.

3.4.1.6 Análisis de resultados

Para determinar que diseño es la mejor opción para su fabricación se presentó la siguiente tabla que contiene los resultados vistos de las simulaciones (TABLA XX).

TABLA XX

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE LA CUCHARA

	Materia prima	Deformación (mm)	Esfuerzo (Mpa)	Factor de seguridad	Material utilizado (g)
Diseño 1	Bioplástico de maíz	21.574	11.083	1.976	2.363076
	Bioplástico de maracuyá	37.264	10.408	1.6814	3.74634
	Bioplástico de yuca	21.376	10.234	1.2214	3.89043
	Bioplástico de arveja	11.416	10.559	1.3258	3.74634
	Bioplástico de Trigo	9.11	11.082	0.8662	2.420712
Diseño 2	Bioplástico de maíz	7.3883	7.1287	3.072	4.148134
	Bioplástico de maracuyá	12.63	6.72	2.6041	6.57631
	Bioplástico de yuca	7.232	6.65	1.8796	6.829245
	Bioplástico de arveja	3.875	6.768	2.0684	6.57631
	Bioplástico de	3.12	7.127	1.3469	4.249308

	Materia prima	Deformación (mm)	Esfuerzo (Mpa)	Factor de seguridad	Material utilizado (g)
	Trigo				
Diseño 3	Bioplástico de maíz	5.5284	6.7663	3.23	4.693434
	Bioplástico de maracuyá	9.4538	6.3269	2.766	7.44081
	Bioplástico de yuca	5.4148	6.1875	2.02	7.726995
	Bioplástico de arveja	2.9009	6.4444	2.17	7.44081
	Bioplástico de Trigo	2.3366	6.7661	1.418	4.807908

Se realizó la comparación de cada diseño con sus respectivos materiales biodegradables con el propósito de comparar cada uno de ellos y de ver cómo se comportan dichos materiales al momento de su fabricación, y encontrando la mejor alternativa de material para su fabricación (Fig. 58-60).

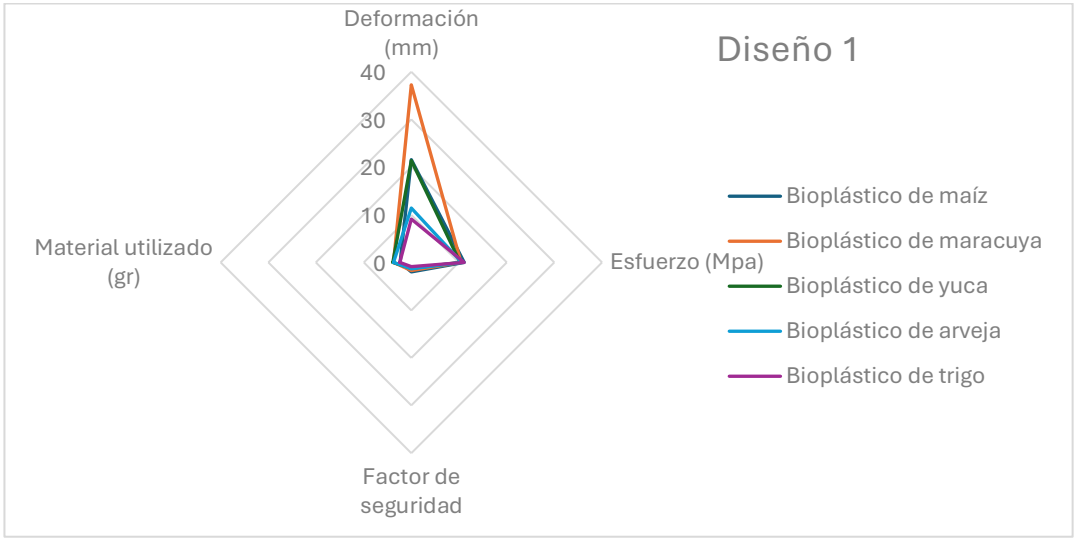


Fig 58. Comparación del comportamiento de los materiales del diseño 1 de la cuchara.

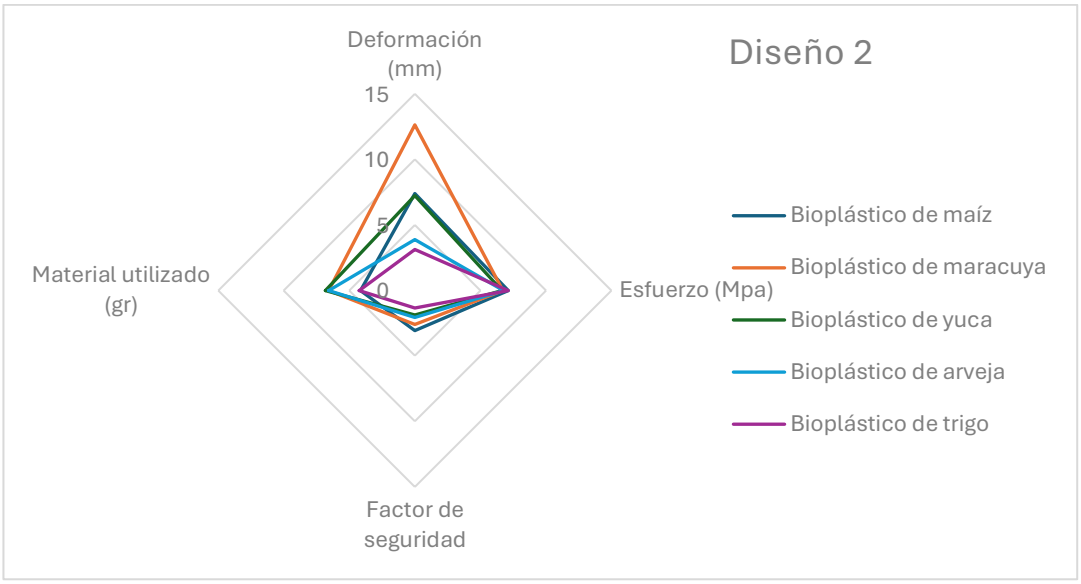


Fig 59. Comparación del comportamiento de los materiales del diseño 2 de la cuchara.

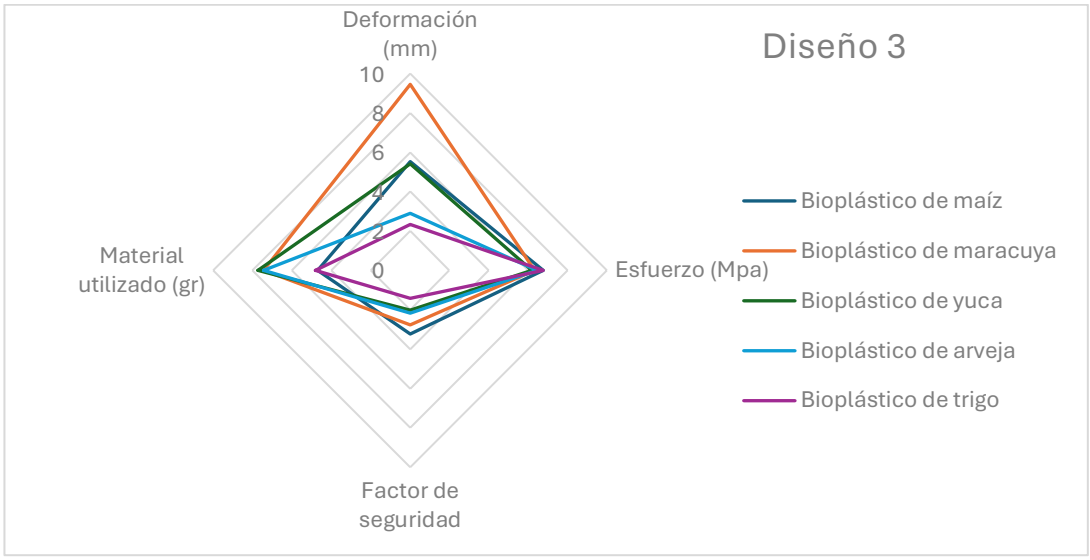


Fig 60. Comparación del comportamiento de los materiales del diseño 3 de la cuchara.

Encontrando como opción al bioplástico de trigo teniendo un buen desempeño en las simulaciones realizadas obteniendo una menor deformación lo que garantiza que mantenga su forma bajo condiciones de carga, además que es un material que lo podemos encontrar mucho más en el mercado por lo que lo hace un material con buenas condiciones, además que nos garantiza un uso menor de material en la fabricación de utensilios. Con esta selección comparamos apropiadamente los 3

diseños para evaluar cual es el mejor para la fabricación del molde (Fig. 61).

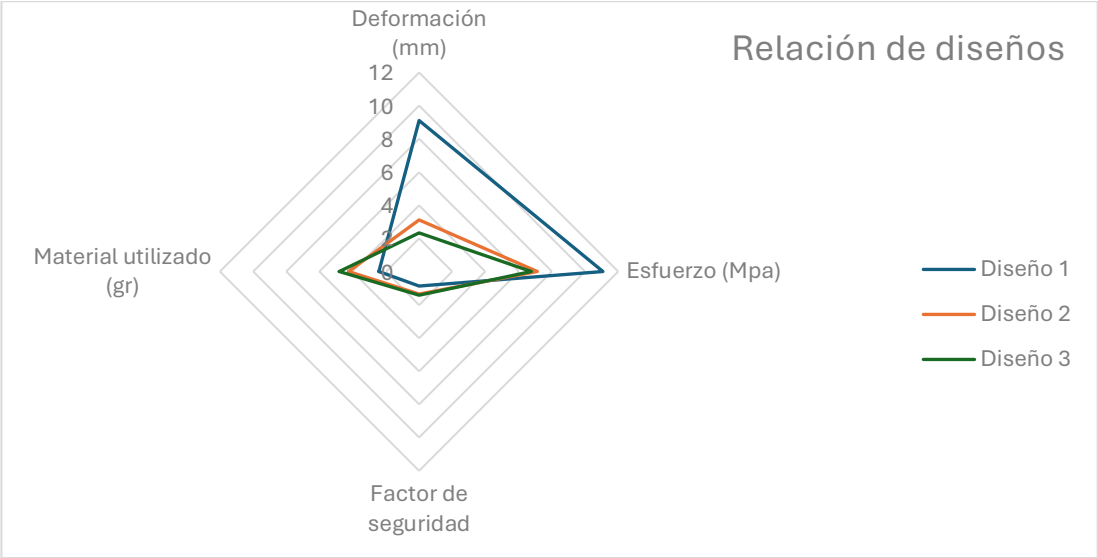


Fig 61. Relación de los diseños de la cuchara.

El diseño más adecuado para producir el molde de un utensilio biodegradable sería el diseño 3, ya que mostró el mejor desempeño sobre cualquier otro diseño con todos los criterios descritos anteriormente. Principalmente, por el hecho de que muestra la menor cantidad de deformación en comparación con cualquiera de los materiales analizados. Eso significa que el utensilio mantiene su forma bajo cargas, este aspecto específico tiene un impacto básico en asegurar la funcionalidad del producto final, ya que demasiada deformación podría degradar tanto la experiencia del usuario como la calidad percibida del utensilio. Por el contrario, se registraron deformaciones mucho más altas para los diseños 1 y 2, lo que prácticamente los hace inviables.

Otro factor a favor del diseño 3 es que tiene un alto factor de seguridad, lo que significa que es el mejor diseño de todos contra cargas simuladas. Donde el diseño 1 mostró bajos factores de seguridad (que por lo tanto lo dejaron fallar bajo algunas condiciones de carga específicas), el diseño 3 muestra valores de seguridad fuertes y consistentes. Esto anteriormente garantizaba un mayor margen de seguridad. El diseño 2 comenzó a mostrar factores de seguridad aceptables también, no fue mejor que el diseño 3 en este aspecto, esa es una de sus mayores fortalezas que garantiza la robustez de este último.

Aunque la tensión soportada por el Diseño 3 es ligeramente inferior a la del Diseño 1, aún cumple adecuadamente con las aplicaciones para su uso como utensilios biodegradables en condiciones normales. Además, el menor nivel de deformación del Diseño 3 se corresponde con la prioridad en estabilidad estructural con la resistencia requerida y, por lo tanto, el Diseño 1, aunque soporta mayores tensiones es menos eficiente debido a su alta deformación y bajos factores de seguridad.

Por último, el Diseño 3, en cuanto al uso de materiales, es tan bueno como el Diseño 2 y en la mayoría de los casos mejor que el Diseño 1. La eficiencia que presenta este diseño más un mayor factor de seguridad y valores de deformación controlados lo convierten en el más equilibrado y funcional de todas las opciones. Por estas razones, el Diseño 3 se presenta como el primero de todos y el más adecuado para ser utilizado en la fabricación del molde del utensilio biodegradable.

3.4.2 Simulación y análisis en el tenedor

Para la simulación del tenedor se tomaron en consideración parámetros de carga para ver cuál de ellos es el más eficiente y cumple con las condiciones que un tenedor debería de tener para ello igual se analizan ciertas variables que los vamos a revisar.

3.4.2.1 Aplicación de cargas

Se tuvieron en cuenta cinco cargas que son dos momentos, una fuerza en el eje x, velocidad de rotación y el apoyo fijo que nos permiten determinar el funcionamiento bajo condiciones reales.

A. Momento

Se encuentra ubicado en el cuello del tenedor y expresa una torsión que se produce al girar el tenedor para enroscar alimentos como los espaguetis, dicha fuerza ayuda a prever posibles fallas en una zona que está sujeta a esfuerzos combinados de torsión además de garantizar que el diseño sea robusto en las zonas donde se concentran las tensiones. El valor es de 10 N.mm, en torsión podría ser equivalente a aplicar una fuerza con los dedos para rotar el tenedor sobre algún alimento (Fig. 62).

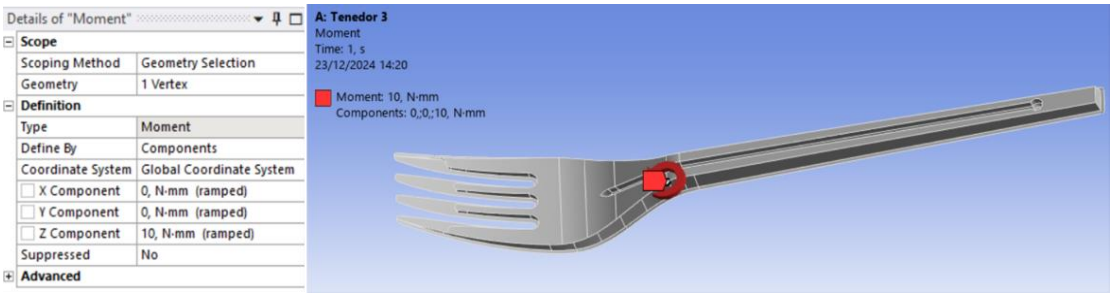


Fig 62. Asignación del momento al tenedor.

B. Momento 2

Representa una carga de flexión debido a una presión desigual o un uso desbalanceado del producto, tiene un valor de 10 N.mm igual al anterior momento A representando un esfuerzo considerable en el contexto de un material biodegradable (Fig. 63).

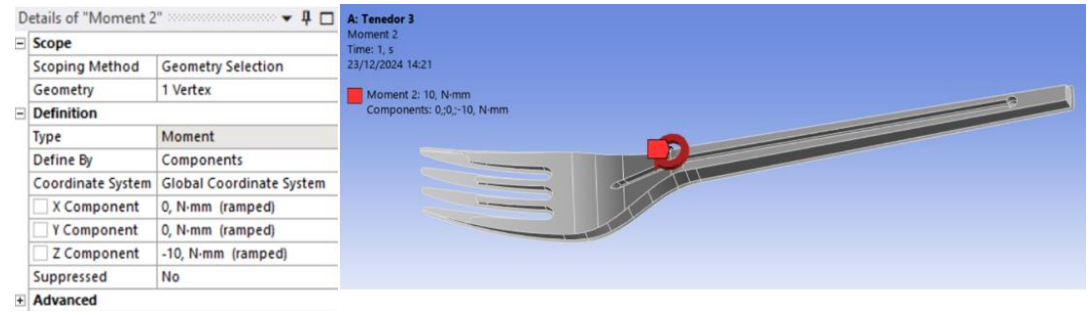


Fig 63. Asignación del momento 2 al tenedor.

C. Fuerza

Considerando la fuerza que se ejerce al momento de presionar los alimentos bien puede ser para recogerlo o sostenerlo con el propósito de verificar que el mango no se deforme o se quiebre, contiene 20 N representando una presión necesaria para poder mover o sostener un alimento denso (Fig. 64).

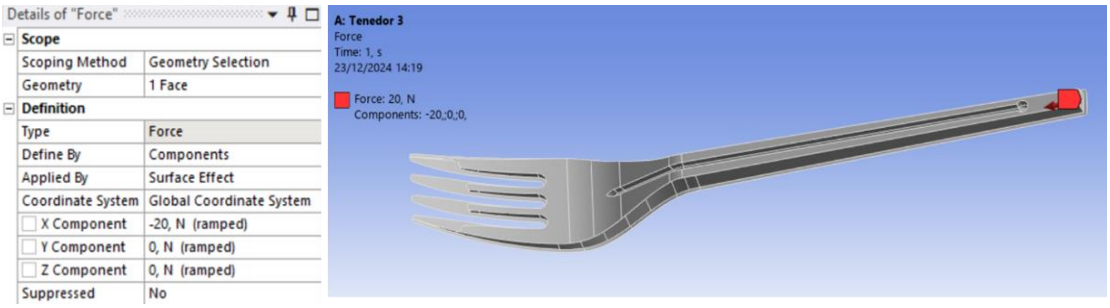


Fig 64. Aplicación de la fuerza al tenedor.

D. Apoyo fijo

Se fijo en el inicio de los refuerzos de las puntas con el objetivo de asegurar que ese sector no se desplace creando una simulación en la condición típica como la es al momento de perforar alimentos o de sostenerlo para poder cortarlo con otro utensilio, evaluando la distribución de tensiones a lo largo de todo ello (Fig. 65).

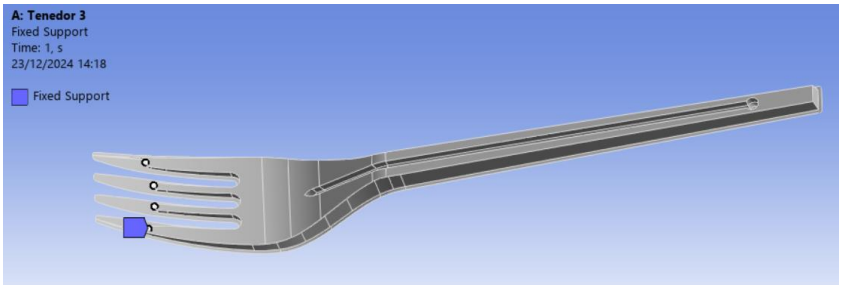


Fig 65. Asignación del apoyo fijo del tenedor.

E. Velocidad de rotación

Indica una condición de rotación con un comportamiento dinámico en que se encuentra el utensilio (Fig. 66).

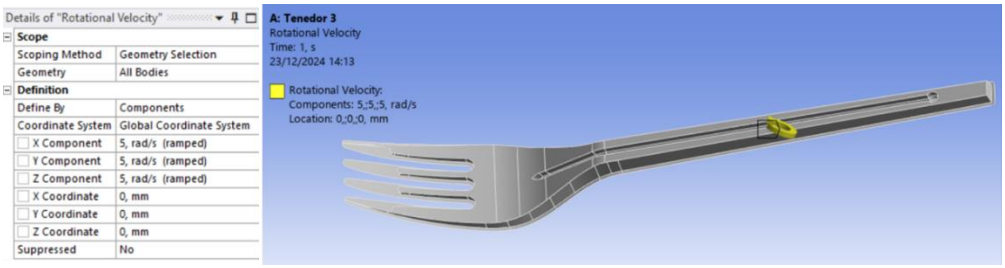


Fig 66. Designación de la velocidad de rotación.

Todas ellas permiten que el tenedor pueda soportar condiciones reales representando todas las cargas en la Fig 67, así evaluamos que el diseño sea resistente y funcional.

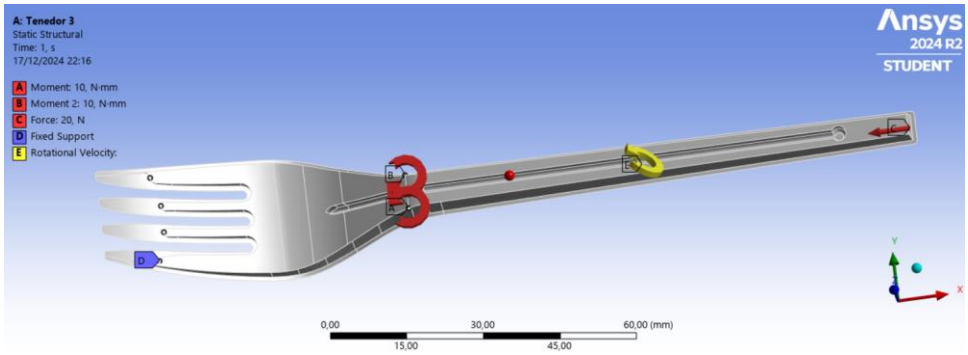


Fig 67. Distribución de las cargas en el tenedor.

3.4.2.2 Deformación total

El análisis de la deformación total en el tenedor mostró cómo las diferentes cargas aplicadas influyen en la estructura de las horquillas. Este es el parámetro más importante para verificar que el trabajo de diseño es tal que incluso bajo fuerzas muy altas, el diseño seguirá siendo funcional.

Diseño 1

La deformación del tenedor para este diseño es muy elevadas comparadas con las de la cuchara obteniendo valores que sobrepasan los 100 mm, los datos recabados de las simulaciones se describen en la TABLA XXI de cada material bioplástico que se utilizó.

TABLA XXI

DEFORMACIÓN TOTAL DEL DISEÑO 1 DEL TENEDOR

Material	Deformación total (mm)
Bioplástico de maracuyá	209.45
Bioplástico de maíz	126.09
Bioplástico de yuca	119.27
Bioplástico de arveja	64.65
Bioplástico de Trigo	53.29

El Diseño 1 presenta valores de deformación elevados, lo que indica una menor rigidez estructural. De los bioplásticos evaluados, el bioplástico de trigo muestra la menor deformación con 53.29 mm, lo que sugiere una mayor resistencia al cambio de forma bajo carga. Por otro lado, el bioplástico de maracuyá tiene la mayor deformación con 209.45 mm, lo que indica que este material es el menos rígido dentro de este diseño. Los bioplásticos de yuca presentan el valor intermedio de 119.27 mm, lo que sugiere que tienen una resistencia moderada a la deformación. En la Fig. 68 se puede observar la mayor deformación que se presenta en el diseño de igual manera en la Fig. 69 la de menor valor observando una curvatura mayor en la primera figura. Los puntos máximos se encuentran en el final del mango donde hay mas deformación y el punto menor en las puntas del tenedor teniendo como valor mínimo de 0 mm debido a que en esos puntos se encuentran los apoyos fijos.

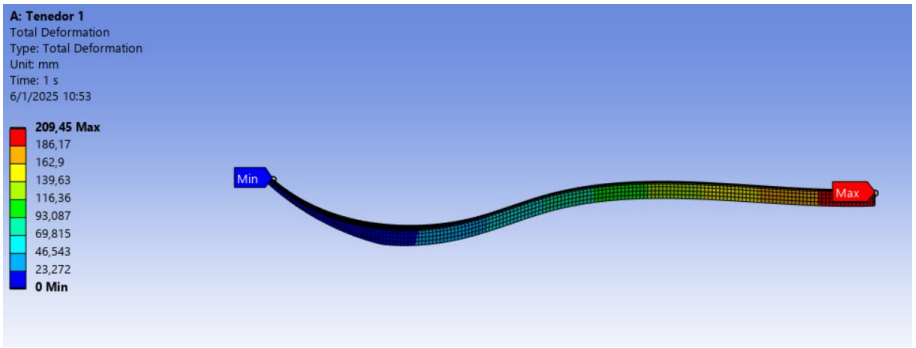


Fig 68. Deformación del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de maracuyá.

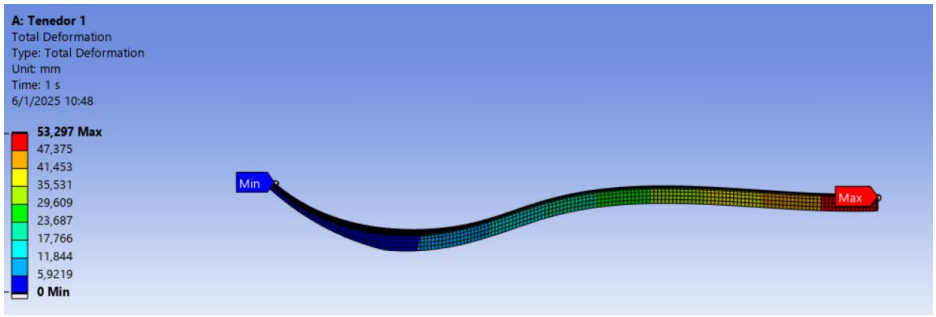


Fig 69. Deformación del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de trigo.

Diseño 2

Con las condiciones de carga ya establecidas se analizo la deformación de este diseño para el tenedor encontrando valores altos con el Diseño 1 como lo podemos observar en la TABLA XXII que consta de los valores obtenidos.

TABLA XXII

DEFORMACIÓN TOTAL DEL DISEÑO 2 DEL TENEDOR

Material	Deformación total (mm)
Bioplástico de maracuyá	293.4
Bioplástico de maíz	173.86
Bioplástico de yuca	167.72
Bioplástico de arveja	90.25
Bioplástico de Trigo	73.49

El Diseño 2 presenta deformaciones más altas en comparación con los otros diseños, lo que indica una estructura menos rígida y más propensa a la flexión bajo carga. La menor deformación se da en el bioplástico de trigo (73.49 mm) que se observa en la

Fig.71, mientras que la mayor se encuentra en el bioplástico de maracuyá (293.4 mm) correspondiente a la Fig.70. El bioplástico de yuca tienen un valor intermedio de 167.72 mm, aunque siguen siendo elevados en comparación con otros diseños.

