



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 UNA MÁQUINA PARA PRODUCIR
PLATOS CON MATERIAL BIODEGRADABLE PARA EL LABORATORIO
DE MATERIALES DE LA FICM-UTA.”**

AUTORES: Paúl Aníbal Guamanquispe Salas

Alex Fabricio Pardo Domínguez

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui

AMBATO - ECUADOR

Marzo - 2023

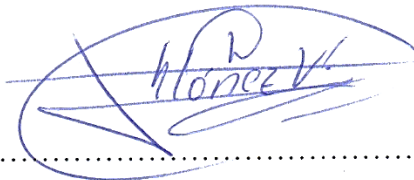
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA PRODUCIR PLATOS CON MATERIAL BIODEGRADABLE PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FICM-UTA.”**, elaborado por los señores **Paúl Aníbal Guamanquispe Salas**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1804910097 y **Alex Fabricio Pardo Domínguez**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805454996, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, marzo 2023



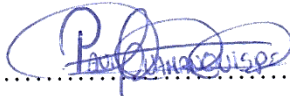
.....
Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Nosotros, **Paúl Aníbal Guamanquispe Salas**, con C.I. 1804910097 y **Alex Fabricio Pardo Domínguez**, con C.I. 1805454996, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA PRODUCIR PLATOS CON MATERIAL BIODEGRADABLE PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FICM-UTA.**”, así como también las ideas de diseño, parámetros, criterios, análisis, graficas, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

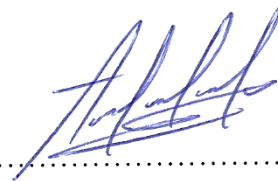
Ambato, marzo 2023



Paúl Aníbal Guamanquispe Salas

C.I. 1804910097

AUTOR



Alex Fabricio Pardo Domínguez

C.I. 1805454996

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 en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos 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 nuestros derechos de autor.

Ambato, marzo 2023



Paúl Aníbal Guamanquispe Salas

C.I. 1804910097

AUTOR



Alex Fabricio Pardo Domínguez

C.I. 1805454996

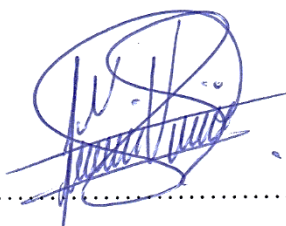
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

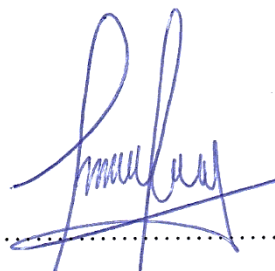
Los miembros del Tribunal de Grado, aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Paúl Aníbal Guamanquispe Salas y Alex Fabricio Pardo Domínguez, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA PRODUCIR PLATOS CON MATERIAL BIODEGRADABLE PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA FICM-UTA.”**

Ambato, marzo 2023

Para constancia firma:



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



.....
Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Principalmente dedico este trabajo de titulación Dios, que me dio la vida y me permitió alcanzar esta etapa muy importante de mi formación profesional.

A mis amados padres, Aníbal Guamanquispe y Carmen Salas, por todo su apoyo incondicional a lo largo de toda mi formación académica, por estar ahí siempre ayudándome con sus consejos hasta cumplir con todos mis objetivos. A mis hermanas Carolina y Mariela Guamanquispe que estuvieron conmigo apoyándome y brindándome todo su cariño incondicional.

A mi mejor amiga Liz, que siempre estuvo a mi lado y me apoyó en los momentos más difíciles, por todos sus sabios consejos y ser la persona que nunca me abandonó y me demostró que a pesar de todos los obstáculos que se presente, si entregas todo tu esfuerzo todo en la vida es posible.

Guamanquispe Salas Paúl Aníbal

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres, Mercy y Patricio por todo su amor y por motivarme a seguir hacia adelante. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

También se la dedico a mi abuela Rosa y a mi tío Franco por brindarme su ayuda incondicional, su sabiduría y fuerzas para continuar.

A mi hermana Doménica, por todo su apoyo incondicional, espero le sirva de ejemplo de que todo se puede lograr.

Y, finalmente, a todos los que creyeron en mí, con su actitud lograron que tomará más impulso para grandes metas.

Pardo Domínguez Alex Fabricio

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por mis experiencias vitales, por la capacidad de alcanzar gradualmente nuevas metas en la vida y por la preciosa oportunidad de tener un padre, una madre y unas hermanas que, por encima de todo, hicieron de mí una buena persona con su sabiduría y su amor, y me enseñaron las cosas verdaderamente preciosas de la vida.

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato por haberme dado la oportunidad de ingresar a la Facultad de Ingeniería Mecánica, donde recibí mi formación académica y profesional a través de los conocimientos de quienes han sido mis docentes a lo largo de mi carrera.

Un agradecimiento especial a mi tutor, el Ing. Jorge López, quien me guio a lo largo de mi trabajo y me brindó el apoyo moral y la experiencia para completar exitosamente el presente proyecto.

A mi compañero de proyecto Alex, y a todos los amigos que me han brindado su amistad y apoyo para completar mi carrera, y a todos los que han participado en mi formación profesional.

Guamanquispe Salas Paúl Aníbal

AGRADECIMIENTO

Al ver el resultado logrado con este proyecto, solamente se me ocurre una palabra: ¡Gracias! En primer lugar quiero agradecer a Dios por impartirme el don de la sabiduría. Mi profundo agradecimiento a mis padres y a mi abuela, que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y regresarles resultados extraordinarios.