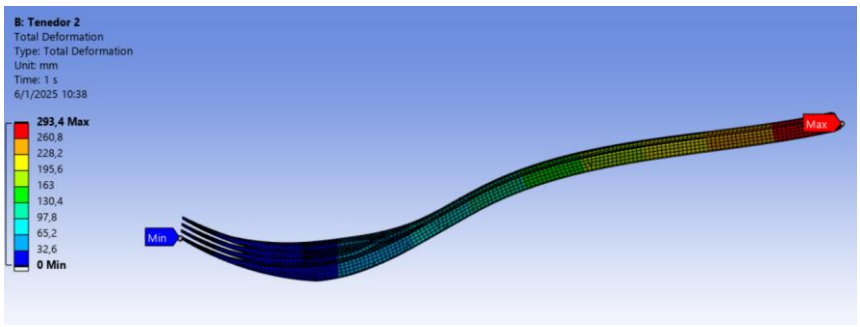


Fig 70. Deformación del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de maracuyá.

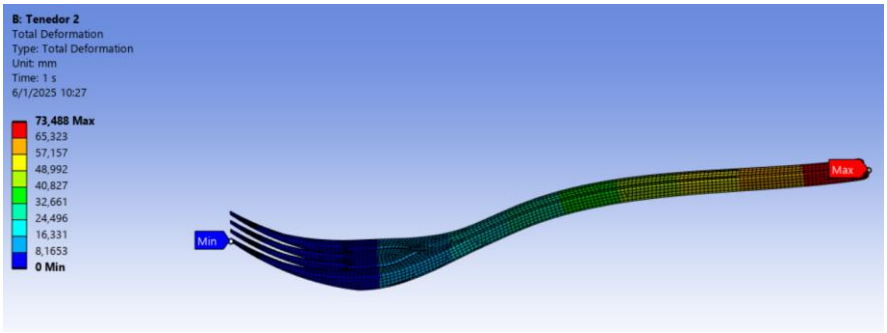


Fig 71. Deformación del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de trigo.

Diseño 3

Los resultados obtenidos para este diseño tuvieron una bajada de deformación en comparación con los otros diseños teniendo resultados que se establecen en la TABLA XXIII presentando las deformaciones de cada material para este diseño.

TABLA XXIII

DEFORMACIÓN TOTAL DEL DISEÑO 3 DEL TENEDOR

Material	Deformación total (mm)
Bioplástico de maracuyá	9.17
Bioplástico de maíz	5.62
Bioplástico de yuca	5.2
Bioplástico de arveja	2.84
Bioplástico de Trigo	2.375

El Diseño 3 destaca por tener la menor deformación, lo que indica una excelente rigidez estructural y una alta resistencia a la flexión. La menor deformación se obtuvo en el bioplástico de trigo (2.375 mm) observándose en la Fig.73, con una mediana en el bioplástico de yuca (5.2 mm). El bioplástico de maracuyá tiene la mayor deformación dentro de este diseño (9.17 mm) representado en la Fig. 72, aunque sigue siendo significativamente menor en comparación con los otros diseños para este material. Los puntos máximos lo encontramos igual que en los otros diseños y el mínimo cambia de posición estando más debajo de las puntas del tenedor en donde encontramos valores mínimos.

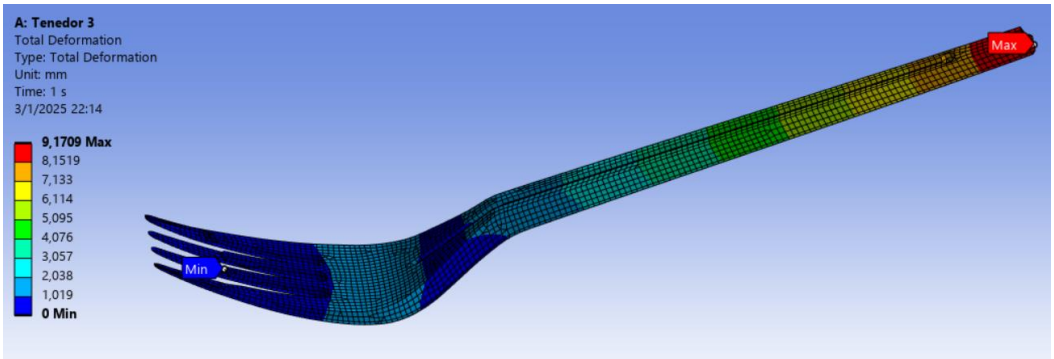


Fig 72. Deformación del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de maracuyá.

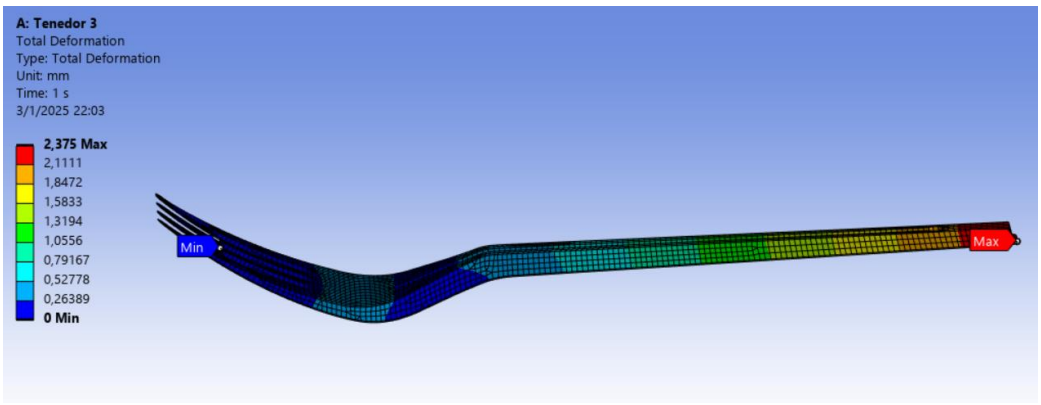


Fig 73. Deformación del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de trigo.

3.4.2.3 Esfuerzo de von-Mises

Se determinó la tensión equivalente según von Mises para las horquillas en todas las condiciones de carga. Este análisis ayuda a identificar los materiales y diseños más adecuados en términos de resistencia y durabilidad.

Diseño 1

El Diseño 1 presento esfuerzos altos en todos los bioplásticos que se analizaron obteniendo datos que se exponen en la TABLA XXIV.

TABLA XXIV

ESFUERZO DE VON-MISES PARA EL DISEÑO 1 DEL TENEDOR

Material	Esfuerzo de von-Mises (Mpa)
Bioplástico de yuca	16.58
Bioplástico de maracuyá	16.4
Bioplástico de arveja	16.24
Bioplástico de maíz	15.65
Bioplástico de Trigo	15.65

En cuanto al esfuerzo, los valores son muy similares en todos los materiales utilizados en este diseño, con un mínimo de 15.65 MPa (bioplástico de maíz) observándose en la Fig. 75 y un máximo de 16.58 MPa (bioplástico de yuca) representado en la Fig.74, con una mediana de 16.24 MPa (bioplástico de arveja). La variabilidad menor indica que el diseño distribuye la carga de manera uniforme en todos los materiales. Sin embargo, los valores de esfuerzo son relativamente altos, lo que sugiere que este diseño está sometido a mayores tensiones y que pueden ocasionar fallos estructurales en materiales menos resistentes. Los puntos máximos son vistos en la mitad del cuello del tenedor, del mismo modo los puntos mínimos ocurren en las puntas de los dientes.

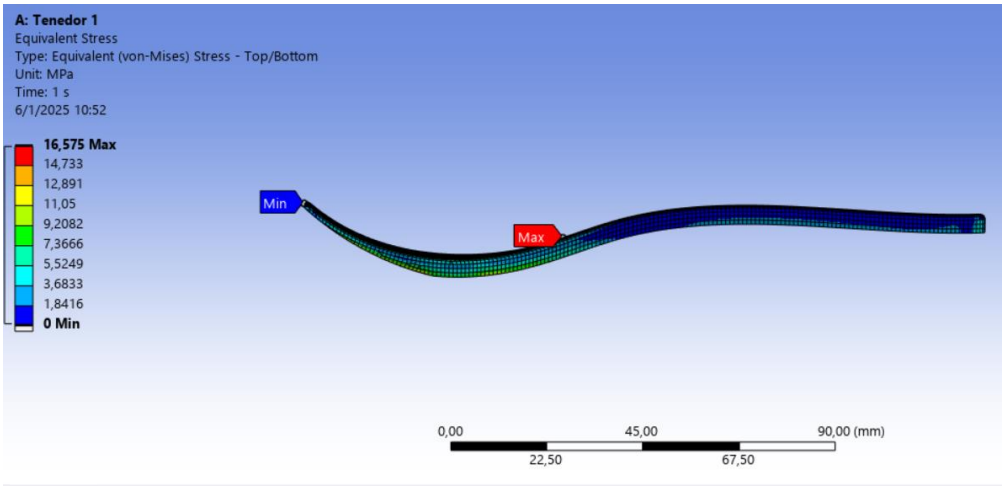


Fig 74. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de yuca.

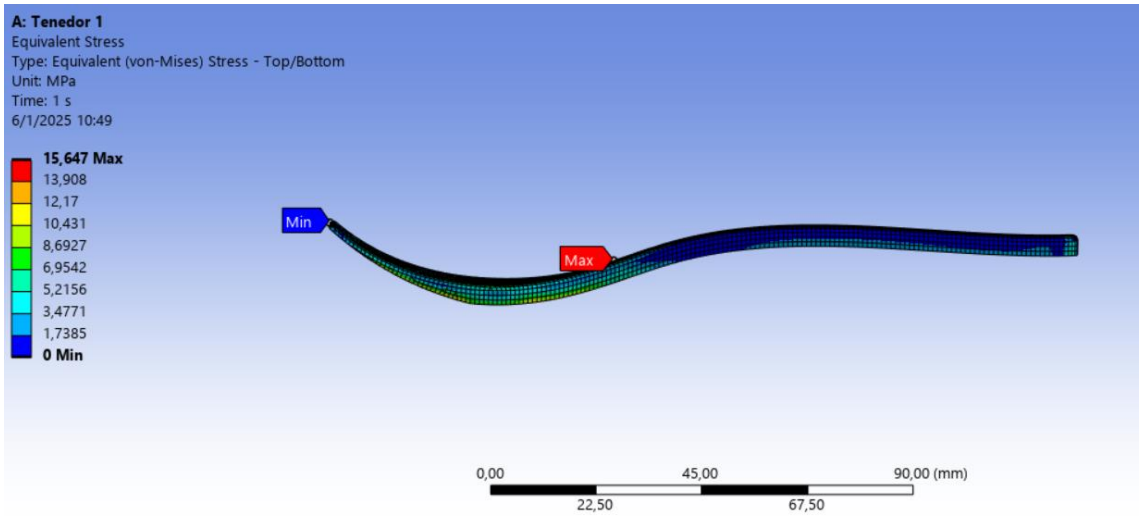


Fig 75. Esfuerzo de von-Mises del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de trigo.

Diseño 2

Las simulaciones para encontrar los esfuerzos que se producen en cada material se describieron en la TABLA XXV conteniendo valores más altos que el Diseño 1.

TABLA XXV

ESFUERZO DE VON-MISES PARA EL DISEÑO 2 DEL TENEDOR

Material	Esfuerzo de von-Mises (Mpa)
Bioplástico de maíz	19.87
Bioplástico de maracuyá	19.87
Bioplástico de yuca	19.87
Bioplástico de arveja	19.87
Bioplástico de Trigo	19.87

El esfuerzo máximo alcanzado en este diseño es uniforme en todos los materiales, con un valor de 19.87 MPa. Este es el valor de esfuerzo más alto encontrado en los tres diseños, lo que sugiere que el utensilio está sometido a tensiones más elevadas. La distribución de esfuerzos no es favorable para la integridad del material, lo que aumentaría la posibilidad de fallos tempranos. En la Fig. 76 observamos el esfuerzo obtenido por el bioplástico de yuca, encontrando el punto máximo debajo de las puntas del tenedor observando que hay pocas zonas que llegan a tener un esfuerzo máximo, de igual manera encontramos el punto mínimo que se da en el mango alrededor de casi todo el mango.

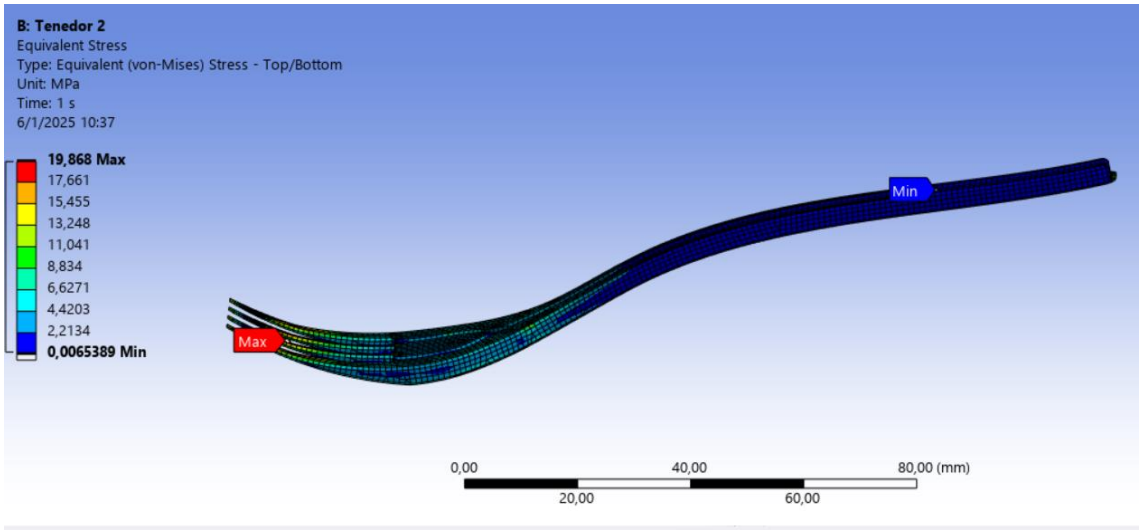


Fig 76. Esfuerzo de von-Mises del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de yuca.

Diseño 3

En este diseño se obtuvieron menores valores que los otros diseños sin tener mucha variabilidad de datos, en la TABLA XXVI se detalla como se comporto el diseño ante los distintos materiales.

TABLA XXVI

ESFUERZO DE VON-MISES PARA EL DISEÑO 3 DEL TENEDOR

Material	Esfuerzo de von-Mises (Mpa)
Bioplástico de yuca	9.555
Bioplástico de maracuyá	9.478
Bioplástico de arveja	9.4
Bioplástico de maíz	9.14
Bioplástico de trigo	9.14

El esfuerzo máximo en este diseño es el más bajo en comparación con los otros dos, lo que indica una distribución de carga más eficiente. El bioplástico de trigo y maíz tiene el menor esfuerzo (9.14 MPa) visualizándose en la Fig.78, mientras que el bioplástico de yuca alcanza el mayor valor dentro de este diseño (9.55 MPa) representada en la Fig.77. Esto muestra que este diseño está sometido a menores tensiones internas, lo que reduce el riesgo de fracturas o fallos estructurales. Aquí los puntos máximos se visualizan en la parte del refuerzo de las puntas que está ubicado más debajo de ellas, y un punto mínimo ubicado en la punta del tenedor.

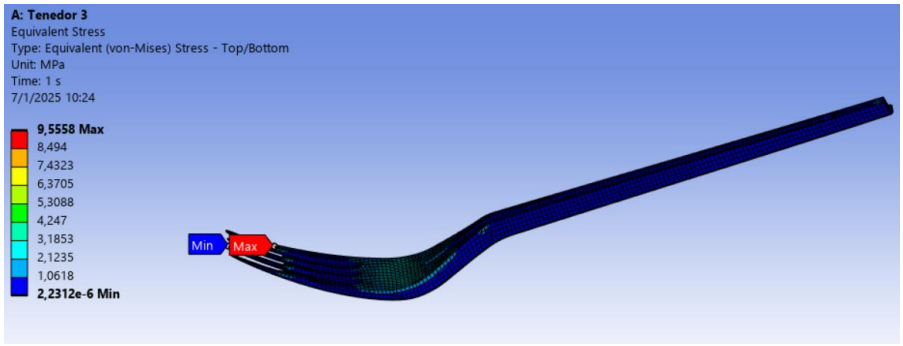


Fig 77. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de yuca.

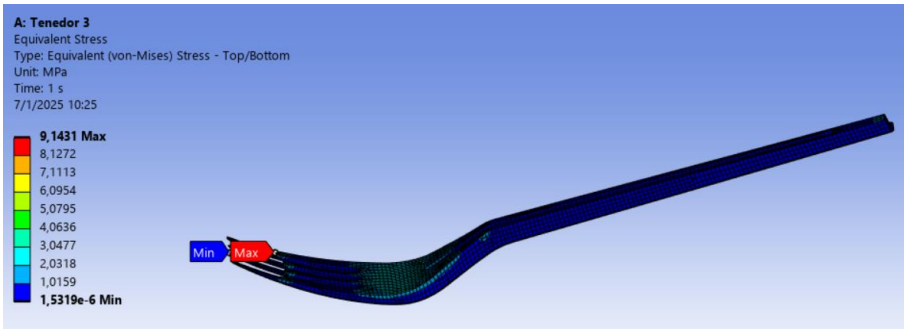


Fig 78. Esfuerzo de von-Mises del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de trigo.

3.4.2.4 Factor de seguridad

Un factor de seguridad adecuado asegura que los diseños son confiables, minimizando el riesgo de fallos estructurales.

Diseño 1

En la TABLA XXVII se detallan los datos que se obtuvieron al realizar las simulaciones en todos los materiales que se están trabajando, obteniendo valores pequeños en algunos casos.

TABLA XXVII

FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 1 DEL TENEDOR

Material	Factor de seguridad
Bioplástico de maíz	1.39
Bioplástico de maracuyá	1.06
Bioplástico de arveja	0.86
Bioplástico de yuca	0.75
Bioplástico de trigo	0.613

El factor de seguridad en este diseño varía significativamente entre los materiales. El mayor factor de seguridad se da en el bioplástico de maíz (1.39) visualizándose en la Fig. 79, mientras que el menor valor se presenta en el bioplástico de trigo (0.613) presentándose en la Fig. 80. Esto implica que algunos materiales, pueden ofrecer una estructura más confiable mientras que otros pueden tener un mayor riesgo de falla. El punto máximo se observa en el cuello del tenedor mientras que el menor está en las puntas.

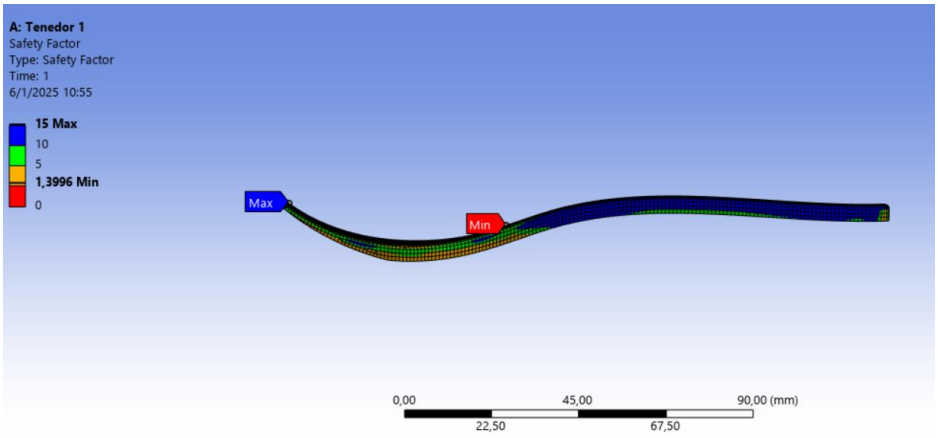


Fig 79. Factor de seguridad del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de maíz.

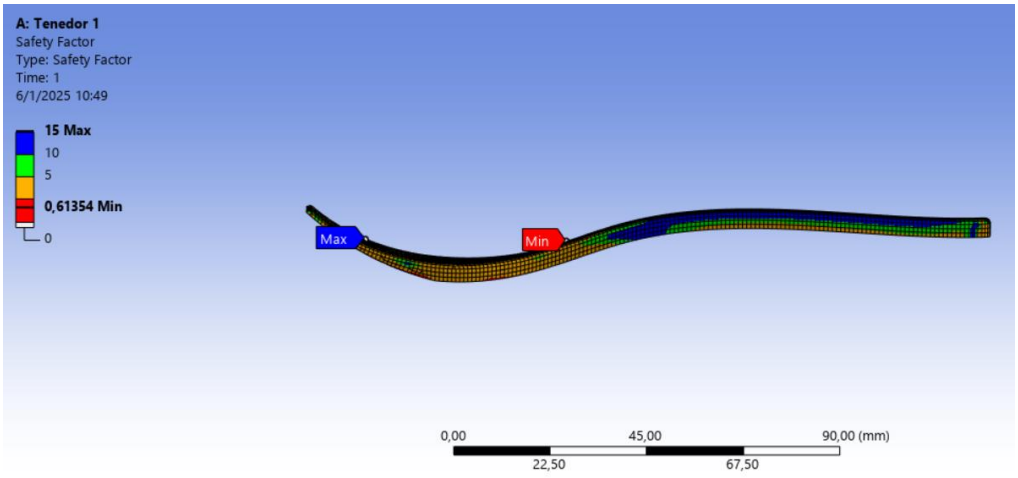


Fig 80. Factor de seguridad del diseño 1 del tenedor con el bioplástico de trigo.

Diseño 2

Los datos fueron detallados en la TABLA XXVIII que se obtuvieron de las simulaciones propuestas hacia los materiales observándose valores pequeños en comparación con el anterior diseño.

TABLA XXVIII

FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 2 DEL TENEDOR

Material	Factor de seguridad
Bioplástico de maíz	1.1
Bioplástico de maracuyá	0.88
Bioplástico de arveja	0.7
Bioplástico de yuca	0.62
Bioplástico de Trigo	0.48

El factor de seguridad en este diseño es generalmente bajo, lo que lo hace menos viable en términos de resistencia estructural. El mayor valor registrado es de 1.1 (bioplástico de maíz) encontrado en la Fig. 81, mientras que el menor valor es de 0.48 (bioplástico de trigo) correspondiente a la Fig. 82, lo que indica que este diseño no garantiza una estructura que sea segura en la mayoría de los casos. El punto máximo se visuliza en el comienzo de las puntas del tenedor y mayormente se puede encontrar de igual forma en el mango, mientras que el menor está en la mitad de las puntas y se observan más en el cuello y puntas.

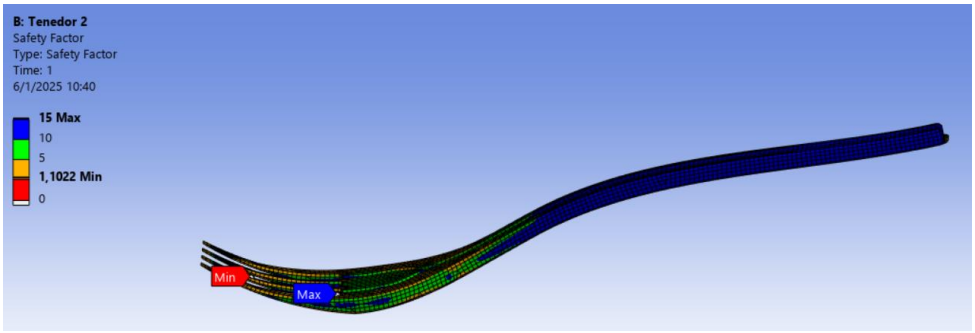


Fig 81. Factor de seguridad del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de maíz.

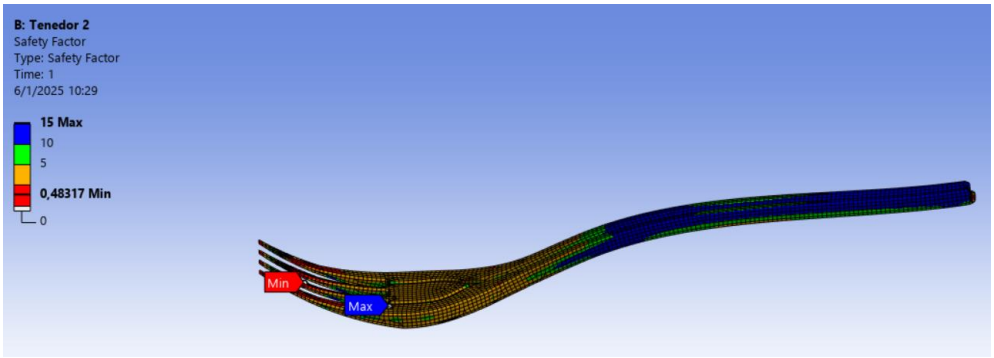


Fig 82. Factor de seguridad del diseño 2 del tenedor con el bioplástico de trigo.

Diseño 3

El factor de seguridad es más aceptable que en los otros diseños aumentando en cada material que se realizo la simulación, los valores se representan en la TABLA XXIX.

TABLA XXIX

FACTOR DE SEGURIDAD DEL DISEÑO 3 DEL TENEDOR

Material	Factor de seguridad
Bioplástico de maíz	2.39
Bioplástico de maracuyá	1.84
Bioplástico de arveja	1.48
Bioplástico de yuca	1.3
Bioplástico de Trigo	1.05

El Diseño 3 presenta los mejores valores de factor de seguridad entre los tres diseños evaluados. El bioplástico de maíz tiene el mayor factor de seguridad (2.39) observado en la Fig. 83 de igual modo podemos ver que solo hay pequeñas zonas en las que se presentan valores similares o superior que el dato obtenido. El bioplástico de arveja también muestra un buen comportamiento con 1.84, mientras que el bioplástico de trigo, aunque tiene un valor menor (1.05), sigue estando dentro de los parámetros aceptables para su uso visualizándose en la Fig.84 aquí mayormente se encuentran zonas regadas por el cuello y los dientes del utensilio. El punto máximo se visualiza en la parte del mango y el punto mínimo debajo del final de las puntas del tenedor.

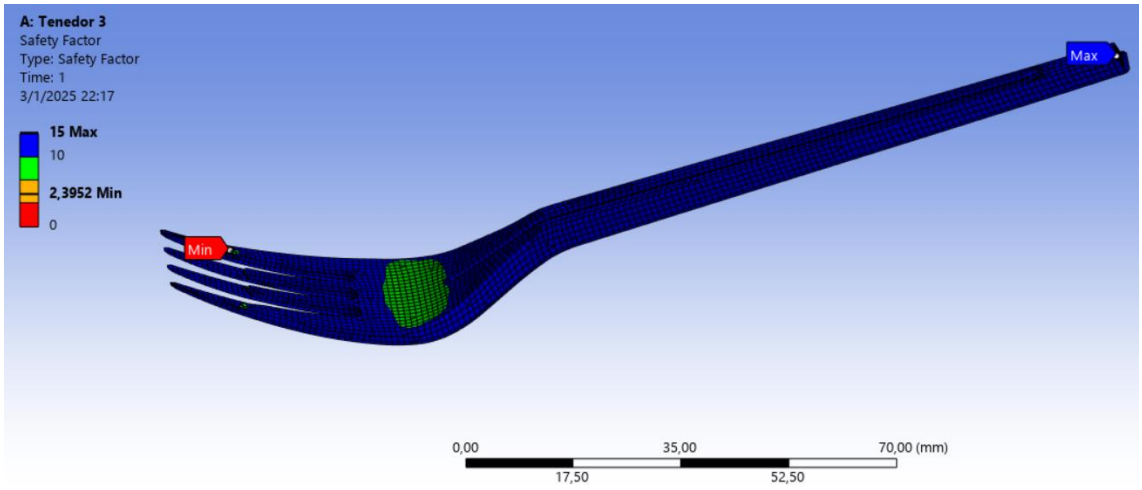


Fig 83. Factor de seguridad del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de maíz.

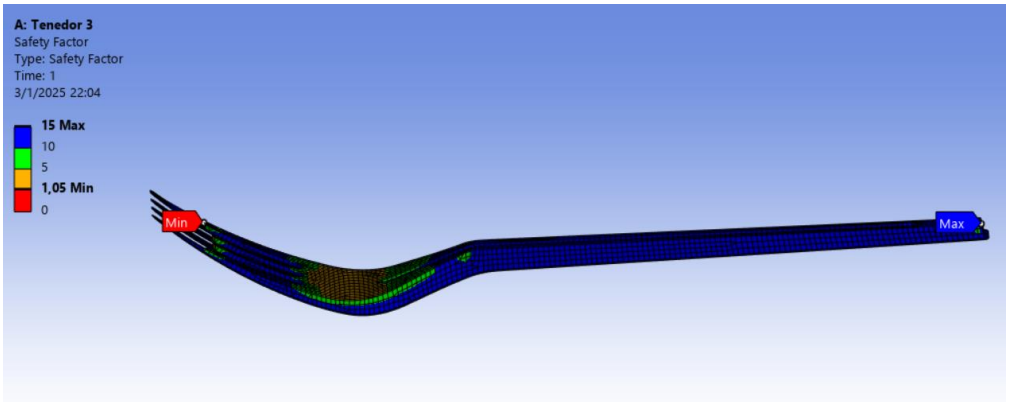


Fig 84. Factor de seguridad del diseño 3 del tenedor con el bioplástico de trigo.

3.4.2.5 Volumen

El volumen es un factor relevante para optimizar el uso de materiales biodegradables, ya que afecta tanto los costos de fabricación como el impacto ambiental del producto final. En este análisis, se compararon los volúmenes de los diferentes diseños para encontrar un equilibrio entre resistencia estructural y eficiencia en el uso del material.

Diseño 1

El volumen para este diseño se obtuvo de 3303.6 mm^3 con lo propuesto en la cuchara se utilizo el mismo proceso y se obtuvo la cantidad de material que se utilizara al fabricar el utensilio dependiendo del bioplástico.

TABLA XXX

CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 1 DEL TENEDOR

Material	Volumen (mm^3)	Densidad (g/mm^3)	Cantidad de material (g)
Bioplástico de yuca	3303.6	0.00135	4.45986
Bioplástico de maracuyá	3303.6	0.0013	4.29468
Bioplástico de arveja	3303.6	0.0013	4.29468
Bioplástico de Trigo	3303.6	0.00084	2.775024
Bioplástico de maíz	3303.6	0.00082	2.708952

En términos de consumo de material, este diseño muestra valores moderados. El bioplástico de maíz es el más eficiente, con un consumo de 2.70 g, mientras que el bioplástico de yuca es el que más material requiere, con 4.45 g. En general, este diseño

tiene un consumo de material relativamente equilibrado, aunque su alta deformación y esfuerzo lo hacen menos viable.

Diseño 2

Para este diseño se obtuvo un valor de 3350.6 mm^3siendo un valor más alto considerando el diseño anterior variando por algunas decenas. La TABLA XXXI muestra la cantidad de material que se requiere para la producción del utensilio con sus diferentes materiales.

TABLA XXXI

CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 2 DEL TENEDOR

Material	Volumen (mm^3)	Densidad (g/mm^3)	Cantidad de material (g)
Bioplástico de yuca	3350.6	0.00135	4.52331
Bioplástico de maracuyá	3350.6	0.0013	4.35578
Bioplástico de arveja	3350.6	0.0013	4.35578
Bioplástico de Trigo	3350.6	0.00084	2.814504
Bioplástico de maíz	3350.6	0.00082	2.747492

Este diseño tiene el mayor consumo de material. El bioplástico de maíz requiere 2.747 g, mientras que el bioplástico de yuca necesita 4.52 g, el mayor consumo registrado en el análisis. Este alto requerimiento de material aumenta los costos y reduce la eficiencia de producción.

Diseño 3

El Diseño 3 contiene un volumen de 10175 mm^3 considerado un valor alto de todos los diseños y favoreciendo sus propiedades en el utensilio. La cantidad de material esta detallada en la TABLA XXXII para cada bioplástico visto en este análisis.

TABLA XXXII

CANTIDAD DE MATERIAL DEL DISEÑO 3 DEL TENEDOR

Material	Volumen (mm^3)	Densidad (g/mm^3)	Cantidad de material (g)
Bioplástico de yuca	10175	0.00135	13.73625
Bioplástico de maracuyá	10175	0.0013	13.2275
Bioplástico de arveja	10175	0.0013	13.2275

Material	Volumen (mm^3)	Densidad (g/mm^3)	Cantidad de material (g)
Bioplástico de Trigo	10175	0.00084	8.547
Bioplástico de maíz	10175	0.00082	8.3435

En términos de consumo de material, obtiene mayor utilización que los otros, sin embargo cumpla las funcionabilidades a las que va a ser expuesto el utensilio. El bioplástico de maíz requiere la menor cantidad (8.34 g), mientras que el bioplástico de yuca necesita 13.74 g. Aunque el trigo usa un poco más material que el bioplástico menor en este diseño, su menor deformación y esfuerzo lo convierten en una opción viable para la fabricación del utensilio, además de la disponibilidad que se tiene de este material lo hacen accesible. El volumen del tercer diseño fue el mayor de todos los diseños observando que en el diseño 3 se tiene más rigidez y posee menos deformación que los otros diseños.

3.4.2.6 Análisis de resultados

A través de las simulaciones desarrolladas se puede observar cómo se comportan los diferentes materiales en cada uno de los diseños siendo fundamentales para seleccionar el diseño con el que se va a llevar acabó la fabricación del molde, detallando los resultados obtenidos en la TABLA XXXIII.

TABLA XXXIII

COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL TENEDOR

	Materia prima	Deformación (mm)	Esfuerzo (Mpa)	Factor de seguridad	Material utilizado (g)
Diseño 1	Bioplástico de maíz	126.09	15.65	1.39	2.36
	Bioplástico de maracuyá	209.45	16.4	1.06	3.75
	Bioplástico de yuca	119.27	16.58	0.75	3.89
	Bioplástico de	64.65	16.24	0.86	3.75

	Materia prima	Deformación (mm)	Esfuerzo (Mpa)	Factor de seguridad	Material utilizado (g)
	arveja Bioplástico de Trigo	53.29	15.65	0.613	2.42
Diseño 2	Bioplástico de maíz	173.86	19.87	1.1	4.15
	Bioplástico de maracuyá	293.4	19.87	0.88	6.58
	Bioplástico de yuca	167.72	19.87	0.62	6.83
	Bioplástico de arveja	90.25	19.87	0.7	6.58
	Bioplástico de Trigo	73.49	19.87	0.48	4.25
Diseño 3	Bioplástico de maíz	5.62	9.14	2.39	4.69
	Bioplástico de maracuyá	9.17	9.478	1.84	7.44
	Bioplástico de yuca	5.2	9.555	1.3	7.73
	Bioplástico de arveja	2.84	9.4	1.48	7.44
	Bioplástico de Trigo	2.375	9.14	1.05	4.81

Para elegir de manera apropiada el diseño se realizaron relaciones de cada alternativa con sus distintos materiales con el objetivo de visualizar cual de esos materiales logra tener un mejor rendimiento, además que se evaluó su disponibilidad en la selección del material a realizar la relación debido a que puede afectar la fabricación del utensilio, teniendo en cuenta que todos los materiales pueden utilizarse en la producción del utensilio con el diseño que sea seleccionado, pero obteniendo

diferentes propiedades (Fig. 85-87).

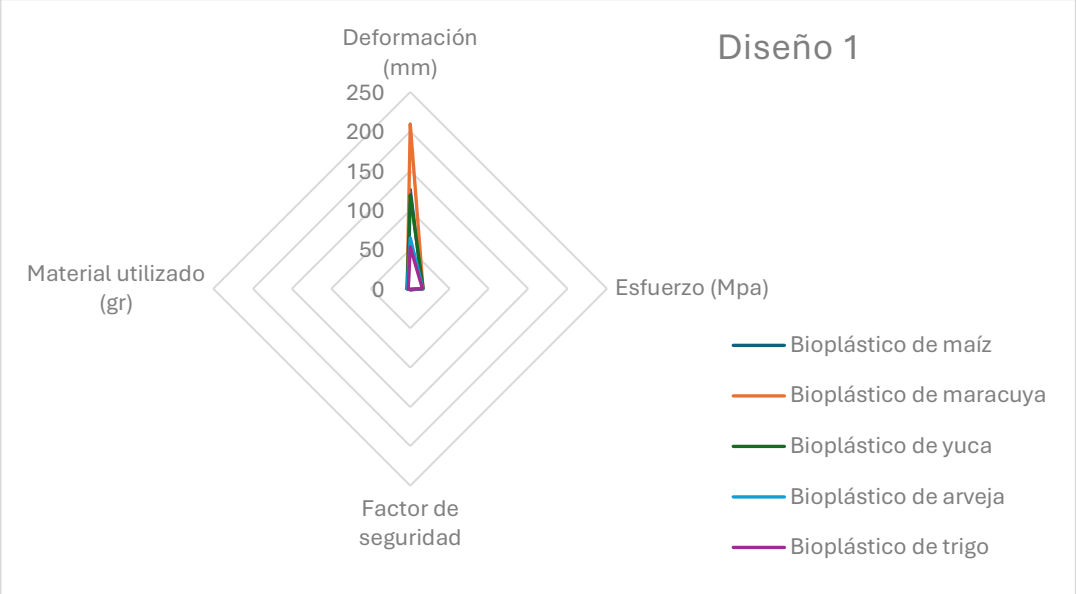


Fig 85. Relación de los materiales biodegradables en el diseño 1 del tenedor.

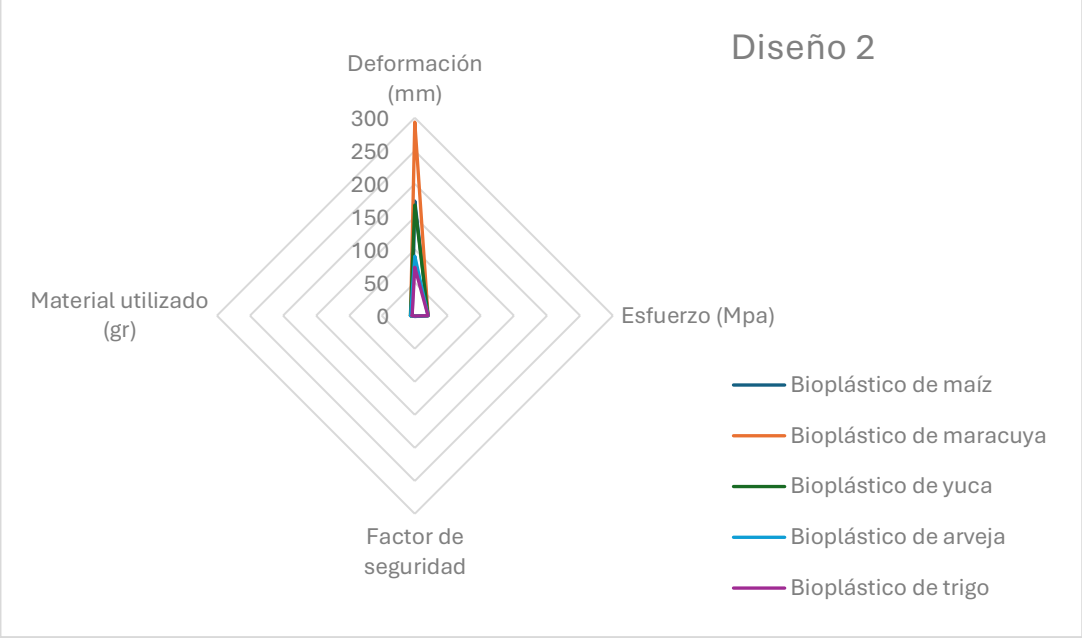


Fig 86. Relación de los materiales biodegradables del diseño 2.

Analizando los materiales se puede detectar que el bioplástico de trigo logra tener buenas propiedades y soporta de igual manera las cargas, combinado rigidez, seguridad y sostenibilidad de manera equilibrada mostrando valores de deformación bajos brindándonos una excelente rigidez por ello se desarrolló una relación con este

material para definir de manera apropiada el diseño, además que posee una buena disponibilidad en el mercado (Fig. 149).

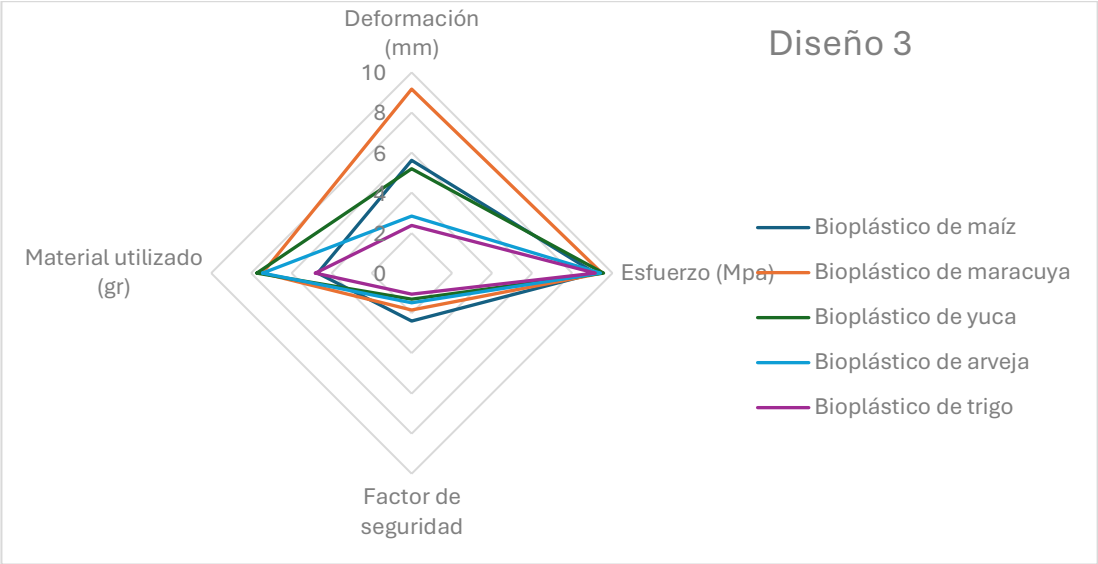


Fig 87. Relación de los materiales biodegradables del diseño 3.

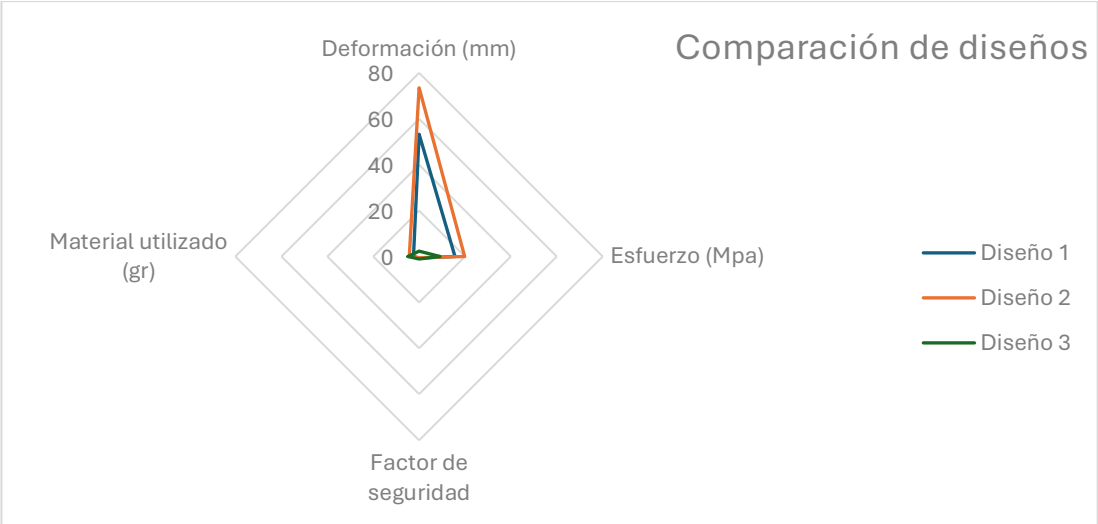


Fig 88. Comparación de los diseños con el material bioplástico de trigo.

Tras analizar los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas en ANSYS para los tres diseños evaluados, se puede concluir que el Diseño 3 es la mejor opción a seguir para el desarrollo del molde. El Diseño 3 es el que menos se deforma de todos los diseños, lo que indica una mayor rigidez estructural y, por lo tanto, una mejor capacidad para mantener su forma bajo cargas aplicadas. Por ejemplo, con el bioplástico de maíz, se deformó solo 5,62 mm, mientras que en el Diseño 1 y el Diseño

2, se deformó 126,09 mm y 173,86 mm, respectivamente. Este nivel de rigidez es una característica esencial para que el utensilio pueda realizar su función prevista, sin hacer concesiones a su integridad o funcionalidad durante su uso.

En segundo lugar, la tensión máxima soportada por el Diseño 3 es mucho menor que en otros, lo que significa que dicho diseño distribuye las cargas de manera más efectiva. Además, para la mayoría de los materiales probados, el factor de seguridad del Diseño 3 es aceptable o alto como 2,39 en el caso del bioplástico de maíz y 1,84 en el caso del bioplástico de maracuyá, este diseño cumple los estándares necesarios para la seguridad del utensilio en uso. Se presenta en el que el Diseño 2 arrojó factores de seguridad muy bajos y el Diseño 1 ofreció valores apenas suficientes para algunos materiales.

3.5 Simulación en el molde

3.5.1 Simulación térmica

Para determinar el tiempo necesario para que todo el molde alcance la temperatura requerida de 200 °C se realizaron simulaciones en el software ANSYS tanto para el molde inferior como para el molde superior con lo cual se asegura que la superficie de contacto con el material tiene la temperatura adecuada para la elaboración de los utensilios.

Las resistencias utilizadas están construidas con acero inoxidable AISI 304 por lo que tienen una potencia de 500 W y su coeficiente de convección es de 5 $W/m^2 \cdot °C$, mientras que el calor generado internamente es de 0,00125 W/mm^3. En cuanto a las dimensiones las resistencias cuentan con las siguientes medidas: 100 × 100 × 4 mm. El sistema alcanza la temperatura requerida de 200 °C en un periodo de 60 segundos.

Para la simulación necesaria se realizó un análisis térmico transitorio el cual contó con una temperatura ambiental de 20°C y se añadió la resistencia como una carga térmica aplicada en donde se incluyó sus diferentes características como el coeficiente de convección. Además, se añadió las propiedades del material escogido para construir el molde.

3.5.1.1 Molde Inferior

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se realizaron varias simulaciones en distintos tiempos que van entre 60 a 550 segundos, siendo este último tiempo el cuál se tardará en alcanzar la máxima temperatura en todo el molde.

Comportamiento del molde inferior a los 60 segundos

A los 60 segundos la matriz podemos observar en la Fig. 89 que en la cara frontal solo llega a calentarse la zona donde está ubicada la resistencia teniendo un valor máximo de 200 °C mientras que en los contornos no llega a calentarse por completo, del mismo ocurre en la Fig. 90 en la cara posterior donde se ubica la resistencia notamos que de igual manera en los contornos no llega calentarse por completo alcanzando los 140.2 °C debido a que en esos contornos hay más material que en otras zonas.

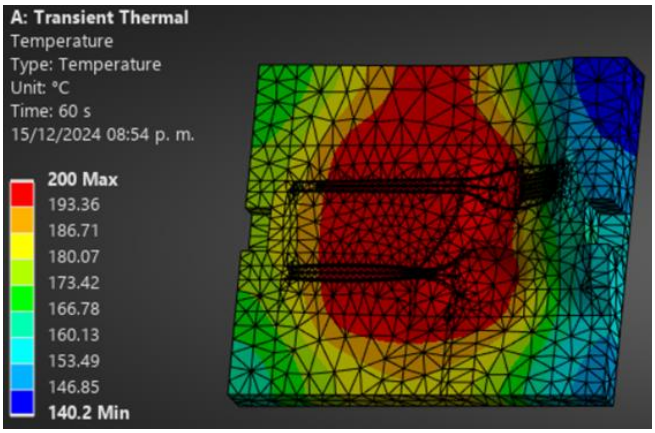


Fig 89. Distribución de temperatura en la cara frontal del molde inferior a 60 segundos

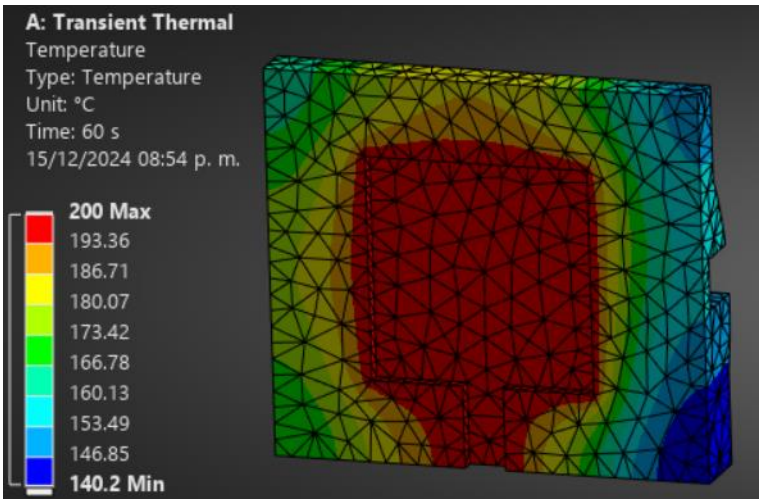
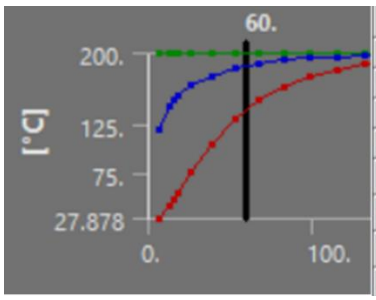


Fig 90.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde inferior a 60 segundos

En la Fig. 91 se representa una gráfica en la que se visualiza la evolución de la temperatura con el tiempo para el molde durante los 60 segundos. Se representan 3 curvas: la temperatura miníma (roja), la temperatura máxima (verde) y la temperatura promedio (azul). La curva de temperatura minima comienza en aproximadamente 27.878 °C mostrando un aumento progresivo con el tiempo alcanzando un valor máximo de 150.52 °C lo que nos indica que algunas zonas de la matriz demoran en calentarse, aunque la gráfica nos dice que el calor se está distribuyendo de manera gradual hacia todo el molde. Por otro lado la temperatura máxima permanece constante durante todo el proceso confirmando que en algunas zonas desde el principio ya comenzo a obtener la temperatura deseada. En cuanto a la temperatura promedio, se observa un incremento progresivo desde 121.37 °C a los 7 segundos hasta 188.99 °C a los 60 segundos. Esto indica que, en términos generales, la matriz inferior se está calentando de manera eficiente y acercándose al equilibrio térmico. A medida que la temperatura promedio se aproxima a los 200 °C, se puede inferir que la distribución de calor se vuelve más uniforme con el tiempo.



	Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
1	7.	27.878	200.	121.37
2	12.942	40.326	200.	145.21
3	15.651	46.991	200.	151.81
4	18.359	54.335	200.	156.69
5	26.485	76.807	200.	166.47
6	39.032	106.06	200.	176.41
7	53.082	131.15	200.	183.8
8	67.879	150.52	200.	188.99

Fig 91.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura del molde inferior en 60 segundos.

Comportamiento del molde inferior a los 180 segundos

En la Fig. 92 y 93 a los 180 segundos la distribución en la cara frontal y posterior del molde inferior llega a obtener más zonas en donde el calentamiento abarca la temperatura deseada, siendo el valor más bajo 195.98 °C ubicado en una de las puntas del molde ya acercándose a los 200 °C teniendo ese valor en la zona de la mitad y de ahí se distribuyen temperaturas entre los dos intervalos de temperatura alrededor de todo el molde, observando una mejoría en la distribución de la temperatura comparándolo con el tiempo anterior, ya alcanzando rangos de temperatura anhelados en todo el molde.

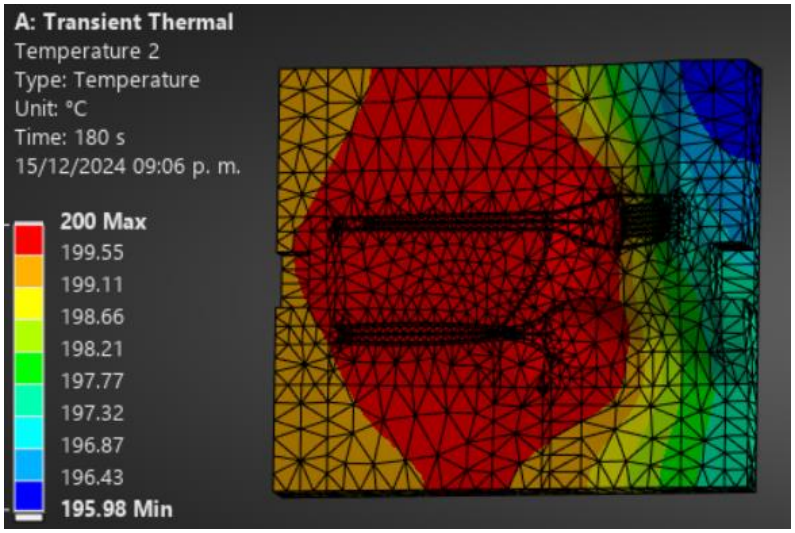


Fig 92.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde inferior a 180 segundos.

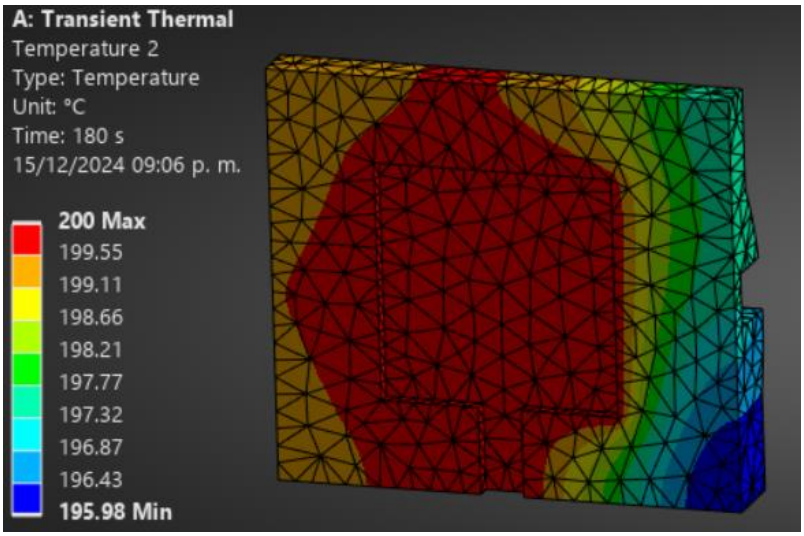
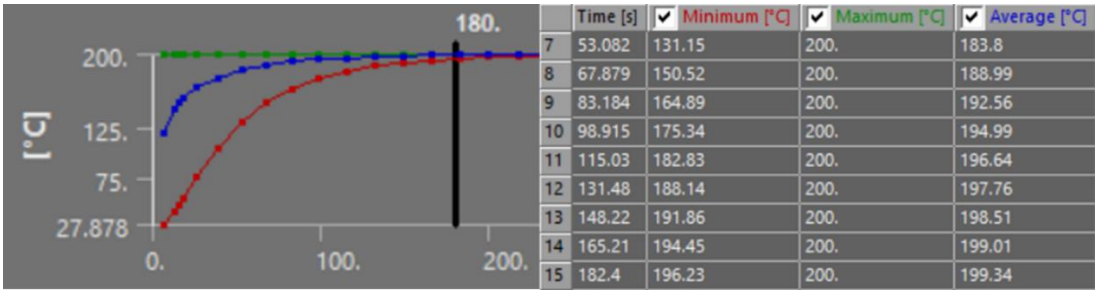


Fig 93.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde inferior a 180 segundos.

La gráfica y tabla visualizadas en la Fig. 94 corresponden a la distribución de la temperatura con el tiempo, en este caso la temperatura minima comienza desde los 67,87 en los que se dejo anteriormente obteniendo un valor de temperatura minimo de 150.52 °C hasta llegar a la temperatura de 196.23 en el tiempo correspondiente a los 180 segundos contemplando mejorias en la distribución de la temperatura alrededor de todo el molde, en cambio la temperatura promedio se observa un incremento progresivo hasta los 199.34 °C ya acercandose al equilibrio de la tempertura en todo el molde.



	Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
7	53.082	131.15	200.	183.8
8	67.879	150.52	200.	188.99
9	83.184	164.89	200.	192.56
10	98.915	175.34	200.	194.99
11	115.03	182.83	200.	196.64
12	131.48	188.14	200.	197.76
13	148.22	191.86	200.	198.51
14	165.21	194.45	200.	199.01
15	182.4	196.23	200.	199.34

Fig 94.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz inferior en 180 segundos.

Comportamiento del molde inferior a los 300 segundos

El molde inferior a este tiempo tiene una distribución uniforme de la temperatura teniendo como valor mínimo los 199.73 °C teniendo una desviación estándar de 0.27 °C que es un valor aceptable y que no varia mucho del valor que se requiere, con ese intervalo de temperatura se logra tener una buena eficacia al momento de producir los utensilios (Fig. 95 y 96).

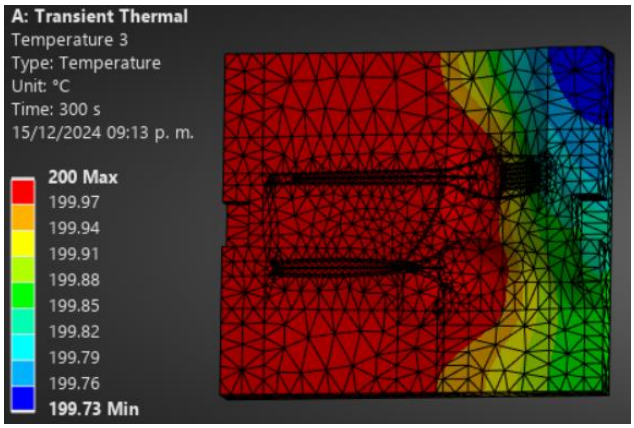


Fig 95.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde inferior a 300 segundos.

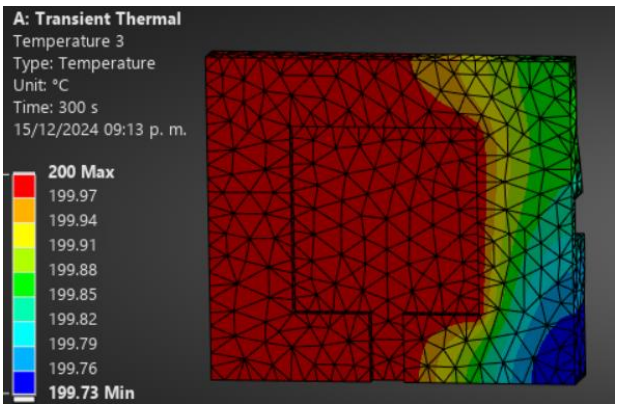
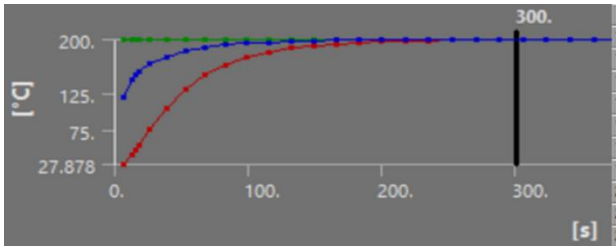


Fig 96.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde inferior a 300 segundos.

Las gráficas en este trayecto de tiempo existe ya una estabilidad en la temperatura minima obteniendo como tempertura de inicio de 196.23 °C considerando una desviación de 3.77 °C hasta los 199.76 que se encuentran en el molde, al igual la temperatura promedio ya se estabiliza obteniendo valores que sobrepasan los 199 °C considerando que la temperatura ya se encuentra constante en estos punto, de igual modo las tres gráficas se encuentran estables y llegando al valor deseado.



	Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
13	148.22	191.86	200.	198.51
14	165.21	194.45	200.	199.01
15	182.4	196.23	200.	199.34
16	199.75	197.45	200.	199.56
17	217.22	198.28	200.	199.71
18	234.79	198.84	200.	199.81
19	252.36	199.22	200.	199.87
20	269.93	199.48	200.	199.92
21	287.5	199.65	200.	199.94
22	305.07	199.76	200.	199.96

Fig 97.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz inferior en 300 segundos.

Al realizar las simulaciones en intervalos de tiempo entre 60 y 300 segundos y a través de los diagramas visualizamos un aumento progresivo y consistente en la temperatura en las caras frontal y posterior hasta llegar a los 252.36 donde la matriz logra alcanzar valores próximos a los 200 °C que al llevarlos a la práctica se consideran valores aceptables para su buen funcionamiento y poder trabajar.

3.5.1.2 Molde Superior

Al igual que la matriz inferior se realizó varias simulaciones del tiempo en que se tarda en alcanzar completamente el molde la temperatura de 200°C con tiempos entre 60 a 450 segundos, siendo este último el tiempo que tarda en alcanzar completamente la temperatura necesaria.

Molde superior a los 60 segundos

A los 60 segundos en el molde superior encontramos un valor máximo de 200 °C que se encuentra en el centro debido a que en esa posición se encuentra ubicado la resistencia por lo que va a tener más contacto con ella y se va calentar mucho más rápido que otras zonas y un mínimo de 147.74 °C correspondiente a una de las esquinas del molde, en la parte frontal como posterior se encuentra de igual forma ubicado los puntos, de ahí las temperaturas varían entre el intervalo de los dos puntos (Fig. 98 y 99).

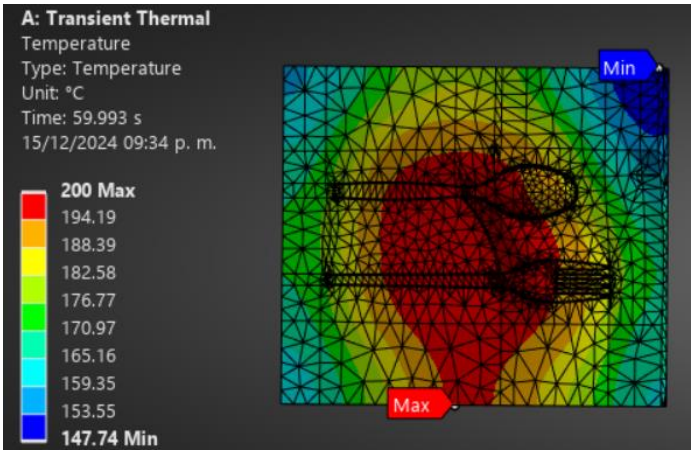


Fig 98.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde superior a 60 segundos.

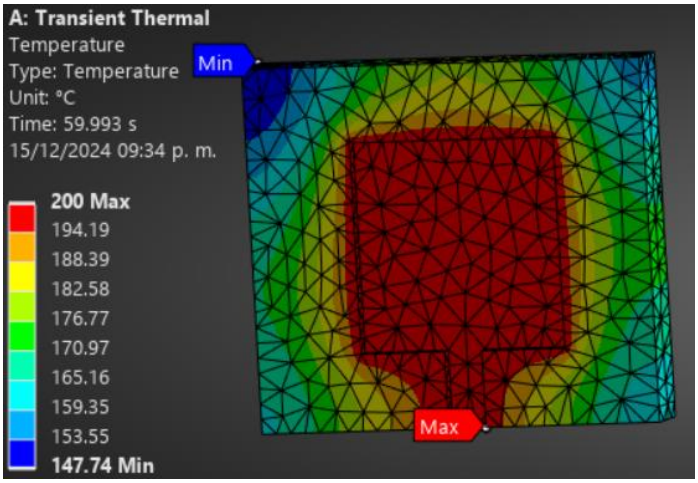
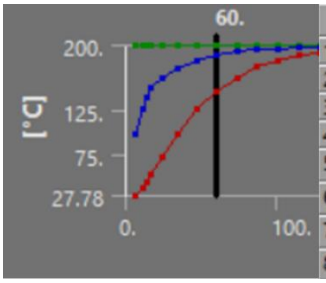


Fig 99.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde superior a 60 segundos.

La curva de temperatura mínima comienza en aproximadamente 27.776 °C mostrando un incremento progresivo con el tiempo obteniendo una temperatura de 147.74 °C a los 60 segundos indicando que en algunas zonas el molde tarda más en calentarse. En lo que respecta a la temperatura máxima permanece constante durante todo el proceso, lo que indica que algunas zonas llegaron a calentarse desde el primer instante que se realizó el análisis. Por otro lado la temperatura promedio se observó un incremento de los 99.51 °C a los 188.6 °C, mostrando que el molde se está calentando de manera eficiente y acercándose a la estabilidad de la temperatura. Las gráficas nos indican que hay una variación entre las tres temperaturas siendo la más baja la temperatura mínima, teniendo una desviación de 52.26 °C con respecto a la temperatura que se requiere

alcanzar considerando que todavía se encuentra en valores lejanos (Fig. 100).



	Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
1	7.	27.776	200.	99.512
2	11.28	35.93	200.	127.88
3	14.214	42.932	200.	141.09
4	17.148	50.98	200.	150.39
5	24.081	71.632	200.	163.27
6	34.318	99.446	200.	174.49
7	46.719	126.34	200.	182.87
8	59.993	147.74	200.	188.6

Fig 100.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz superior en 60 segundos.

Comportamiento del molde superior a los 180 segundos

Al pasar el tiempo pertinente se obtuvo una temperatura mínima de 197.91 °C, con ello se determina que la temperatura sigue en aumento cada vez más cerca de alcanzar la temperatura requerida, observando que los puntos máximos y mínimos se mantienen constantes al pasar el tiempo.

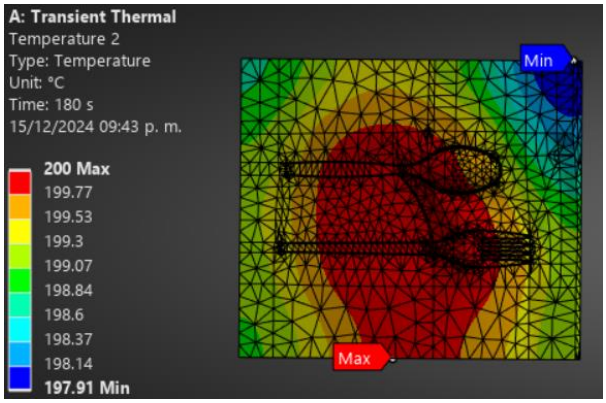


Fig 101.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde superior a 180 segundos.

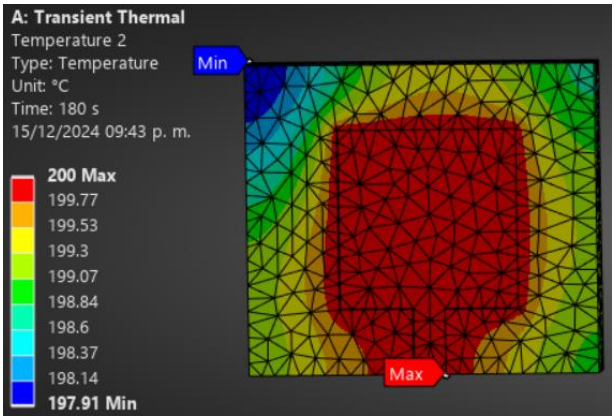
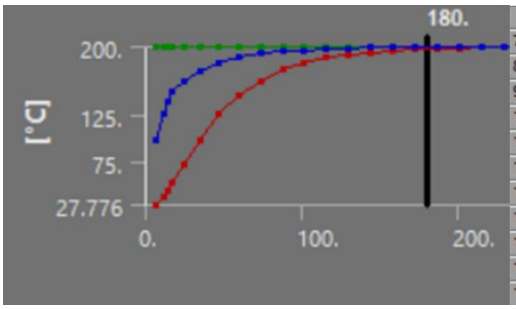


Fig 102.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde superior a 180 segundos.

La temperatura minima empieza desde los 147.74 °C a los 198.24 °C como temperatura máxima en el tiempo determinado considernado que hay una diferencia de 1.76 °C con la temperatura deseada, comparando con el tiempo anterior este se encuentra más cerca de alcanzar la temperatura a la que queremos llegar. De igual manera en la temperatura promedio que empieza desde los 188.6 °C hacia los 199.71 °C manteniendo ya una estabilidad de temperaturas.



	Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
7	46.719	126.34	200.	182.87
8	59.993	147.74	200.	188.6
9	73.602	163.49	200.	192.43
10	87.371	174.7	200.	194.97
11	101.24	182.57	200.	196.66
12	115.19	188.03	200.	197.78
13	129.2	191.81	200.	198.53
14	143.26	194.41	200.	199.02
15	157.38	196.19	200.	199.35
16	171.54	197.41	200.	199.57
17	185.74	198.24	200.	199.71

Fig 103.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz superior en 180 segundos.

Comportamiento del molde superior a los 300 segundos

Con el tiempo de 300 segundos la temperatura mínima contuvo un valor de 199.92 °C teniendo un mejor acercamiento a los 200 °C que se espera que tenga el molde presentando máximos y mínimos de igual forma que en los tiempos anteriores, la distribución de la temperatura se da en todo el molde en el intervalo de temperatura correspondiente tal como se observa en la Fig. 104 y 105.

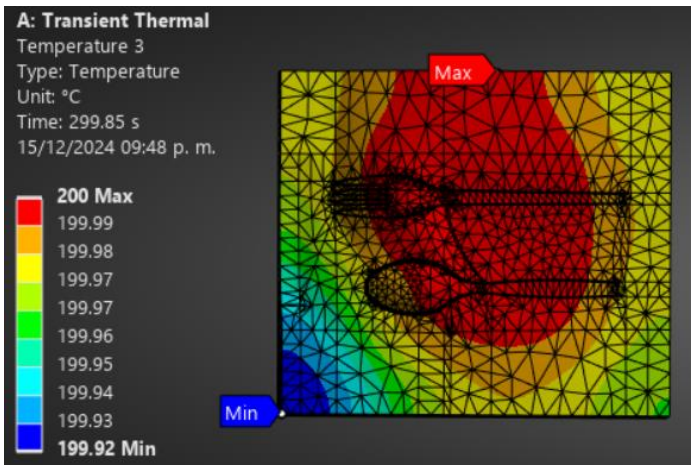


Fig 104.- Distribución de temperatura en la cara frontal del molde superior a 300 segundos.

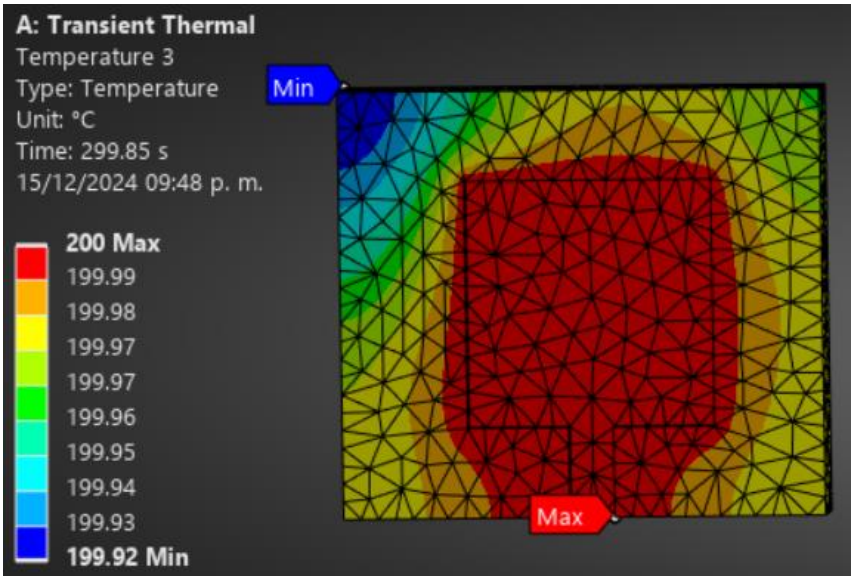
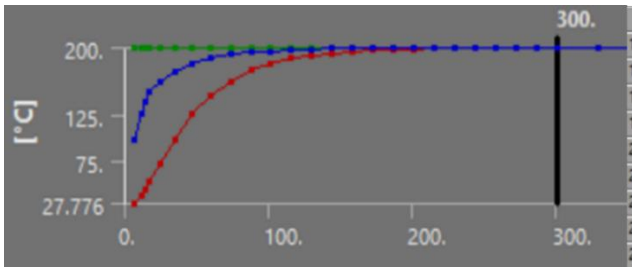


Fig 105.- Distribución de temperatura en la cara posterior del molde superior a 300 segundos.

En las gráficas se puede observar que en el tiempo de los 200 °C ya comienzan a estabilizarse las gráficas presentando una disminución de variación entre las tres gráficas, con un valor de 0.11 °C de variación entre los 199.89 °C que se obtiene en este tiempo a los 200 °C, con el valor de la desviación se logra apreciar que es un valor menor y que ya no presenta mucha diferencia con el valor deseado concluyendo que en este tiempo se puede comenzar a trabajar para la producción de los utensilios en el molde (Fig. 106).



	Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]
16	171.54	197.41	200.	199.57
17	185.74	198.24	200.	199.71
18	199.97	198.81	200.	199.81
19	214.24	199.19	200.	199.87
20	228.51	199.45	200.	199.92
21	242.78	199.63	200.	199.94
22	257.04	199.75	200.	199.96
23	271.31	199.83	200.	199.98
24	285.58	199.89	200.	199.98

Fig 106.- Diagrama de Tiempo vs Temperatura de la matriz superior en 300 segundos.

Se realizaron las mismas simulaciones de tiempo que la matriz inferior obteniendo que desde los 214.24 segundos podemos considerar un valor en el que podemos comenzar a trabajar.

3.5.2 Análisis de compresión

Para este análisis de termocompresión se utilizó el software ANSYS, permitiendo examinar las deformaciones estructurales y el esfuerzo equivalente que soportan las matrices durante el proceso. Este estudio se enfoca en comprender con mayor precisión cómo responden las matrices a las condiciones de carga aplicadas. La fuerza máxima aplicada, generada por el cilindro de la máquina, es de 3117 N, y los resultados obtenidos observados en la Fig 168 a la Fig 170 ofrecen una visión detallada del comportamiento de las matrices bajo estas fuerzas.

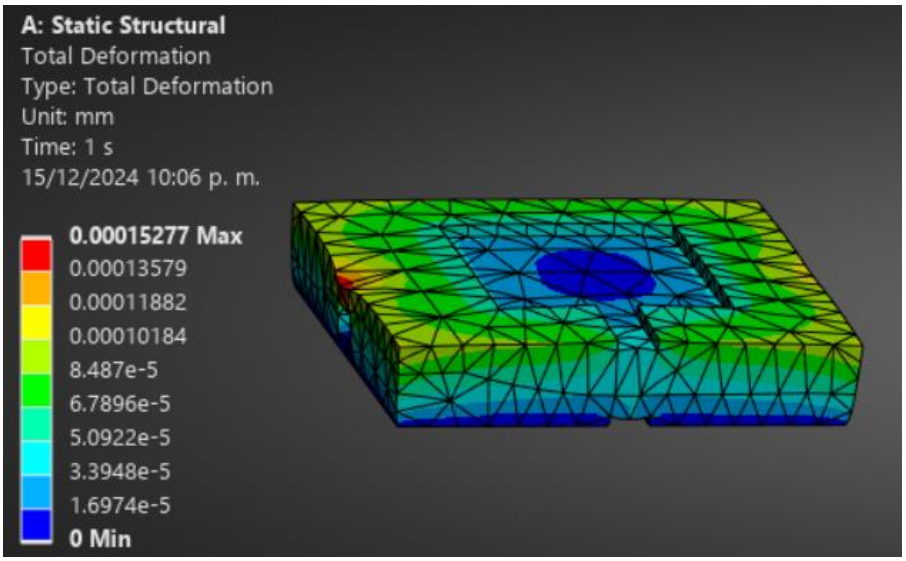


Fig 107.- Deformación total de los moldes unidos.

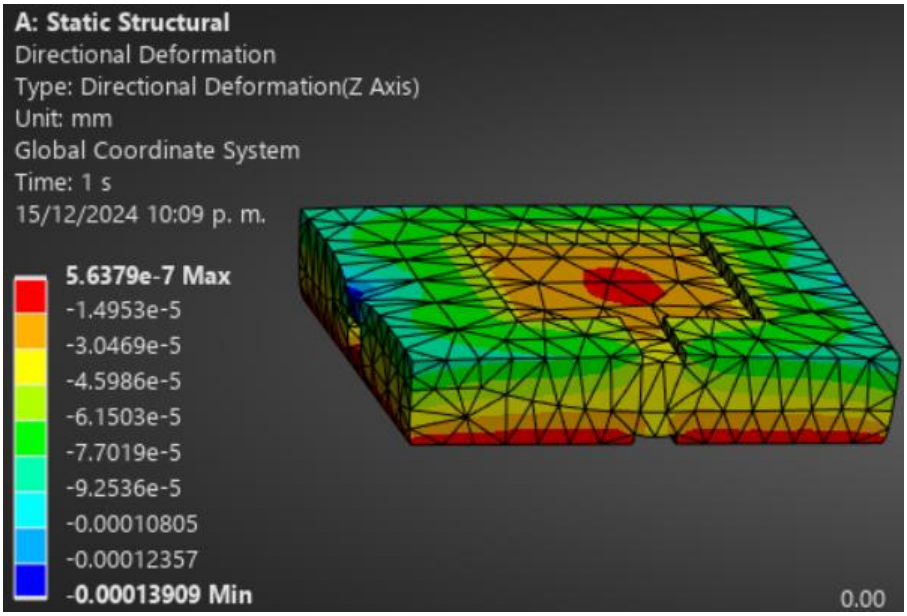


Fig 108.- Deformación direccional (eje z).

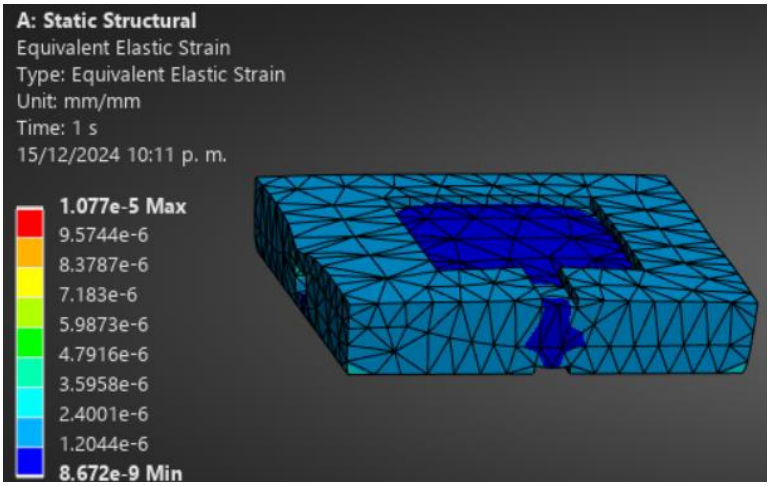


Fig 109.- Esfuerzo equivalente (Von-Mises).

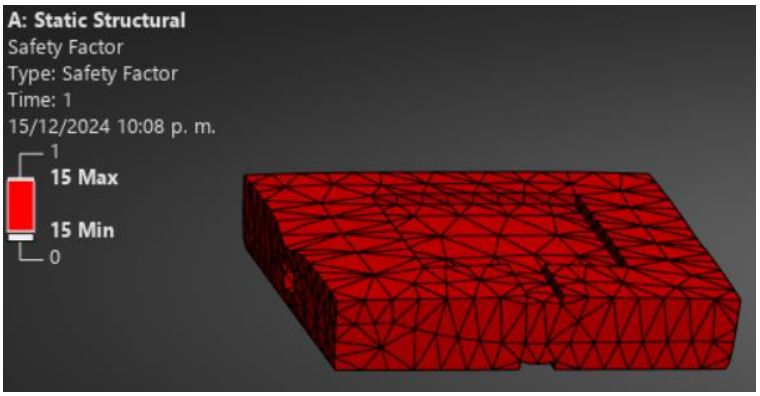


Fig 110.- Factor de seguridad de los moldes unidos.

La modelación es de gran importancia para el diseño y la fabricación de moldes, ya que permite determinar cómo se deforman bajo la fuerza de cierre del pistón de la máquina. Este proceso ayuda a identificar posibles puntos débiles en la estructura, evitar fallos durante la operación y prolongar su vida útil. Además, contribuye a mejorar el diseño de los moldes para garantizar una producción más eficiente, reduciendo los costos y los tiempos de fabricación. Por lo tanto, esta herramienta se ha consolidado como un elemento clave para asegurar la calidad y la fiabilidad en la fabricación de los moldes.

3.6 Mecanizado del molde

Para la simulación del maquinado en los moldes se comenzó definiendo el plano de trabajo, el tipo de máquina a utilizar y con la extracción de los rasgos mecanizables

para elaborar un plan de operaciones y finalmente generar y simular el camino que siguen las herramientas.

3.6.1 Definición de la máquina

Al definir la máquina podemos implementar las características de la fresa a utilizar en el programa, esto ayuda a simular las condiciones reales en que el molde se maquinará (Fig. 111).

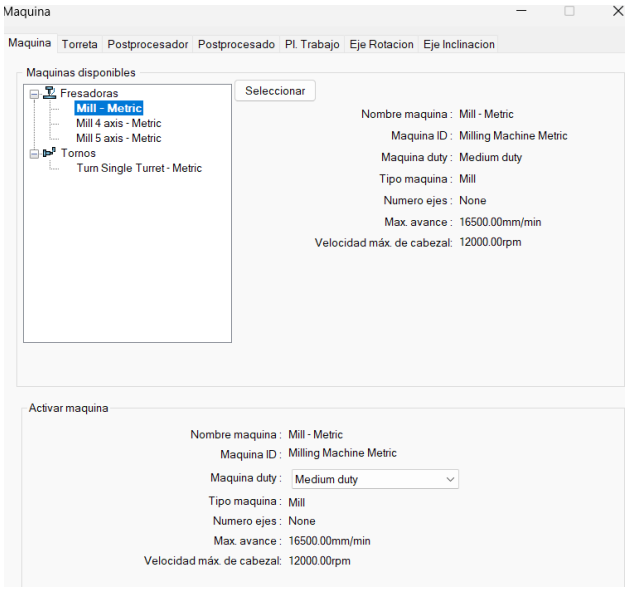


Fig 111.- Definición de máquina en SolidWorks.

3.6.2 Definición del Tocho

El tocho es el bloque de material que se dispone para maquinar el molde, en el programa se puede replicar las medidas de este para obtener las operaciones necesarias en la materia prima (Fig. 112).

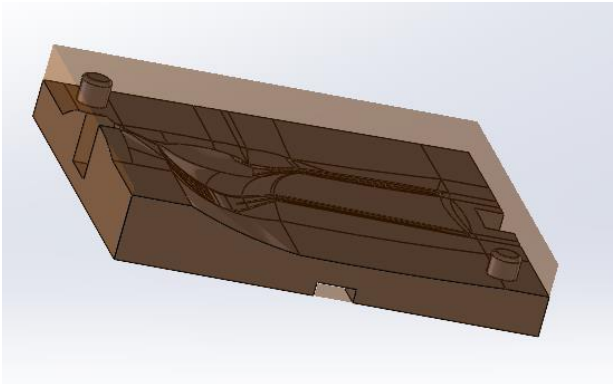


Fig 112.- Definición del tocho en SolidWorks.

3.6.3 Definición del plano de trabajo

Para comenzar con las operaciones es necesario definir un plano de trabajo donde la maquinaria ingresará y realizará las respectivas operaciones (Fig. 113 y 114).

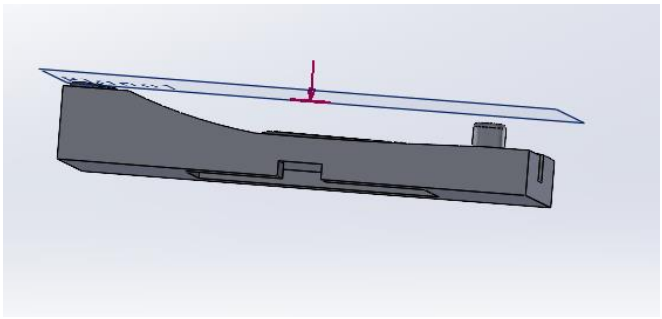


Fig 113.- Definición del plano de trabajo en el molde inferior.

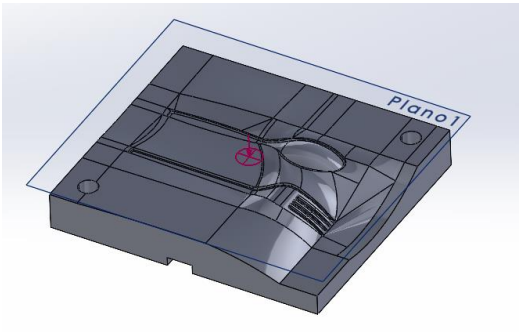


Fig 114.- Definición del plano de trabajo en el molde superior.

3.6.4 Extracción de rasgos mecanizables

El siguiente paso es la extracción de los rasgos mecanizables mediante el uso de las diferentes herramientas en SolidWorks, las cuales son diferentes para superficies planas o curvas (Fig. 115).

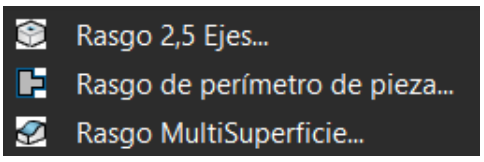


Fig 115.- Herramientas de extracción de rasgos en SolidWorks.

3.6.5 Generar Plan de Operaciones

El siguiente paso es generar el plan de operaciones que indique los diferentes procesos para lograr maquinar las diferentes geometrías que componen el molde (Fig. 116 y 117).

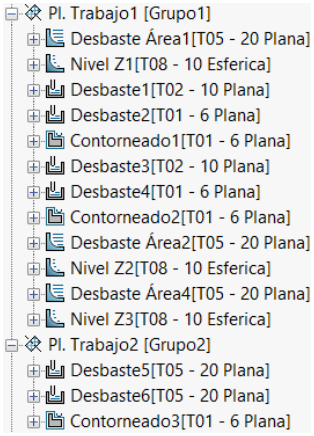


Fig 116.- Plan de operaciones del molde inferior.

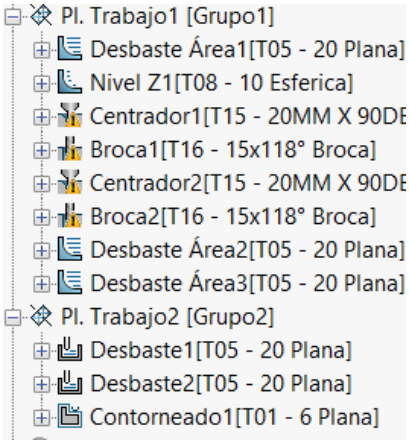


Fig 117.- Plan de operaciones para el molde superior.

3.6.6 Generar el camino de las herramientas

Uno de los últimos pasos es generar el camino de la herramienta para de esta manera el programa calcule el mejor camino para cumplir con las operaciones establecidas (Fig. 118 y 119).

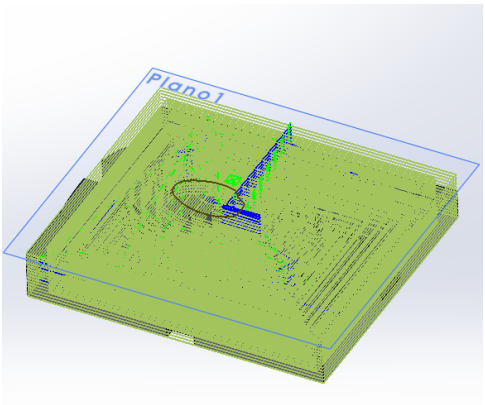


Fig 118.- Camino de herramientas del molde inferior.

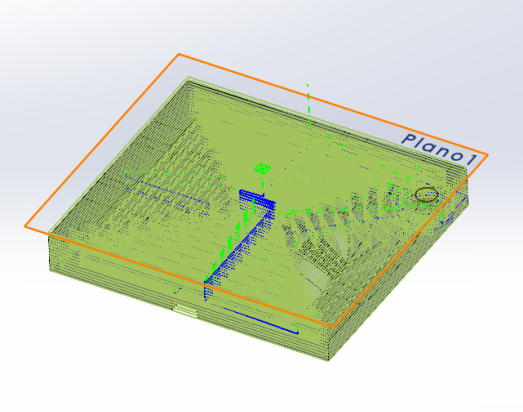


Fig 119.- Camino de herramientas del molde superior.

3.6.7 Simulación del camino de las herramientas

Como paso final de la simulación, antes de obtener el código se simula la trayectoria de las herramientas para constatar que no existe ningún problema con el maquinado (Fig. 120 -125).

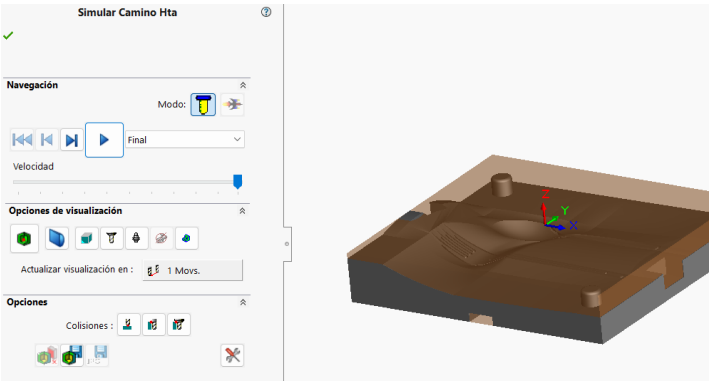


Fig 120. Inicio de la simulación de maquinado del molde inferior.

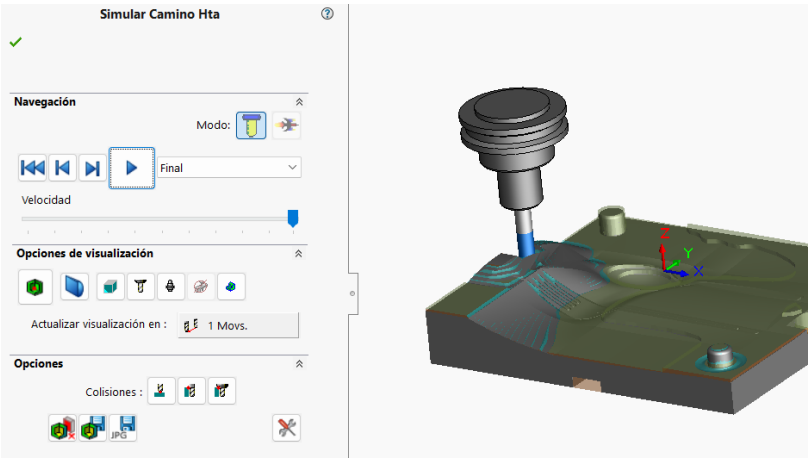


Fig 121. Paso medio de la simulación de maquinado del molde inferior.

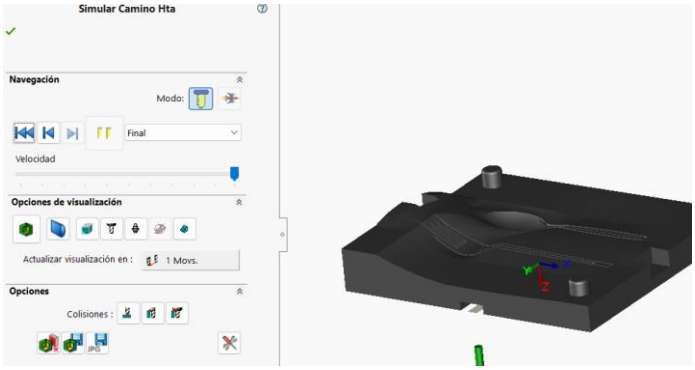


Fig 122. Final de la simulación de maquinado del molde inferior.

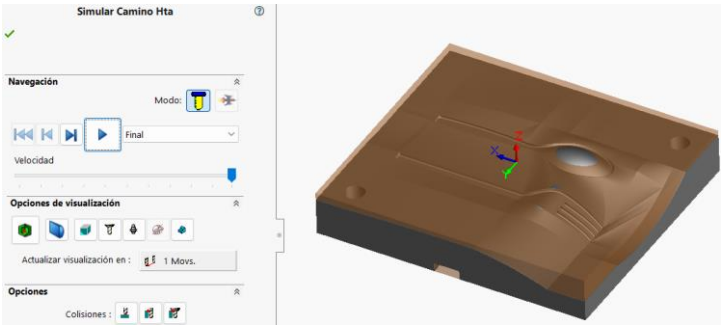


Fig 123. Inicio de la simulación de maquinado del molde superior.

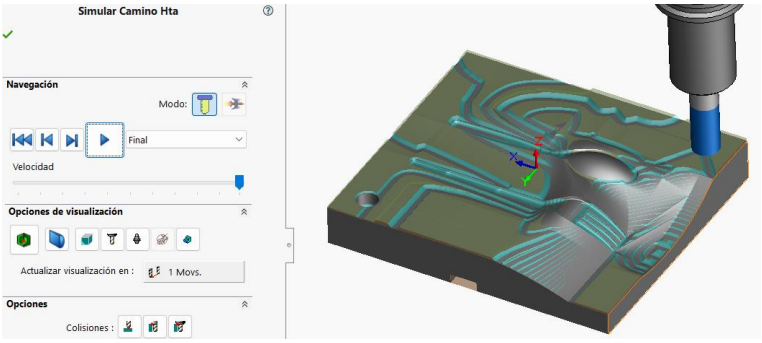


Fig 124. Paso medio de la simulación de maquinado del molde superior.

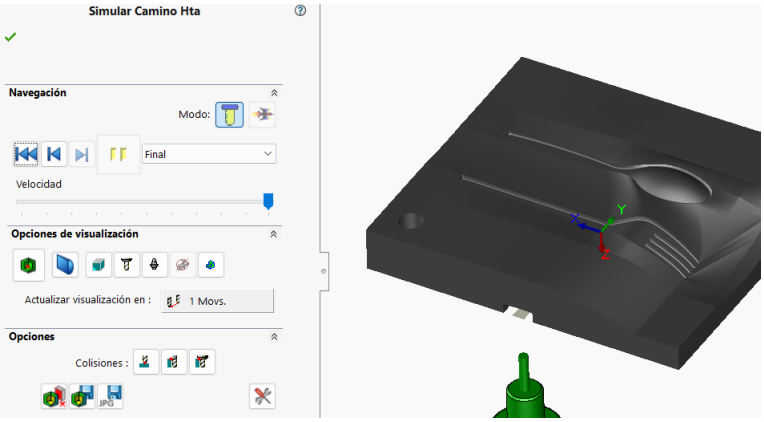


Fig 125. Final de la simulación de maquinado del molde inferior.

3.6.8 Código para el maquinado

Una vez completada la simulación y constatar que no existe ningún problema con el maquinado se puede extraer el código utilizando SolidWorks o se puede pasar el molde a otro programa utilizando un tipo de archivo neutro.

3.6.8.1 Código del molde inferior

Esta es una parte del código obtenido para el maquinado del molde inferior:

O0001
N1 G21
N2 G91 G28 X0 Y0 Z0
N3 (Desbaste Área1)
N4 (20MM CRB 2FL 38 LOC)
N5 T05 M06
N6 S5000 M03
N7 G90 G54 G00 X15.853 Y-3.384
N8 G43 Z3.6 H05 M08
N9 G01 Z1.1 F200.
N10 G17 X15.986 Y-3.922 Z1.081
N11 X16.212 Y-4.199 Z1.068
N12 X16.464 Y-4.231 Z1.059
N13 X16.595 Y-4.168 Z1.054
N14 X16.718 Y-3.912 Z1.043
N15 X16.699 Y3.869 Z.772
N16 X16.466 Y4.172 Z.758
N17 X16.216 Y4.239 Z.749
N18 X14.202 Z.679
N19 X13.875 Y4.118 Z.666
N20 X13.707 Y3.814 Z.654
N21 X13.728 Y3.58 Z.646
N22 X15.255 Y-.964 Z.478
N23 X15.986 Y-3.922 Z.372
N24 X16.212 Y-4.199 Z.359
N25 X16.464 Y-4.231 Z.35

3.6.8.2 Código del molde superior

Esta es una parte del código obtenido para el maquinado del molde superior:

O0001

N1 G21

N2 G91 G28 X0 Y0 Z0

N3 (Desbaste Área1)

N4 (20MM CRB 2FL 38 LOC)

N5 T05 M06

N6 S5000 M03

N7 G90 G54 G00 X-6.121 Y1.337

N8 G43 Z9.074 H05 M08

N9 G01 Z6.574 F200.

N10 G17 X-13.221 Y1.338 Z6.326

N11 X-13.532 Y1.229 Z6.314

N12 X-13.721 Y.838 Z6.298

N13 X-13.72 Y-1.327 Z6.223

N14 X-13.653 Y-1.577 Z6.214

N15 X-13.47 Y-1.76 Z6.204

N16 X-13.22 Y-1.827 Z6.195

N17 X15.021 Y-1.777 Z5.209

N18 X15.255 Y-1.544 Z5.197

N19 X15.304 Y.833 Z5.114

N20 X15.158 Y1.186 Z5.1

N21 X14.804 Y1.333 Z5.087

N22 X-13.221 Y1.338 Z4.108

N23 X-13.532 Y1.229 Z4.096

3.7 Herramientas para el maquinado

Para el maquinado es necesario el uso de diferentes herramientas para lograr las diferentes geometrías presentes en el molde, además que se optan por algunas herramientas dependiendo del proceso de maquinado que se le dé, cada una siendo diferente tanto en forma como en tamaño y cumpliendo diferentes funciones como las descritas en la TABLA XXXIV.

TABLA XXXIV

HERRAMIENTAS PARA EL MECANIZADO [64] [65] [66] [67] [68]

Herramienta	Descripción	Imagen
Fresado general		
Fresas planas (End Mills)	Utilizadas para crear superficies planas y su diámetro puede variar entre 2 a 50mm. Avance: 1592 mm/min	
Fresas de punta esférica (Ball Nose)	Utilizadas para maquinar superficies curvas y detalles internos en cavidades, su diámetro puede variar entre 0.5 y 25 mm. Avance: 1273.6mm/min	
Fresas de ranurar (Slot Drills)	Sirven para realizar ranuras en guías o ensamblajes y su diámetro puede variar entre 1 a 25 mm. Avance: 600mm/min	
Herramientas para perforación		
Brocas helicoidales estándar	Sirven para agujeros guía o de ensamblaje, típicamente son de 5 mm a 15 mm Avance: 600mm/min	
Brocas de centro	Se usan para iniciar perforaciones con precisión antes de usar brocas helicoidales, su diámetro puede variar entre 1 a 25 mm. Avance: 75mm/min	
Escariadores (Reamers)	Se usan para ajustar tolerancias en agujeros de precisión, como pasadores guía, su diámetro varía entre 1 a 10 mm Avance: 50mm/min	
Herramientas para Detalles Finos		
Fresas de grabado (Engraving Cutters)	Son utilizadas para grabados o detalles pequeños en el molde, la	

Herramienta	Descripción	Imagen
	punta varía entre 0.5 y 2 mm Avance: 800mm/min	

Dichas herramientas fueron utilizadas a lo largo de la fabricación y según lo que se requiere se fueron usando, logrando así obtener un buen producto.

3.8 Mecanizado del molde

Para el mecanizado de este molde se utilizaron procesos como el fresado CNC y la perforación para de esta manera obtener las geometrías requeridas en el bloque de materia prima, para ello primero se realizó diversas simulaciones en el programa SolidWorks para definir los procesos necesarios y la mejor trayectoria que deben seguir las herramientas.

3.8.1 Preparación del material

Para comenzar con el maquinado primero se preparó el material, para ello se comenzó seleccionando el material adecuado para la elaboración del molde, el cuál fue el aluminio 7075 y se cortó de las medidas requeridas (Fig. 133).



Fig 126.- Bloques de aluminio 7075.

3.8.2 Mecanizado primario

Para el mecanizado primario se realizó los procesos de fresado CNC y perforación con taladro, esto con el fin de obtener las geometrías más grandes y que no requieran maquinado de precisión, en todo este proceso se realizan rebajes en los bloques de aluminio (Fig. 134).



Fig 127.- Mecanizado primario.

3.8.3 Mecanizado de precisión

Este tipo de mecanizado es utilizado para cavidades internas o ajustes finales que no son posibles en el mecanizado primario debido a la dificultad de estas debido al tamaño, posición u otros factores, para este proceso se utiliza la fresadora CNC u otros métodos como la electroerosión (Fig. 135).



Fig 128.- Mecanizado de precisión.

3.8.4 Acabado

Este proceso es utilizado para darle una mejor presentación y cumplir con las tolerancias necesarias del molde, para este proceso se realiza un pulido con diversas herramientas y materiales las cuales son útiles para darle un acabado brillante tipo espejo a los moldes de metal (Fig. 136).



Fig 129.- Acabado

3.9 Prueba de funcionamiento del molde

Se sometió a una prueba de desempeño del molde para verificar su desempeño en condiciones reales del proceso de termocompresión. Se probaron dos aspectos clave, que incluyeron la capacidad del molde para alcanzar y mantener las temperaturas establecidas requeridas para la formación del material biodegradable y resistir estas fuerzas de compresión durante el ciclo de producción.

3.9.1 Prueba de temperatura

Para la evaluación de la distribución térmica, los termopares se instalaron en el molde en varias posiciones estratégicas, como las cavidades, los bordes y los canales de transferencia de calor. Luego, el molde se llevó a una temperatura de operación de 200 °C para la conformación y el ablandamiento del material biodegradable seleccionado. Los resultados indicaron que el aluminio 7075 logró una distribución de calor perfectamente uniforme dentro de las cavidades principales y mantuvo una temperatura promedio entre 200 °C, que fue controlada por la máquina de termocompresión (Fig. 137 y 138).



Fig 130. Control de temperatura de la máquina de termocompresión.



Fig 131. Agregación de calor al molde por medio de la resistencia eléctrica.

3.9.2 Prueba de resistencia a la compresión

Otro aspecto importante considerado fue la resistencia del molde a las fuerzas durante la termocompresión. Se ejecutó un ciclo de compresión estándar en la prensa sobre las cavidades del molde con una fuerza de 3117 N. No se observaron deformaciones permanentes ni grietas en el molde durante la prueba. Las cargas se repartieron bien con la parte de aluminio 7075 muy rígida de la estructura, lo que aseguró la integridad dimensional de la pieza en el molde después de algunos ciclos de compresión (Fig. 139).

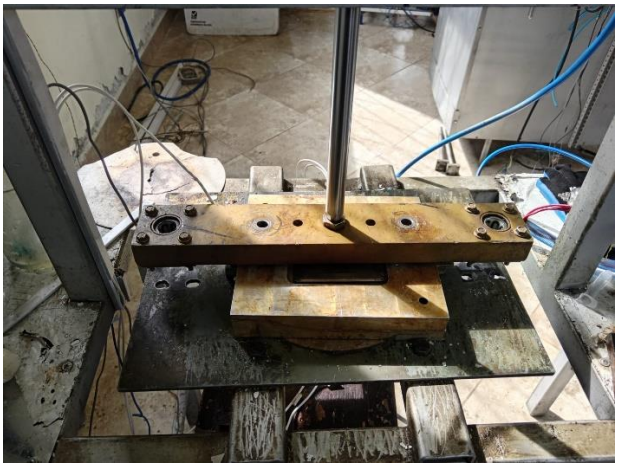


Fig 132. Aplicación de la carga de compresión al molde.

3.9.3 Prueba de llenado

El objetivo de esta prueba es estudiar la capacidad del diseño para garantizar que el material fluido se distribuya uniformemente en las cavidades de las cucharas y tenedores. Esta evaluación garantiza que los utensilios asumirán la forma, el grosor y la resistencia adecuados, las propiedades mecánicas adecuadas sin defectos como huecos o áreas incompletas.

Se llevo a cabo utilizando los parámetros anteriores aplicando un agente desmoldante para ayudar al desmoldeo de las piezas y también para ayudar a evitar que el material se adhiera a las superficies del molde. Los resultados iniciales muestran un llenado uniforme de las cavidades con piezas de grosor homogéneo. Las superficies de contacto entre el molde y el material biodegradable no presentan ninguna irregularidad. Esto demuestra que el diseño, en este caso, las cavidades del molde y los canales eran adecuados para garantizar el flujo del material (Fig. 140).



Fig 133. Llenado del material biodegradable en el molde.

Sin embargo, en las primeras pruebas se observaron pequeños defectos en los extremos de algunas partes de los utensilios, que se atribuyeron a un tiempo de compresión demasiado corto o a una distribución térmica no uniforme en las áreas periféricas del molde. Después de duplicar el tiempo de compresión y reajustar el ciclo de prensado para optimizarlo, no se observó ningún problema de este tipo; en cambio, se recuperaron utensilios completamente formados y funcionales.

El flujo de material en el molde de aluminio 7075 se diseñó para una buena trabajabilidad, mientras que las temperaturas uniformes permitieron una buena plasticidad del material biodegradable durante el llenado. La rigidez del material y la precisión dimensional del molde evitaron fugas de material y deformaciones durante el proceso obteniendo un buen producto (Fig. 141).



Fig 134. Utensilios finales.

3.9.4 Resultados y análisis

Los resultados de las pruebas muestran que el diseño del molde cumple con los requisitos térmicos y mecánicos del proceso. Por lo tanto, el resultado de la prueba destacó que una buena temperatura uniforme en el molde mejoraría la conformación adecuada del material, mientras que una buena resistencia a las fuerzas de compresión prometería durabilidad y confiabilidad del diseño con el tiempo.

El molde de aluminio 7075 tuvo un buen desempeño en ambos experimentos. La alta conductividad térmica y la resistencia mecánica lo convierten en un buen material candidato para su uso en procesos de termocompresión. Los resultados obtenidos confirmaron la elección del diseño y el material, obteniendo que el molde no se visualizó tanto desgaste como deformaciones producidas tanto por el calor o por la carga que se le aplica (Fig. 142).



Fig 135. Moldes al finalizar las pruebas.

La prueba de llenado del molde validó la idoneidad de los diseños y los parámetros del proceso para la producción de utensilios biodegradables. Sin embargo, los ajustes que se realizaron en los ciclos iniciales muestran claramente la importancia de una calibración adecuada de las condiciones de funcionamiento, como el tiempo y la fuerza de compresión. Estos resultados demostrarían la funcionalidad del molde y su capacidad para la producción constante de utensilios de alta calidad.

3.10 Benchmarking

Para acerca un análisis de la competencia se toman en cuenta diferentes factores como el material, el impacto ambiental, el costo y producción de venta, la aceptación del mercado y el cumplimiento de normativas.

3.10.1 Características del producto con el material elegido para pruebas

3.10.1.1 Material

El material escogido para la realización de las pruebas fue el almidón de trigo, esto debido a que se buscan nuevas opciones que puedan ser introducidas al mercado, además de sus propiedades, lo que lo hacen muy útil para la elaboración de utensilios. Este material es ampliamente utilizado para la fabricación de bioplásticos degradables lo que lo hacen muy práctico para aplicaciones industriales.

3.10.1.2 Impacto ambiental

En cuanto al tiempo de degradación se sabe que el almidón de trigo tiene un tiempo de degradación de entre 3 a 6 meses además de que su descomposición presenta beneficios adicionales como que no genera residuos tóxicos ni microplásticos, además cuando se descompone genera CO_2 y agua [69].

3.10.1.3 Precio de venta

La presentación más común para los utensilios son los paquetes de 100 unidades por lo que para hacer una comparación de precios con los utensilios presentes en el mercado, es necesario hacer un cálculo de costos aproximado de las 100 unidades de utensilios de almidón de trigo.

Costo de materia prima

En el Ecuador el costo aproximado del kilogramo de almidón de trigo es de 2 dólares, además cada utensilio tiene un peso de 4.86g por lo que es necesario realizar el siguiente cálculo:

$$4.86g * 100 = 486g = 0.486kg$$

En las 100 unidades de utensilios entra un aproximado de 0.486 kg de material, a esto se le debe sumar un 10% debido al desperdicio de material que existe en el proceso.

$$0.486kg * 1.15 = 0.5589kg$$

Una vez obtenida la cantidad de materia prima aproximada que se utiliza en la elaboración de los 100 utensilios, obtenemos el costo de este material.

$$0.5589 * 2 = 1.12USD$$

Costo de energía

Para este proceso el uso de energía es de aproximadamente 0.05kWh por unidad, por lo que para conocer el uso de energía total hacemos el siguiente cálculo:

$$0.05kWh * 100 = 5kWh$$

En Ecuador el costo de la energía es de 0.1 dólares por cada kWh por lo que el costo de energía total es el siguiente:

$$0.1\frac{USD}{kWh} * 5kWh = 0.5USD$$

Costo de mano de obra

En Ecuador el salario de un trabajador es de 470 dólares por 160 horas de trabajo, cada hora cuesta lo siguiente:

$$\frac{470USD}{160h} = 2.94\frac{USD}{h}$$

Para este proceso el tiempo aproximado por cada unidad es de 30 segundos por lo que en producir las 100 unidades se tarda:

$$30\frac{s}{unidad} * 100unidades = 3000s = 0.84\ h$$

Por lo tanto el costo de la mano de obra por cada 100 unidades es el siguiente:

$$2.94\frac{USD}{h} * 0.84\ h = 2.47USD$$

Costos indirectos

Aquí se toma en cuenta costos como el empaquetado, la logística y el transporte, para el cálculo del empaquetado se considera que empaquetar las 100 unidades tiene un costo aproximado de 1 dólar, mientras que el costo aproximado de la logística y transporte por cada 100 unidades es de 0.5 dólares.

Costo total

En la TABLA XXXV se detallan los costos para determinar el precio de la cuchara por las 100 unidades.

TABLA XXXV

COSTO TOTAL DE LA PRODUCCIÓN DEL UTENSILIO

Concepto	Costo (USD)
Materia prima	1.12
Energía	0.5
Mano de obra	2.47
Empaquetado	1
Logística y transporte	0.5
Subtotal	5.59
Ganancia (34.1%)	1.91
Total	7.5

El costo total de estos utensilios es de aproximadamente 7.5 dólares por cada 100 unidades, este valor se debe comparar con el costo de otros utensilios para determinar su competitividad en el mercado.

3.10.1.4 Aceptación del mercado

Existe un gran interés por productos biodegradables, sin embargo su precio, el cual es más elevado respecto a los productos plásticos representa una gran barrera para este tipo de segmentos, además aunque su producción va en aumento aún es bastante limitada respecto al almidón de maíz o el bagazo de caña.

3.10.1.5 Regulaciones

Cumplen y contribuyen con normativas como la Ley Orgánica para la Racionalización,

Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso la cual busca reducir el uso de plásticos y de esta manera disminuir los desechos presentes en los diferentes ecosistemas del Ecuador.

3.10.1.6 Peso

En la simulación se obtuvo el peso aproximado que tendrán los utensilios, tanto la cuchara como el tenedor por lo que se puede hacer comparaciones respecto a productos similares presentes en el mercado ecuatoriano. Para la comparación se tomará como muestra el peso de la cuchara, el cuál fue de 4.86 gramos (Fig. 143).



Fig 136. Masa de la cuchara de almidón de trigo.

3.10.2 Características de utensilios plásticos

3.10.2.1 Material

En cuanto a los plásticos más utilizados en el Ecuador para la fabricación de los utensilios plásticos destacan el polipropileno y el poliestireno, materiales que generan una gran cantidad de desechos que tardan demasiado tiempo en degradarse.

3.10.2.2 Impacto ambiental

En cuanto al impacto ambiental, el polipropileno tiene un tiempo de degradación de entre 500 a 1000 años, mientras que el poliestireno tiene un tiempo de degradación de entre 500 a 800 años, además generan microplásticos los cuales son nocivos para la salud y contribuyen significativamente a la contaminación de ecosistemas terrestres y marinos [1].

3.10.2.3 Precio de venta

En cuanto al precio el costo de los utensilios, tanto cucharas y tenedores varían entre los 2.50 a 4.50 dólares, esto debido a la economía de escala y el bajo costo de la materia prima, el bajo precio es lo que hace más atractiva la opción de utilizar estos utensilios.

3.10.2.4 Aceptación del mercado

Estos utensilios aún son ampliamente utilizados por su bajo costo y disponibilidad en sectores de bajo presupuesto. Sin embargo, enfrentan rechazo en mercados más conscientes del impacto ambiental debido a la gran cantidad de desechos que generan a nivel mundial.

3.10.2.5 Regulaciones

Debido a la gran problemática que existe actualmente a nivel mundial por el uso de plásticos cada vez se implementan nuevas leyes como aquí en el Ecuador con Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso que limitan su uso por lo que es necesario buscar nuevas alternativas que cumplan con estas regulaciones.

3.10.2.6 Peso

El peso de los plásticos es menor al de los compuestos biodegradables, en el caso de las cucharas de polipropileno y las de poliestireno se obtuvo que pesan 2.5 gramos cada una (Fig. 144 y 145).



Fig 137. Peso de la cuchara de polipropileno.



Fig 138. Peso de la cuchara de poliestireno.

3.10.3 Características de utensilios biodegradables

3.10.3.1 Material

En cuanto a cubiertos biodegradables presentes en el Ecuador son dos los materiales que destacan, el uno es el almidón de maíz y el otro es el bagazo de caña, los cuáles son bastante utilizados en el país y no únicamente para la elaboración de utensilios si no también platos, fundas, vasos y otros más.

3.10.3.2 Impacto ambiental

En cuanto al impacto ambiental se sabe que el almidón de maíz se tarda aproximadamente 6 a 12 meses en descomponerse mientras que el bagazo de caña se tarda aproximadamente 90 días, además estos productos al ser biodegradables no generan microplásticos ni residuos tóxicos [69].

3.10.3.3 Precio de venta

En Ecuador el precio de venta de las cucharas al igual que los tenedores biodegradables de almidón de maíz se encuentran entre los 6 a 6.50 dólares las 100 unidades mientras que las 100 unidades de cubiertos de bagazo de caña se encuentran entre los 7.50 a 8.50 dólares.

3.10.3.4 Aceptación del mercado

Este tipo de utensilios son bastante utilizados en restaurantes eco-friendly, catering y otros eventos sostenibles, además debido a la nueva realidad mundial este tipo de alternativas a los plásticos tradicionales se están volviendo bastante populares debido a la reducción del impacto ambiental generado por la gran cantidad de desechos plásticos que existen.

3.10.3.5 Regulaciones

En Ecuador se implementó la Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un Solo Uso por lo que los utensilios cumplen con las restricciones sobre plásticos presentes en esta ley, además son apoyados por incentivos gubernamentales para su adopción.

3.10.3.6 Peso

En cuanto al peso de los utensilios biodegradables, es conocido que son más pesados que los utensilios plásticos debido a la densidad del material, en el caso de la cuchara de bagazo de caña se obtuvo que pesa 5g mientras que la cuchara de almidón de maíz pesa 4.5g (Fig. 146 y 147).



Fig 139. Peso de la cuchara de bagazo de caña.



Fig 140. Peso de la cuchara de almidón de maíz.

3.10.4 Análisis de resultados

3.10.4.1 Utensilios de almidón de trigo

Propiedades:

- Material derivado del trigo, transformado en bioplástico mediante procesos químicos.
- Textura firme y aspecto similar al plástico convencional.
- Compostable en condiciones industriales.

Ventajas:

- Es 100% biodegradable en un plazo de 3 a 6 meses.
- No genera microplásticos ni residuos tóxicos.
- Imagen eco-amigable que refuerza la sostenibilidad en el mercado.
- Innovador en comparación con otros materiales, diferenciándose en sectores premium.

Desventajas:

- Precio elevado en comparación con otras alternativas biodegradables.
- Requiere compostaje industrial para una degradación óptima.
- Menor disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

3.10.4.2 Utensilios de almidón de maíz (PLA)

Propiedades:

- Plástico biodegradable elaborado a partir del almidón del maíz.
- Resistente al calor y duradero para un solo uso.
- Compostable únicamente en instalaciones industriales.

Ventajas:

- Aspecto y funcionalidad muy similares al plástico convencional.
- Biodegradable en 6-12 meses en condiciones de compostaje industrial.
- Material renovable, derivado de recursos agrícolas.
- Aceptación creciente en mercados conscientes del impacto ambiental.

Desventajas:

- Requiere infraestructura específica de compostaje, limitada en Ecuador.
- Precio más alto que los utensilios plásticos.
- Proceso de fabricación consume más energía que otros materiales biodegradables.

3.10.4.3 Utensilios de bagazo de caña

Propiedades:

- Material fibroso residual de la producción de azúcar, procesado para fabricar utensilios.
- Compostable tanto en instalaciones industriales como en entornos domésticos.

Ventajas:

- Compostable en menos de 90 días, incluso en condiciones domésticas.
- Menor costo de producción comparado con el PLA y el almidón de trigo.
- Abundante disponibilidad en Ecuador debido a la producción local de caña de azúcar.
- Material completamente natural, sin necesidad de aditivos químicos.

Desventajas:

- Menos resistencia al calor y a líquidos que los utensilios de PLA o almidón de trigo.
- Puede percibirse como menos "premium" en ciertos segmentos del mercado debido a su aspecto.

3.10.4.4 Utensilios plásticos tradicionales

Propiedades:

- Fabricados con polímeros derivados del petróleo, como polipropileno o poliestireno.
- Altamente resistentes, económicos y adaptables a diferentes formas y diseños.

Ventajas:

- Bajo costo de producción y venta, accesible para todos los segmentos de mercado.
- Amplia disponibilidad y familiaridad entre los consumidores.
- Larga vida útil antes de su degradación.

Desventajas:

- No biodegradable: Tarda entre 500 y 1,000 años en descomponerse.
- Genera microplásticos que contaminan ecosistemas terrestres y acuáticos.
- Producción altamente contaminante, dependiente de recursos fósiles no

renovables.

- Restricciones legales en Ecuador para reducir su uso.

3.10.5 Comparación de precios

Al comparar los precios del producto permite tener una idea de la competitividad que puede llegar a tener en el mercado frente a otros productos similares presentes en el mismo.

Cucharas plásticas comparadas con cucharas de almidón de trigo

$$P_p = 3.5USD$$

$$P_{at} = 7.5USD$$

$$\%Error = \left|\frac{P_{at} - P_p}{P_p}\right| * 100$$

$$\%Error = \left|\frac{7.5USD - 3.5USD}{3.5USD}\right| * 100$$

$$\%Error = 114.29\%$$

Como se puede observar los utensilios de almidón de trigo cuestan mucho más del doble de los utensilios plásticos, haciéndolos muy poco competitivos si únicamente se toma en cuenta este aspecto.

Cucharas de almidón de maíz comparadas con cucharas de almidón de trigo

$$P_{am} = 6.25USD$$

$$P_{at} = 8USD$$

$$\%Error = \left|\frac{P_{at} - P_p}{P_p}\right| * 100$$

$$\%Error = \left|\frac{7.5USD - 6.25USD}{6.25USD}\right| * 100$$

$$\%Error = 20\%$$

El precio de los utensilios de almidón de trigo son un 20% más caros, lo cual no es un precio exorbitante pero siguen siendo más caros que las otras opciones de mercado.

Cucharas de bagazo de caña comparadas con cucharas de almidón de trigo

$$P_{bc} = 8USD$$

$$P_{at} = 7.5USD$$

$$\%Error = \left|\frac{P_{at} - P_{bc}}{P_{bc}}\right| * 100$$

$$\%Error = \left|\frac{7.5USD - 8USD}{8USD}\right| * 100$$

$$\%Error = 6.25\%$$

El precio de los utensilios de almidón de trigo es más barato que los utensilios de bagazo de caña, esto permite competir con estas cucharas presentes en el mercado, implementando mejoras en sus demás propiedades. Cabe recordar que el almidón de trigo es un producto relativamente caro y difícil de conseguir en este momento pero se establece como una opción a futuro ya que su precio disminuirá y será más fácil de conseguirlo, además por sus propiedades las cuales son superiores a otros materiales.

3.10.6 Comparación de pesos

Al comparar el peso del producto con los que están presentes en el mercado permite tener una idea de la competitividad del producto y si existe margen para aumentar o reducir material, mejorando de esta manera el diseño. Los pesos obtenidos previamente permiten calcular el error porcentual entre cada material para de esta manera comprobar cuanto cambia el peso de cada cuchara al respecto de las cucharas plásticas que son las más livianas y son las que se buscan cambiar.

Cucharas plásticas comparadas con cucharas de almidón de trigo

$$m_p = 2.5g$$

$$m_{at} = 4.86g$$

$$\%Error = \left|\frac{m_{at} - m_p}{m_p}\right| * 100$$

$$\%Error = \left|\frac{4.86g - 2.5g}{2.5g}\right| * 100$$

$$\%Error = 94.4\%$$

Como se puede observar el peso de las cucharas de almidón de trigo son casi el doble de las cucharas plásticas.

Cucharas de almidón de maíz comparadas con cucharas de almidón de trigo

$$m_{am} = 4.5g$$

$$m_{at} = 4.86g$$

$$\%Error = \left|\frac{m_{at} - m_{am}}{m_{am}}\right| * 100$$

$$\%Error = \left|\frac{4.86g - 4.5g}{4.5g}\right| * 100$$

$$\%Error = 8\%$$

Como se puede observar el peso de las cucharas de trigo es ligeramente mayor al de las cucharas de almidón de maíz.

Cucharas de bagazo de caña comparadas con cucharas de almidón de trigo

$$m_{bc} = 5g$$

$$m_{at} = 4.86g$$

$$\%Error = \left|\frac{m_{at} - m_{bc}}{m_{bc}}\right| * 100$$

$$\%Error = \left|\frac{4.86g - 5g}{5g}\right| * 100$$

$$\%Error = 2.8\%$$

La diferencia de pesos entre las cucharas de almidón de trigo y las cucharas de bagazo de caña es aún menor que la diferencia con las cucharas de almidón de maíz.

3.10.7 Resumen comparativo

Se detalla cada material comparándose entre sí, llegando a realizar una comparación entre las propiedades de los utensilios que se representan en la TABLA XXXVI. Con ello se llego a una conclusión que se la hizo por separada de los materiales que existen en el mercado que es la siguiente:

- Almidón de trigo: Ideal para mercados premium y marcas que buscan diferenciarse con opciones ecológicas, aunque enfrenta barreras de costo y disponibilidad.
- Almidón de maíz (PLA): Una opción sostenible con buena aceptación, pero requiere infraestructura específica para compostaje y tiene un costo moderado/alto.

- Bagazo de caña: La alternativa más económica y viable en Ecuador gracias a su abundancia local y biodegradabilidad rápida, aunque menos resistente que el PLA.
- Plástico tradicional: Aunque sigue dominando el mercado por su bajo costo y alta disponibilidad, su impacto ambiental y las restricciones legales lo hacen insostenible a largo plazo.

TABLA XXXVI

COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS UTENSILIOS

Material	Degradabilidad	Costo (100 unidades)	Recursos	Peso
Almidón de trigo	Alta (3-6 meses, compostaje)	Elevado ($7.5)	Limitada (Difícil de conseguir en el país)	Ligera (4.86g)
Almidón de maíz	Alta (6-12 meses, compostaje)	Moderado/Alto ($6.25)	Moderada (Cierta dificultad de conseguir)	Ligera (4.5g)
Bagazo de caña	Muy alta (90 días, compostaje doméstico)	Elevado ($8)	Alta (Sencillo de conseguir)	Ligera (5g)
Plásticos tradicionales	Nula (100-1,000 años)	Muy bajo ($3.5)	Muy alta (Demasiado sencillo de conseguir)	Ultra ligero (2.5g)

3.11 Recursos financieros para el proyecto.

3.11.1 Costos directos

Estos costos se encuentran relacionados con la elaboración del molde y los utensilios de prueba, estos incluyen gastos de materia prima, gastos de fabricación, mano de obra entre otros. Los costos presentados son aproximados ya que estos pueden variar debido al mercado local (TABLA XXXVII).

TABLA XXXVII

COSTOS DIRECTOS

Material	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Molde			
Aleación de aluminio (215x190x40) mm	2	275	550
Materia prima			
Bioplástico de trigo	5	2	10
Adicionales			
Alcohol	1	3.85	3.85
Aceite desmoldante	1	9	9
Balanza digital	1	13.5	13.5
Resistencia térmica	2	24	48
Guaipe	4	0.5	2
Total (USD)			633.85

3.11.2 Costos de mecanizado

En la TABLA XXXVIII se presentan los costos que realizaron para el mecanizado.

TABLA XXXVIII

COSTOS DE MECANIZADO

Descripción	Días	Costo diario (USD)	Costo total (USD)
Servicio de mecanizado con fresado CNC	7	85.71	600
Total (USD)			600

3.11.3 Costos de transporte

En este punto se incluyen los costos de transporte de materia prima y personas, tanto en transporte vehicular como en servicios de entrega (TABLA XXXIX).

TABLA XXXIX

COSTOS DE TRANSPORTE

Descripción	Costo total (USD)
Transporte Ambato-Quito	20
Envío de materiales por Servientrega	5
Total (USD)	25

3.11.4 Costo de mano de obra

Para este cálculo se incluyen los valores del tiempo invertido en diseños y simulaciones donde se calcula un valor aproximado de 400 USD, esto se determina mediante tarifas habituales de expertos en diseño.

3.11.5 Costo total

En este punto se sumó los costos previamente mencionados y se le adiciona un 10% del total para cubrir inconvenientes que puedan surgir en los costos (TABLA XIV).

TABLA XL

COSTOS FINALES

Descripción	Costo (USD)
Costos directos	636.35
Mecanizado	600
Transporte y envío	25
Costo de diseño	1000
Subtotal	2261.35
10% adicional	226.14
Total (USD)	2487.49

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Después de una investigación y evaluación de materiales biodegradables adecuados para la elaboración de utensilios, se incluyó en el listado materiales locales los cuales destacan por su disponibilidad, propiedades y sobre todo sostenibilidad, entre los que destacan el bioplástico de maíz, el de arveja, el de trigo, el de maracuyá, entre otros.
- Un enfoque metodológico sólido que utiliza herramientas como SolidWorks para modelado 3D y ANSYS para análisis de elementos finitos, garantiza que los diseños de los moldes sean funcionales y resistentes antes de su fabricación.
- El proyecto destaca el uso de maquinaria CNC para lograr moldes de alta precisión. Se abordan aspectos como la selección de materiales para los moldes (aluminio y acero inoxidable), enfatizando propiedades como durabilidad y resistencia.
- El trabajo está alineado con los objetivos de sostenibilidad, promoviendo nuevas alternativas frente a los utensilios plásticos, destacando el potencial de los materiales biodegradables para reducir el impacto ambiental y fomentar la economía circular.

4.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar pruebas con los materiales seleccionados, evaluando su desempeño en condiciones reales, como resistencia al calor, impacto y humedad, para confirmar su idoneidad.
- Mejorar el diseño de los utensilios mediante el uso de análisis de ergonomía para de esta manera garantizar la comodidad y satisfacción del usuario.
- Garantizar que los utensilios cumplan con normativas internacionales sobre biodegradabilidad y seguridad alimentaria.
- Se recomienda priorizar el acero inoxidable austeníticos 316 en la fabricación de los moldes debido a su superior desempeño en resistencia, durabilidad y cumplimiento de normativas alimentarias, alineándose con los objetivos de

calidad y sostenibilidad del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] «Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.unep.org/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos

[2] «Elaboración de utensilios de bioplástico a base de la cáscara de plátano». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.eumed.net/rev/cccss/2020/05/elaboracion-utensilios-bioplastico.html#google_vignette

[3] «Informe-Desechos-plasticos-Alianza-Basura-Cero-Ecuador-2022.pdf». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.uasb.edu.ec/wp-content/uploads/2022/04/Informe-Desechos-plasticos-Alianza-Basura-Cero-Ecuador-2022.pdf

[4] «Ecuador lidera una histórica hoja de ruta para reducir la contaminación por plásticos». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.wwf.org.ec/en/?389213/Ecuador-lidera-una-historica-hoja-de-ruta-para-reducir-la-contaminacion--por-plasticos

[5] protocolo org Editorial, «Historia de la cuchara Su origen Historia Curiosidades...», Protocolo y Etiqueta. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.protocolo.org/miscelaneo/reportajes/historia-de-la-cuchara-su-origen-su-origen-historia-curiosidades-usos-evolucion.html

[6] SillasMesas, «Tipos de cubiertos: usos y protocolo de uso de los cubiertos», Sillas Mesas. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.sillasmesas.es/blog/tipos-de-cubiertos/

[7] «CRIVHSA MERCED». Accedido: 17 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://crivhsa-merced.webnode.mx/?fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTAAAR3TuTPN8bVz0yuOFGgCQ5SgiY0S1EF_pQr4x0T7sTsSvLvdFPE9SHKuaJk_aem_2KYlY0-4vgRMYvvBFD9F4Q

[8] «¿Cuál es el origen del tenedor y por qué lo utilizamos? ⋆ Nota ⋆ Larousse Cocina», Larousse Cocina. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://laroussecocina.mx/blog/cual-es-el-origen-del-tenedor-y-por-que-lo-utilizamos/

[9] R. and M. ltd, «Biodegradable Cutlery Market Report by Product (Spoon, Fork, Knife, and Others), Raw Material (Wood, Husk, Paper, Plastic, and Others), Type (PLA, CPLA, Starch Blends), Application (Hotel, Catering, and Others), Distribution Channel (Online, Offline), and Region 2024-2032». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchandmarkets.com/reports/5947095/biodegradable-cutlery-market-report-product

[10] «Cómo reducir el impacto de los plásticos de un solo uso». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.unep.org/noticias-y-reportajes/reportajes/como-reducir-el-impacto-de-los-plasticos-de-un-solo-uso

[11] «Prohibición del Uso de Bolsas Plásticas en Colombia». Accedido: 21 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://prensacapital.com/index.php/component/content/article/prohibicion-del-uso-de-bolsas-plasticas-en-colombia?catid=18&Itemid=114

[12] F. Planes, «Usos del aluminio en la industria: una clave de la transición energética», Ferros Planes. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ferrosplanes.com/usos-aluminio-industria-transicion-energetica/

[13] «Aluminio 5083 | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/aluminum-alloys-supplier/aluminum-5083/

[14] «Aluminio 6061 | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/aluminum-alloys-supplier/aluminum-6061/

[15] «Aluminio 6063 | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/aluminum-alloys-supplier/aluminum-6063/

[16] «Aluminio 7075 | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/aluminum-alloys-supplier/aluminum-7075/

[17] «El uso de aceros inoxidables (inox) en la industria alimentaria». Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.hubertcloix.com/es/technologie/utilisation-inox-agroalimentaire/

[18] «Acero inoxidable 304 | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/stainless-steel-supplier/stainless_steel304/

[19] «ACERO INOXIDABLE AISI 310», Euroaceros. Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://euroacerossa.com/acero-inoxidable-aisi-310/

[20] «Acero inoxidable 316L | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/stainless-steel-supplier/stainless_steel316l/

[21] «Acero inoxidable 321 | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/stainless-steel-supplier/stainless-steel-321/

[22] «Acero inoxidable 347 | Alloys International, Inc.» Accedido: 16 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alloysintl.com/es/inventory/stainless-steel-supplier/stainless-steel-347/

[23] Prime, «Materiales biodegradables: qué son, para qué sirven y ejemplos», Primebiopolymers. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://primebiopol.com/materiales-biodegradables/

[24] D. M. Lorío, «Johanna Aristizábal Teresa Sánchez».

[25] A. Peralta y B. Daniel, «Desarrollo y caracterización física de materiales biodegradables a base de bagazo de yuca (Manihot esculenta) por inyección termoplástica», 2019.

[26] A. G. Quishpe Haro, «Obtención de material compuesto biodegradable con fibras naturales empleando almidón de achira para productos de un solo uso : material compuesto biodegradable a base de almidón de achira polimerizado con citrato de sodio reforzado con fibra de cascarilla de arroz.», bachelorThesis, Quito : EPN, 2022., 2022. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23236

[27] «El maíz como ingrediente de los nuevos “bioplásticos”». Accedido: 21 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.agrobiomaterials.com/el-maiz-como-

ingrediente-de-los-nuevos-bioplasticos

[28] «Most grown crops in the world 2021», Statista. Accedido: 21 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.statista.com/statistics/1003455/most-produced-crops-and-livestock-products-worldwide/

[29] «Daphnia 21: Bioplásticos: materiales compuestos a base de maíz». Accedido: 21 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.daphnia.es/revista/21/articulo/307/Bioplasticos-materiales-compuestos-a-base-de-maiz

[30] V. M. Escribano Cajo, «Desarrollo y caracterización de un Bioplastico a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis)».

[31] «Lo último en maracuyá: bioplásticos colombianos a partir de su cáscara | ALUNA». Accedido: 21 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://aluna.news/nuevos-materiales/2021/maracuya-cascara-bioplasticos-colombianos/

[32] «Bioplásticos y salsas a partir de residuos de guisantes», Agencia SINC. Accedido: 21 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.agenciasinc.es/Noticias/Bioplasticos-y-salsas-a-partir-de-residuos-de-guisantes

[33] agroempresario.com, «Harina de arveja agroecológico», agroempresario.com. Accedido: 21 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://agroempresario.com/publicacion/14982/harina-de-arveja-agroecologico/

[34] M. C. Morocho Pilataxi, «Obtención de bioplastico a partir del trigo (Triticum) y cebada (Hordeum vulgare) para uso como envolturas biodegradables de alimentos», sep. 2021, Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16840

[35] «content.pdf». Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ca21cbed-c2af-4f0e-9b84-c64f60905f10/content

[36] M. P. Lucena, A. Suarez, y I. Zamudio, «DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE BAMBU PARA APLICACIONES AERONAUTICAS».

[37] S. Medrano, «Revista Electrónica Nova Scientia», vol. 8, 2007.

[38] M. García, «Balart Gimeno, Rafael Antonio».

[39] «09_Polimeros.pdf». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf

[40] «UNE-EN 1672-2:2020 (Ratificada) Maquinaria para procesado de a...» Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065067

[41] «UNE-EN 13432:2001 Envases y embalajes. Requisitos de los envas...» Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465

[42] «NEN-EN 1672-2:2020 en». Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.nen.nl/nen-en-1672-2-2020-en-278623

[43] «287052456.pdf». Accedido: 24 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/287052456.pdf

[44] «TEMA6_compresion.pdf». Accedido: 27 de septiembre de 2024. [En línea].

Disponible en:
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16981/1/TEMA6_compresion.pdf

[45] «TEMA5_Moldeo_por_inyecci_n.pdf». Accedido: 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en:
https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16980/1/TEMA5_Moldeo_por_inyecci_n.pdf

[46] «Beneficios y problemáticas del proceso de la inyección de plástico - Plástico». Accedido: 6 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en:
https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/308676-Beneficios-y-problematicas-del-proceso-de-la-inyeccion-de-plastico.html

[47] A. F. Fonseca Muncha, «Diseño y construcción de un molde de inyección para el soporte unión entre el casco y la carcasa de la orejera para la empresa Halley Corporación», bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, 2018. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en:
https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28173

[48] «Partes de un molde de inyección de plástico - Fow Mould». Accedido: 6 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://imolde.com/partes-de-moldes-de-inyeccion-de-plastico/

[49] «Moldeo por Compresión», Ciência e Tecnologia da Borracha. Accedido: 24 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ctborracha.com/moldeo-por-compresion/

[50] Mariano, «Moldeo por compresión | Tecnología de los Plásticos», Moldeo por compresión | Tecnología de los Plásticos. Accedido: 27 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/10/moldeo-por-compresion.html

[51] C. J. Santamaría Zambrano, «Análisis de parámetros de mecanizado en el proceso de electroerosión por penetración en microfundición de aluminio con electrodos de cobre y grafito y su relación con la rugosidad superficial resultante», bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, 2017. Accedido: 30 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/24777

[52] «Actividades - Fundación Ramón Areces». Accedido: 7 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.fundacionareces.es/fundacionareces/es/actividades/nuevos-avances-en-ciencia-de-materiales.html

[53] «Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo». Accedido: 3 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en:
https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals

[54] «Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo», UNDP. Accedido: 3 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/industria-innovacion-infraestructura

[55] «Objetivo 12: Producción y consumo responsables | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo», UNDP. Accedido: 3 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/produccion-consumo-responsables

[56] «Objetivo 13: Acción por el clima | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo», UNDP. Accedido: 3 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en:
https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/accion-por-el-clima

[57] I. Campos Becerril y R. Medina Negrete, «Proceso de diseño, fabricación y pruebas de funcionalidad de un molde de inyección para un producto plástico», ago. 2014, Accedido: 5 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/30063

[58] Plastico, «Guía completa del termoformado: funcionamiento, materiales y aplicaciones», Plastico. Accedido: 27 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.plastico.com/es/noticias/guia-completa-del-termoformado-funcionamiento-materiales-y-aplicaciones

[59] Plastico, «Moldeo por inyección: técnicas, materiales y mejores prácticas», Plastico. Accedido: 27 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.plastico.com/es/noticias/moldeo-por-inyeccion-todo-lo-que-necesita-saber

[60] J. C. Posada y E. Montes Florez, «Revisión: materiales poliméricos biodegradables y su aplicación en diferentes sectores industriales», *Informador técnico*, vol. 86, n.º 1, pp. 94-110, 2022.

[61] G. Ruíz Avilés, «Polímeros biodegradables a partir del almidón de yuca», 2005, Accedido: 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/10784/7364

[62] V. M. Escribano Cajo, «Desarrollo y caracterización de un Bioplastico a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis)», *Repositorio Institucional - USS*, 2020, Accedido: 28 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/7450

[63] «Diseno y Desarrollo de Productos Ulrich Eppinger | PDF». Accedido: 29 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/doc/285368808/102711746-Diseno-y-Desarrollo-de-Productos-Ulrich-Eppinger

[64] «Kennametal | Solutions for the Most Demanding Industries». Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.kennametal.com/us/en/home

[65] «Homepage». Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.dormerpramet.com/uk-ie/en/

[66] «Fresas planas para Acero Templado», IMCAR. Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://imcar.com/herramienta/fresado-mdi/acero-templado/fresas-planas-para-acero-templado/

[67] «Fresas de grabado | vhf camfacture AG». Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.vhf.com/es/productos/industria-tecnologia-publicitaria/herramientas-cnc/fresas-de-grabado/

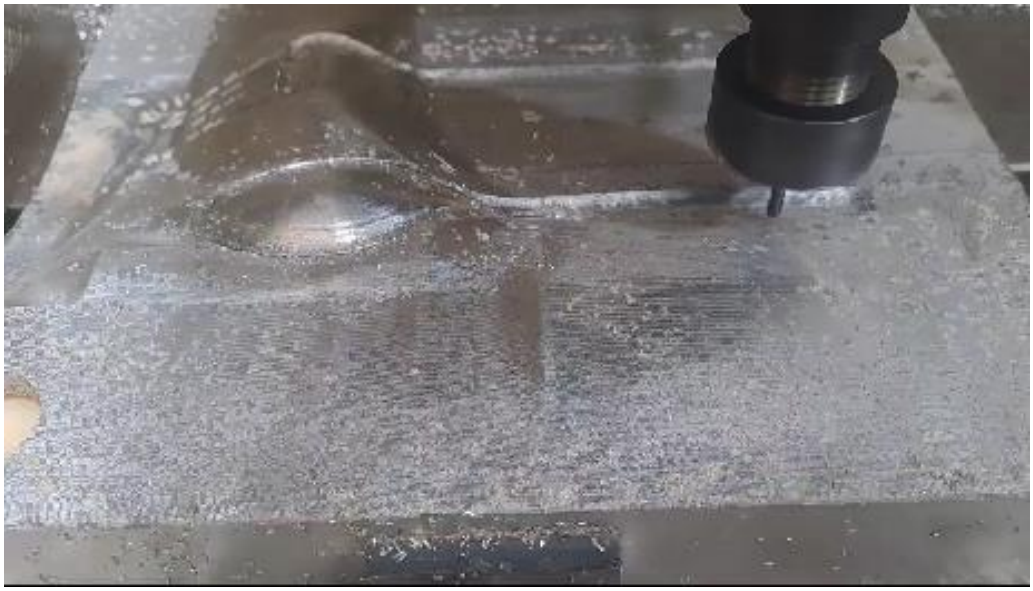
[68] «Escariadores de alto rendimiento con mango cilíndrico». Accedido: 31 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://mapal.com/es-co/productos-y-soluciones/escariado-taladrado-precision/escariadores-de-alto-rendimiento-con-mango-cilindrico

[69] L. Bernal y E. Martínez-Barajas, «Una nueva visión de la degradación del almidón», . *Ene..*, vol. 7, 2006.

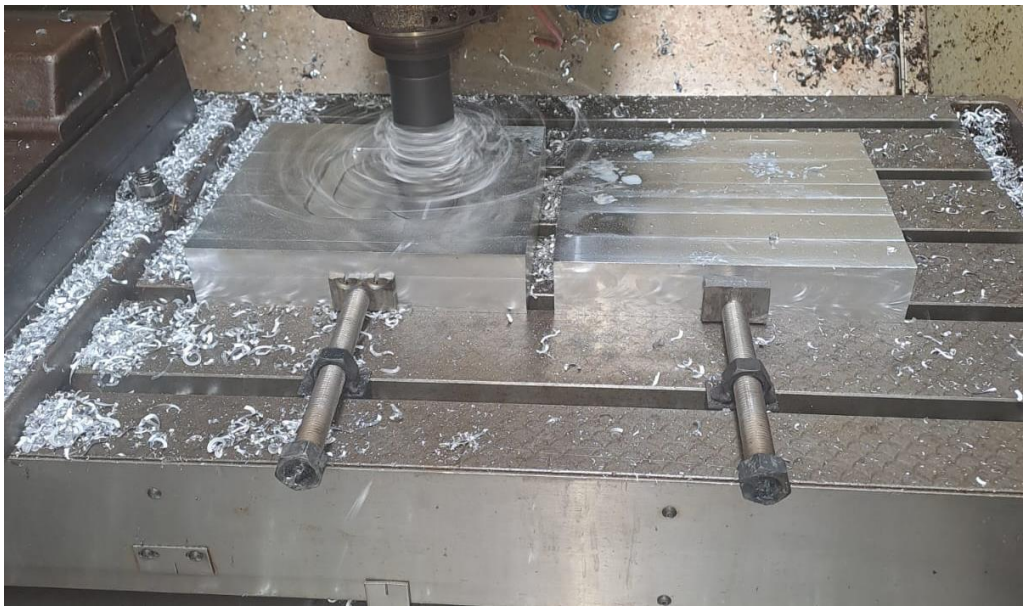
ANEXOS

1. Maquinado del molde







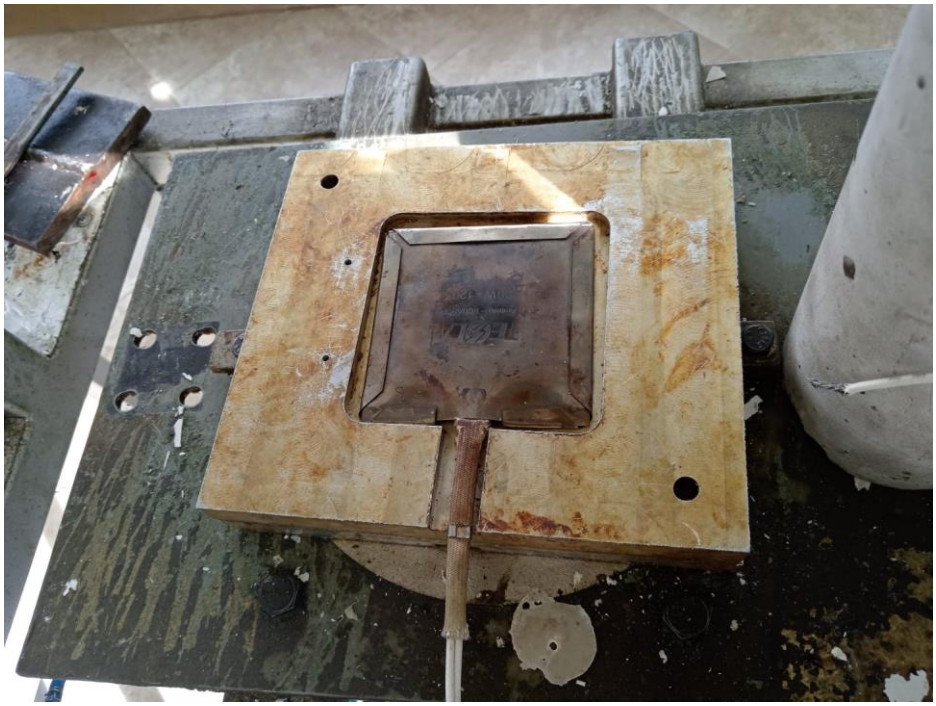


2. Realización de los tenedores y cucharas de bioplástico de trigo





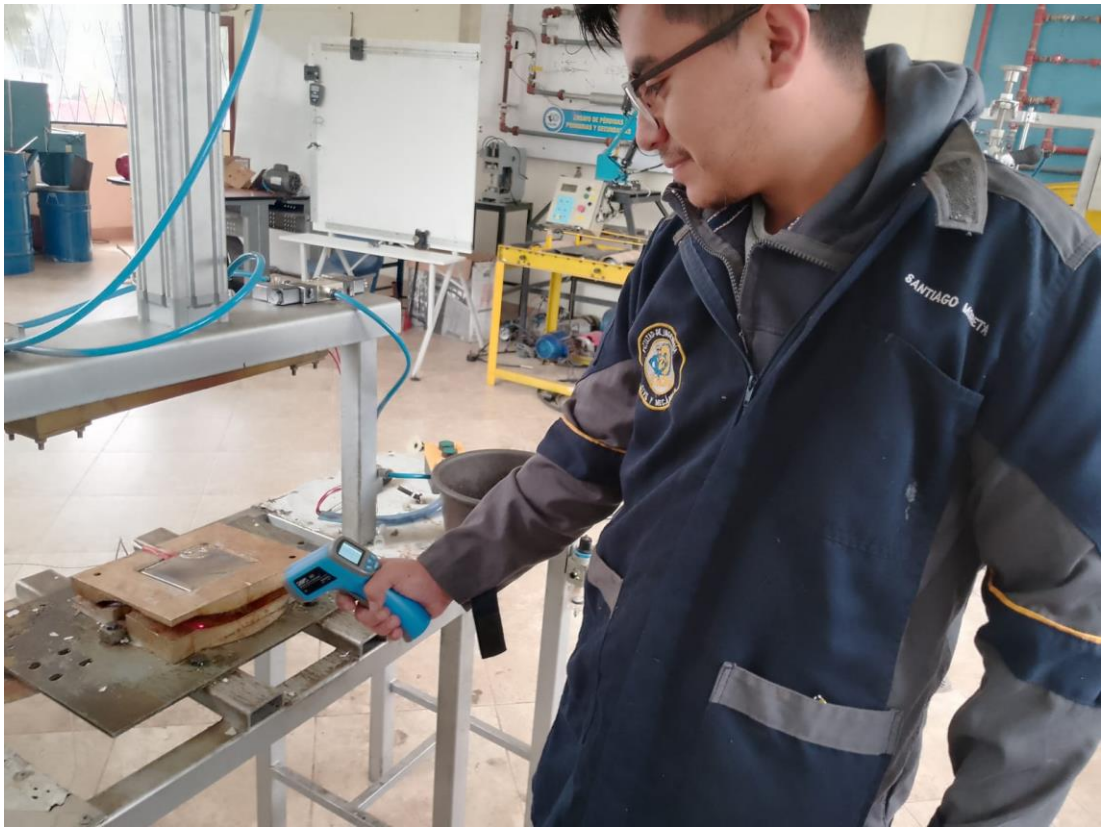
3. Temperatura del molde superior





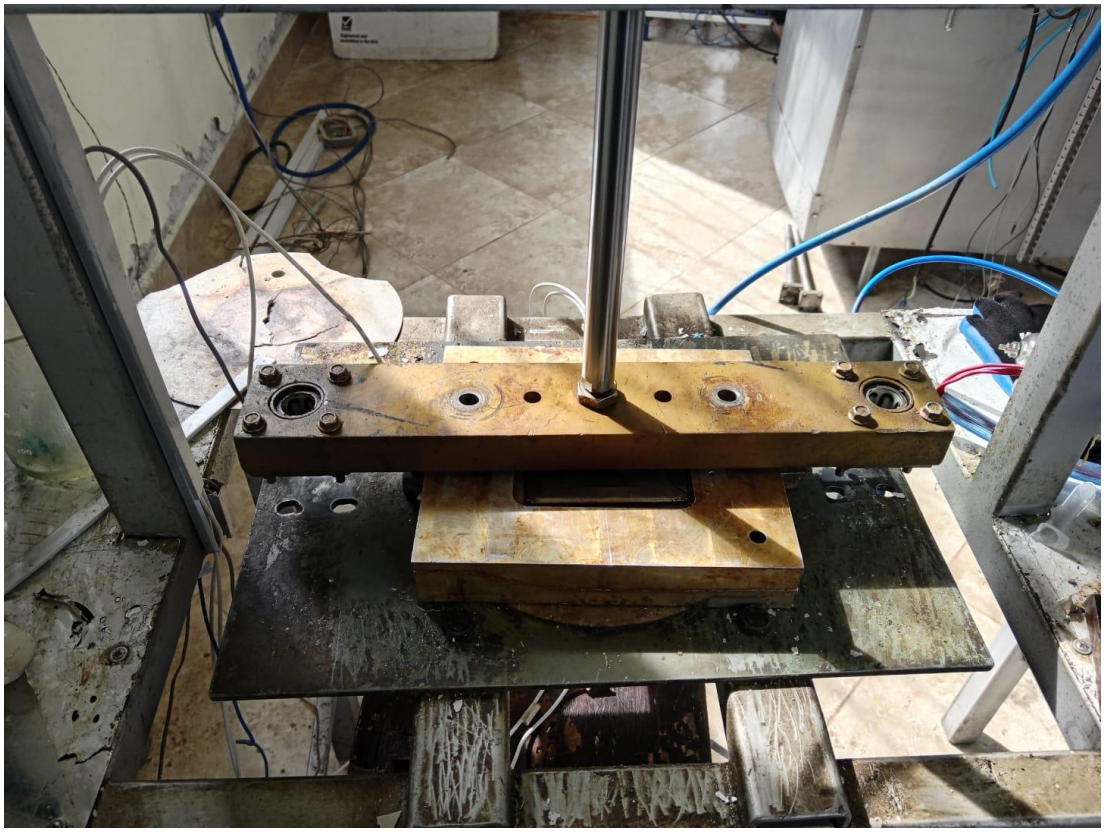


4. Temperatura del molde inferior





5. Compresión en el molde



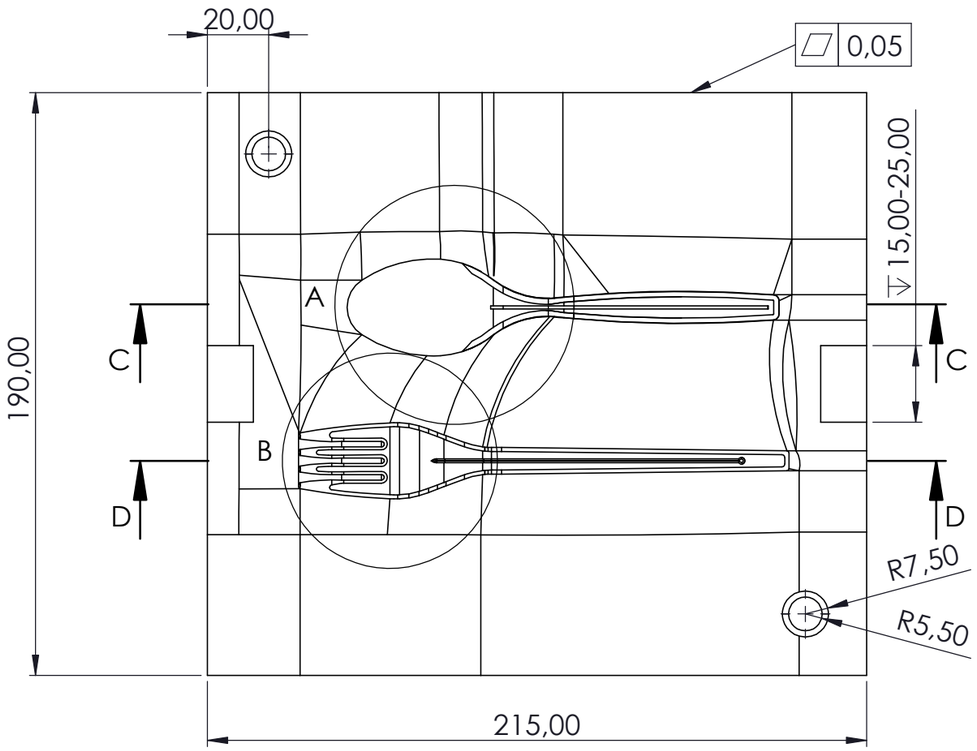
6. Desgaste del molde

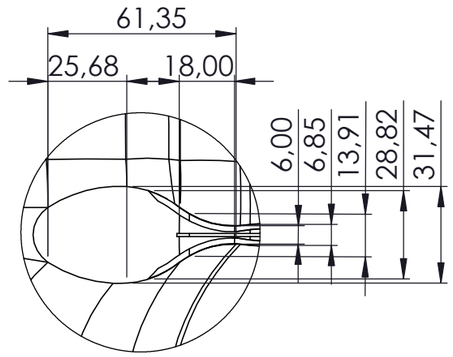


7. Rugosidades esperadas

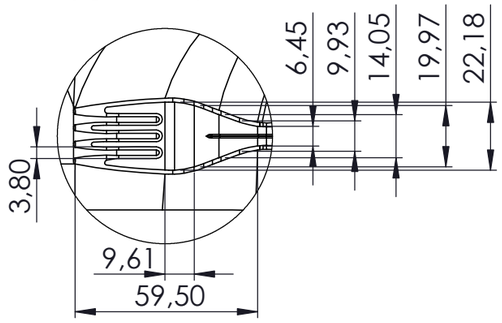
Estados Superficiales	PROCESOS NORMALES DE FABRICACIÓN												TABLA 3 . 8
Clase de trabajo	*Poco esmerado*			*Esmerado*			*Fino*			*Refinado*			
Clase de rugosidad	*12*	*11*	*10*	*9*	*8*	*7*	*6*	*5*	*4*	*3*	*2*	*1*	*0,5*
Símbolo													
Rugosidad en micrones	*50*	*25*	*12,5*	*6,3*	*3,2*	*1,6*	*0,80*	*0,40*	*0,20*	*0,10*	*0,05*	*0,025*	*0,012*
Rugosidad en micropulgadas	*2000*	*1000*	*500*	*250*	*125*	*63*	*32*	*16*	*8*	*4*	*2*	*1*	*0,5*
Oxicorte													
Aserrado													
Cepillado, limado													
Taladrado													
Fresado													
Brochado													
Escariado													
Mandrinado, torneado													

Planos

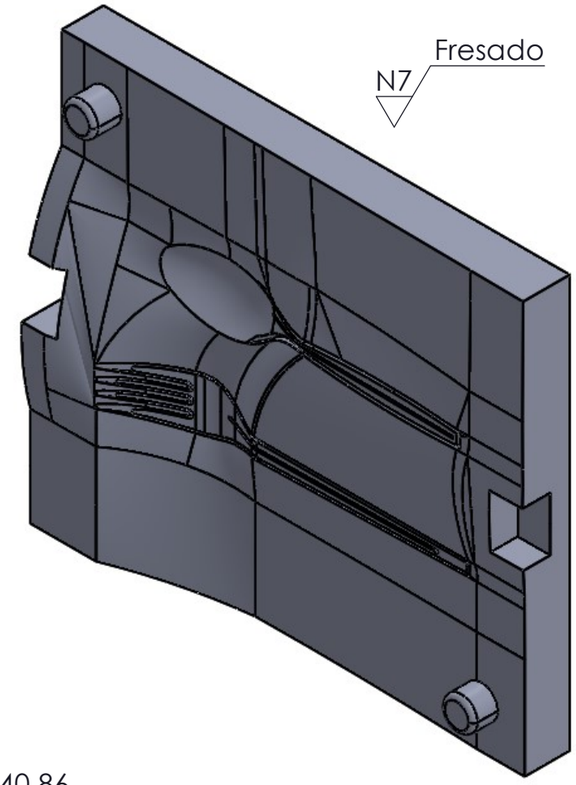


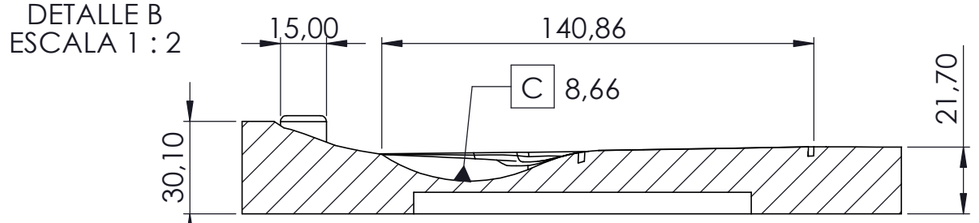


DETALLE A
ESCALA 1 : 2

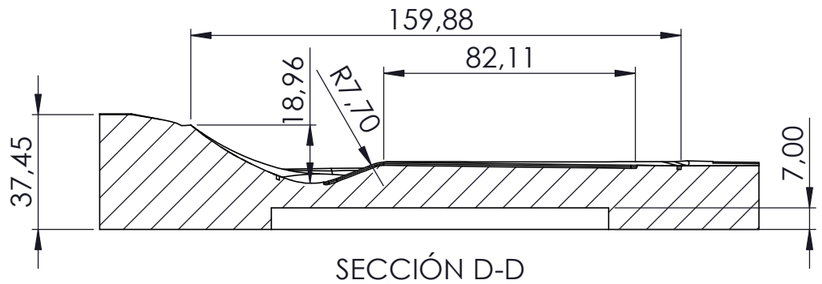


DETALLE B
ESCALA 1 : 2

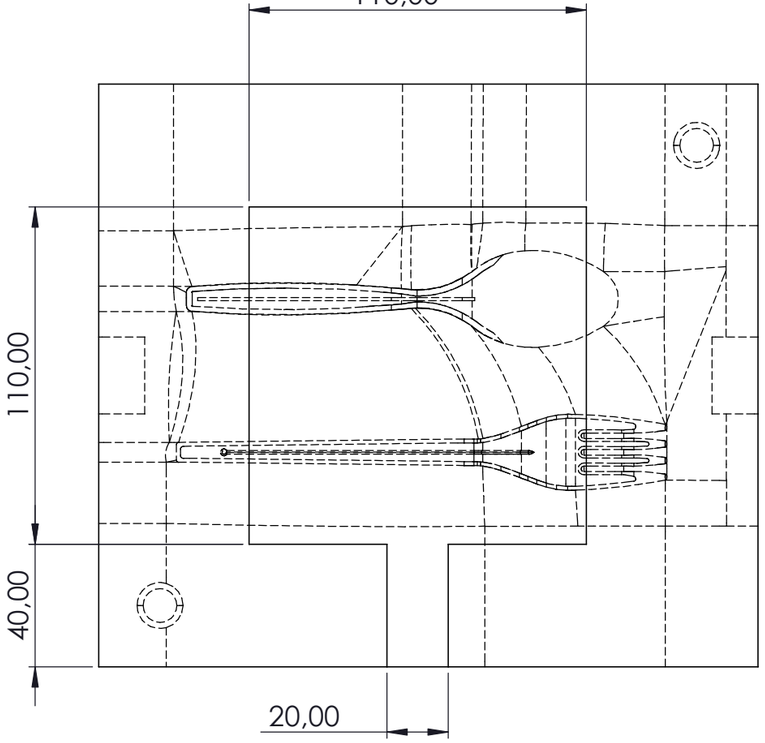




SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 2



Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)
±0.1	773.91 g

Materiales: Aluminio 7075

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/12/24	Sarzosa D.
Revisó:	07/01/25	Ing. Lopez J.
Aprobó:	07/01/25	Ing. Lopez J.

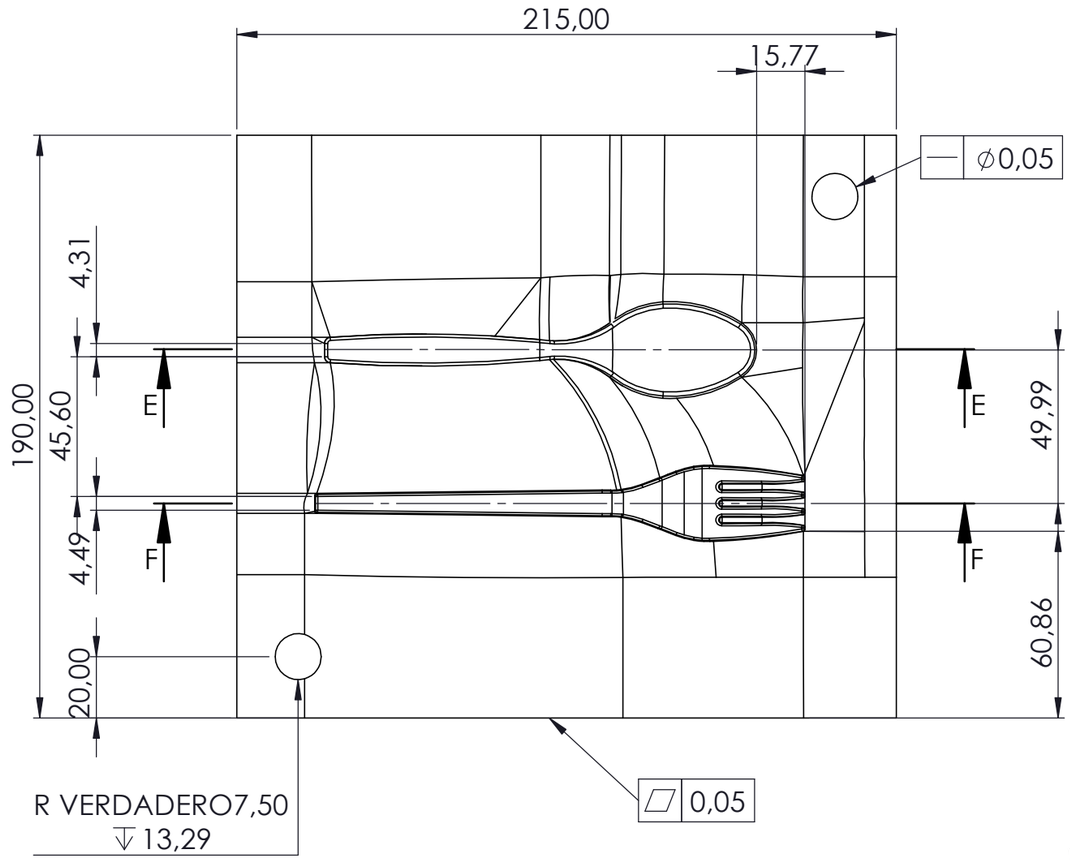
UTA
Ingeniería Mecánica

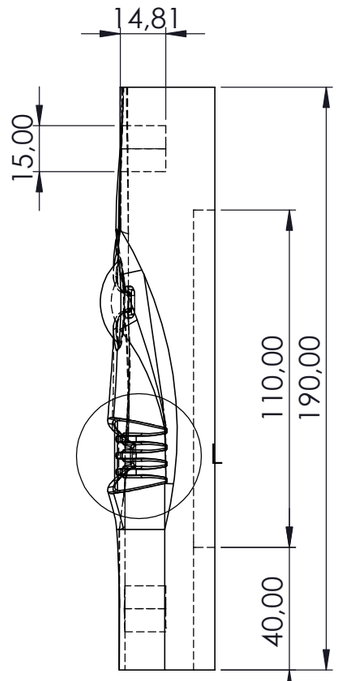
Denominación: Molde Inferior

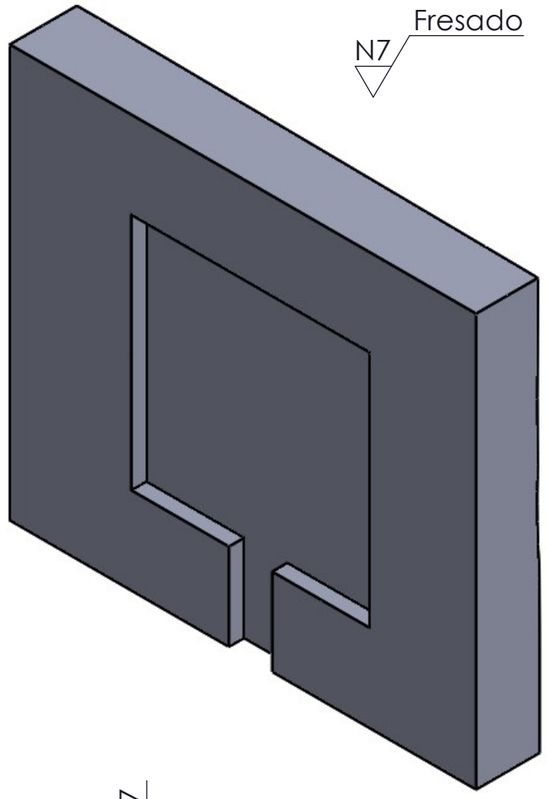
Escala: 1:2

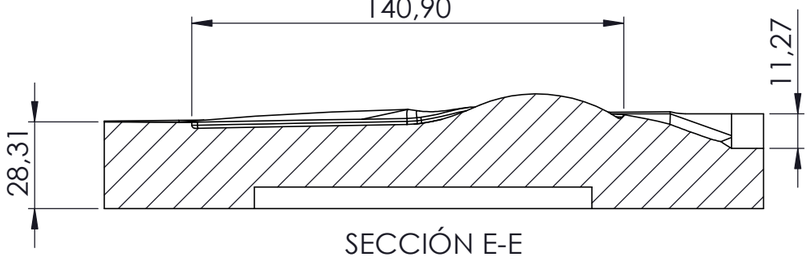
Número del dibujo: 01

(Sustitución)

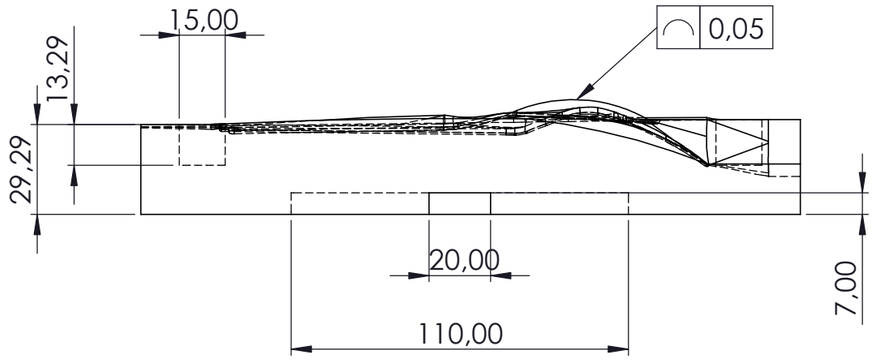


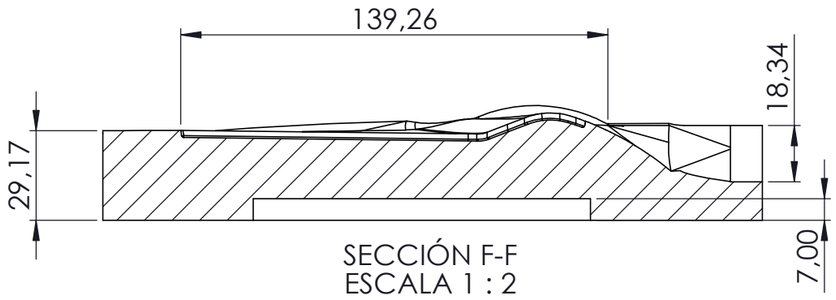




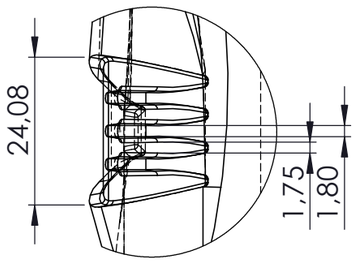


SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 2





SECCIÓN F-F
ESCALA 1 : 2



DETALLE L
ESCALA 1 : 1

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)
±0.1	1062.45 g

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/12/24	Sarzosa D.
Revisó:	07/01/25	Ing. Lopez J.
Aprobó:	07/01/25	Ing. Lopez J.

UTA
Ingeniería Mecánica

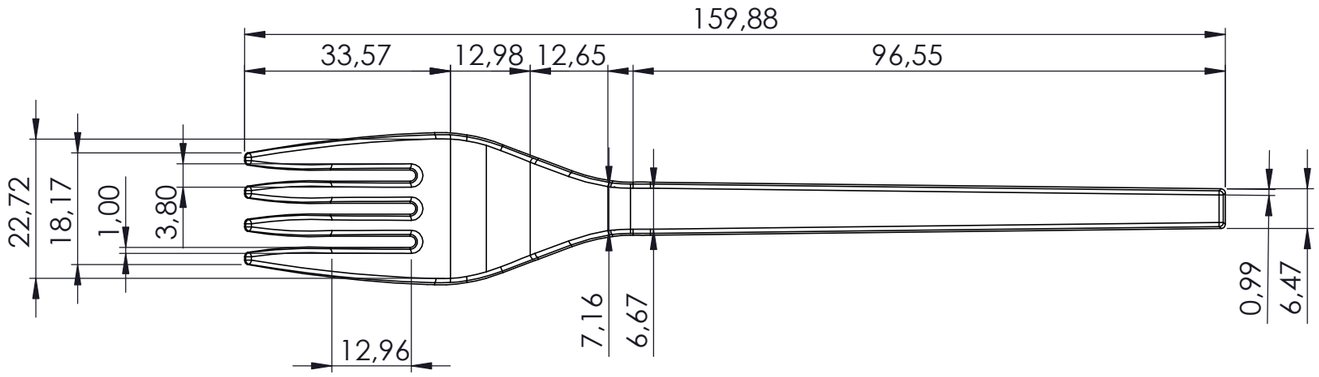
Materiales: Aluminio 7075

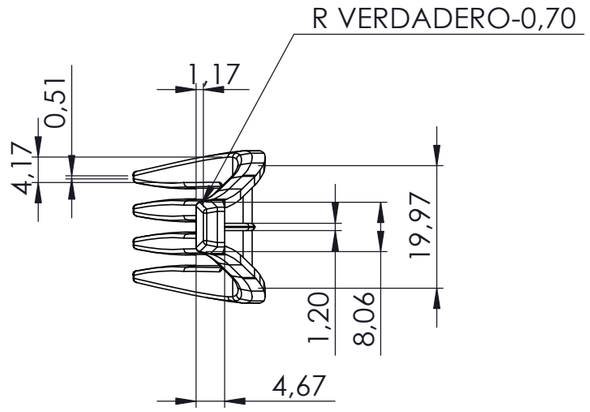
Denominación: Molde Superior

Escala: 1:2

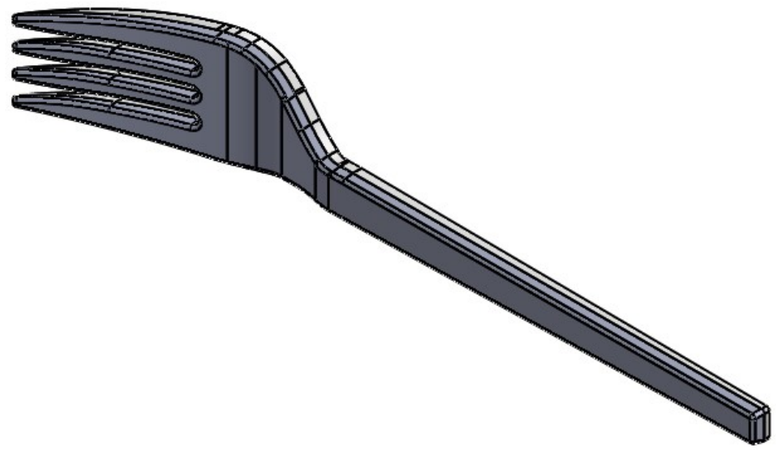
Número del dibujo: 02

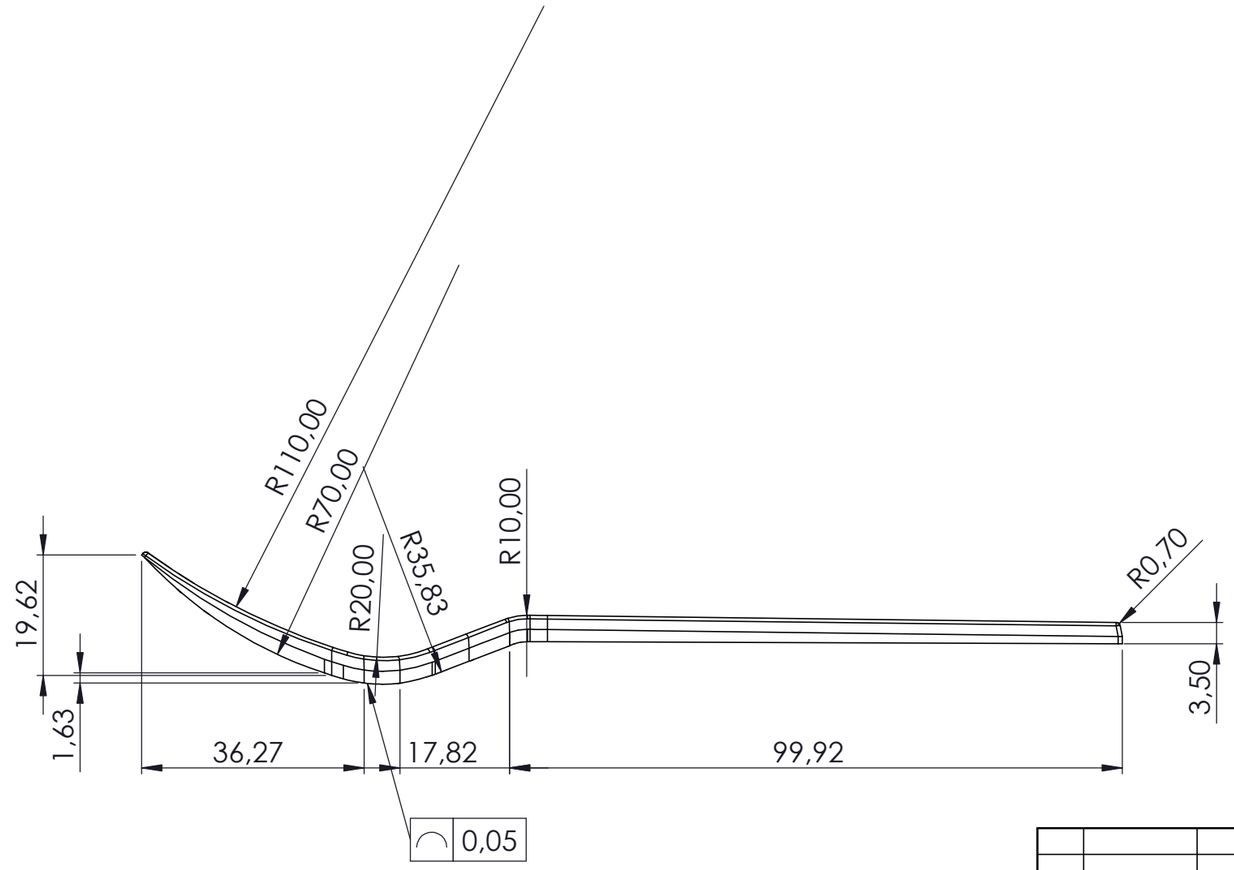
(Sustitución)





DETALLE G
ESCALA 1 : 2





Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)	Materiales:
±0.1	4.19 g	Almidon de Trigo

	Fecha	Nombre
Dibujó:	23/12/24	Sarzosa D.
Revisó:	07/01/25	Ing. Lopez J.
Aprobó:	07/01/25	Ing. Lopez J.

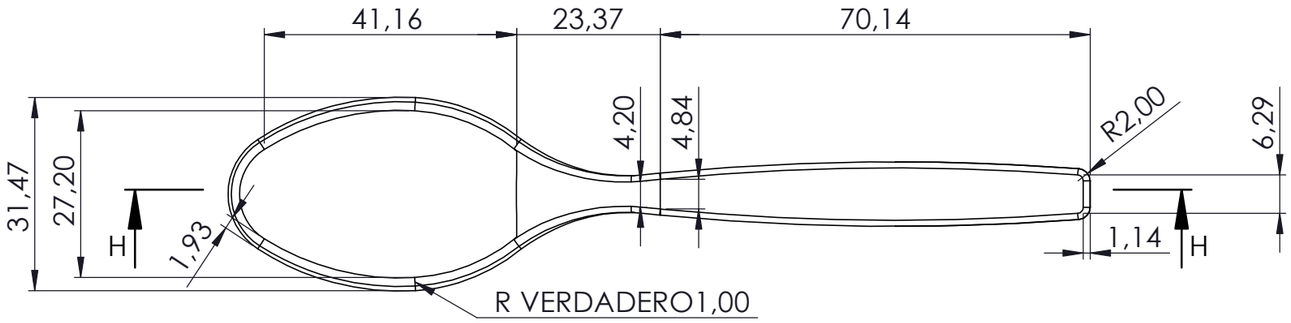
UTA
Ingeniería Mecánica

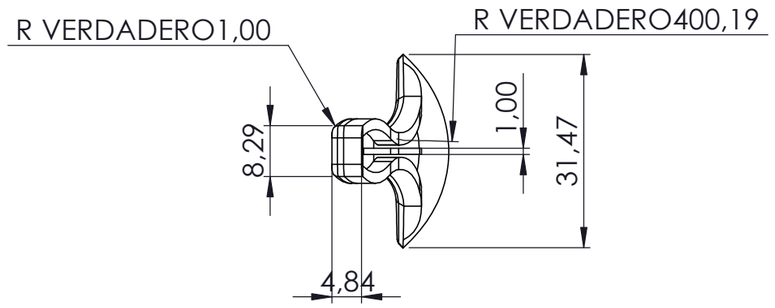
Denominación: Tenedor

Escala: 1:1

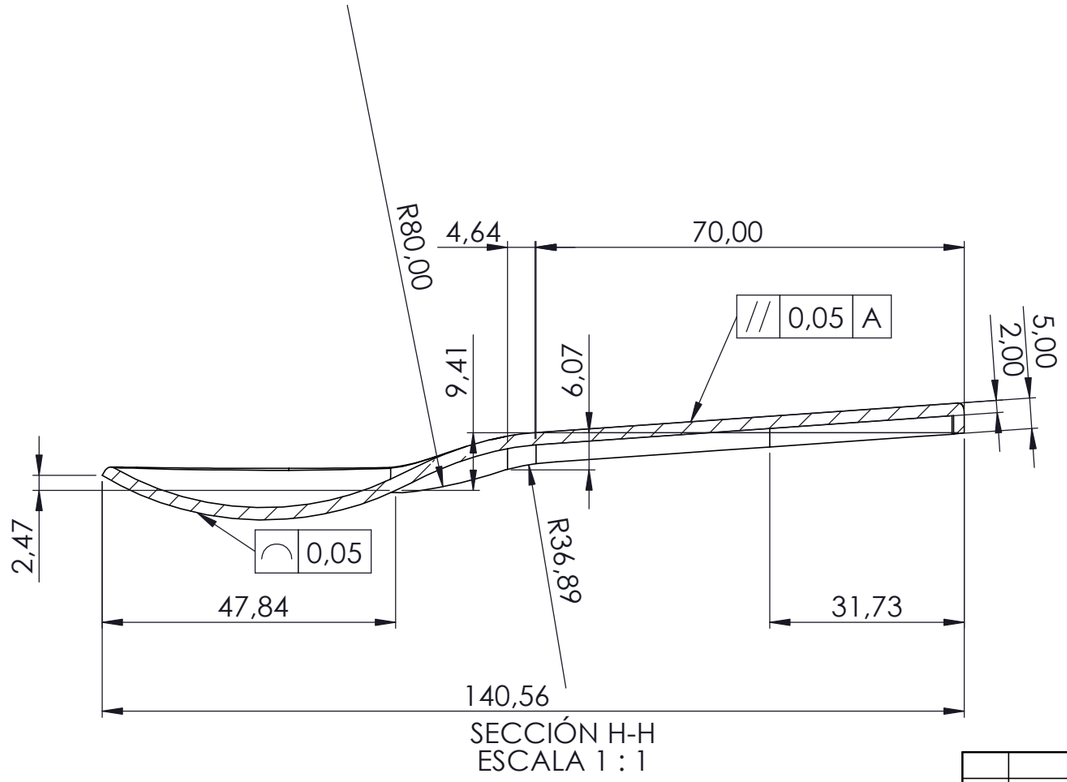
Número del dibujo: 03

(Sustitución)

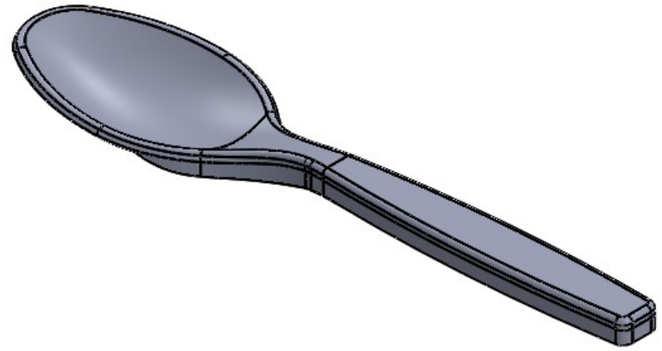




DETALLE H
ESCALA 1 : 1



SECCIÓN H-H
ESCALA 1 : 1



				Tolerancia		(Peso)	Materiales:
				±0.1		4.86 g	Almidon de Trigo
					Fecha	Nombre	Denominación: / Escala:
				Dibujó:	23/12/24	Sarzosa D.	Cuchara / 1:1
				Revisó:	07/01/25	Ing. Lopez J.	
				Aprobó:	07/01/25	Ing. Lopez J.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 04
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)