Le agradezco muy profundamente a mi tutor por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria para mi futuro profesional.

Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino académico, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento.

Agradecerles a todos mis compañeros por las horas compartidas y los trabajos realizados, especialmente a mi compañero de proyecto. A mis amigos por las experiencias obtenidas durante esta época de mi vida y a mi compañera especial por vivir todo este proceso junto a mí. Además total agradecimiento a todas las personas que me impartieron un consejo o una ayuda tanto familiares como conocidos.

Por último agradecer a la universidad que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título. Agradezco a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos.

Pardo Domínguez Alex Fabricio

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
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.....	3
1.1.4 Fundamentación Teórica.....	6
1.1.4.1 Material biodegradable.....	6
1.1.4.2 Plato biodegradable.....	9
1.1.4.3 Propiedades de distintas materias primas biodegradables	10
1.1.4.4 Parámetros de la materia prima en el proceso de termoformado	11
1.1.4.5 Tipos de prensas.....	12
1.1.4.6 Sistema neumático para prensado de platos biodegradables.....	17
1.1.4.7 Accionamiento neumático.....	18

1.1.4.8	Termoformado en la industria.....	18
1.1.4.9	Principales variables de un termoformado.....	20
1.1.4.10	Resistencias de calentamiento.....	22
1.1.4.11	Caja de control eléctrico.....	23
1.1.4.12	Normativa y aspectos que considerar en la fabricación de platos biodegradables.....	24
1.1.4.13	Metales para la industria alimenticia.....	26
1.1.4.14	Antiadherente de aceite vegetal.....	29
1.1.4.15	Parámetros de diseño.....	29
1.1.4.16	Método de elementos finitos para análisis.....	31
1.2	Objetivos.....	32
1.2.1	Objetivo general.....	32
1.2.2	Objetivos específicos.....	32
CAPÍTULO II.....		33
METODOLOGÍA.....		33
2.1	Materiales.....	33
2.2	Métodos.....	42
2.2.1	Tipo de investigación.....	42
2.2.2	Método para el proceso de diseño.....	44
2.2.3	Programas.....	46
2.2.4	Estudio de alternativas para diversos sistemas de la máquina.....	47
2.2.5	Alternativas de diseño.....	51
2.2.6	Evaluación de opciones.....	53
2.2.7	Solución de la mejor opción para fabricar la máquina que elabora platos biodegradables.....	57
2.2.8	Cálculos y diseño.....	58
2.2.8.1	Estudio de fuerzas de embutición.....	58

2.2.8.2	Diseño del sistema neumático.....	64
2.2.8.3	Sistema de calentamiento.....	73
2.2.8.4	Diseño de la matriz y el punzón.....	75
2.2.8.5	Ejes guías	83
2.2.8.6	Diseño estructural.....	85
CAPÍTULO III.....		92
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		92
3.1	Análisis y discusión de los resultados	92
3.1.1	Temperatura en las resistencias eléctricas.....	93
3.1.2	Temperatura en los moldes	94
3.1.3	Análisis a compresión	106
3.1.4	Análisis de la estructura	113
3.1.5	Dispersión térmica real	120
3.1.6	Pruebas para obtener el plato biodegradable óptimo	123
3.1.7	Verificación de las dimensiones del plato biodegradable obtenido ...	129
3.1.8	Pruebas de funcionamiento del plato biodegradable.....	132
3.1.9	Pruebas con relación a las propiedades mecánicas	136
3.1.10	Recursos financieros de la maquinaria para producir platos con material biodegradable.....	141
CAPÍTULO IV.....		149
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		149
4.1	Conclusiones.....	149
4.2	Recomendaciones	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		152
ANEXOS.....		166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas de los distintos tipos de prensas.	15
Tabla 2. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero AISI 304.	27
Tabla 3. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero AISI 430.	27
Tabla 4. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del aluminio 6063.....	28
Tabla 5. Equipos y materiales.	33
Tabla 6. Análisis de sistema de encendido.....	47
Tabla 7. Análisis de sistema para calentamiento de matrices.	48
Tabla 8. Análisis de sistema para accionar el prensado.	49
Tabla 9. Análisis de sistema de corte.	50
Tabla 10. Valores para el análisis de criterios.....	54
Tabla 11. Ponderación de los criterios de diseño.	54
Tabla 12. Ponderación de las opciones con relación al cumplimiento de la norma NTE INEN-EN 1672-2.	54
Tabla 13. Ponderación de las opciones con relación al costo.	55
Tabla 14. Ponderación de las opciones con relación al mantenimiento de la máquina.	55
Tabla 15. Ponderación de las opciones con relación a la automatización.....	56
Tabla 16. Ponderación de las opciones con relación a la capacidad y eficiencia.	56
Tabla 17. Ponderación de las opciones con relación a la seguridad.	56
Tabla 18. Ponderación de las opciones con relación al consumo energético.....	57
Tabla 19. Análisis de las ponderaciones para elegir una solución.....	57
Tabla 20. Dimensiones del plato para calcular diámetro D.	60
Tabla 21. Cálculo de fuerza de embutido.....	60
Tabla 22. Cálculo de la fuerza de fricción.	61
Tabla 23. Cálculos para la fuerza de corte.	63
Tabla 24. Cálculo de la fuerza total.....	64
Tabla 25. Cálculo del consumo de aire.	70
Tabla 26. Cálculo de velocidad para desbaste.....	79
Tabla 27. Cálculo de velocidad con fresa de 6mm para acabado.	80
Tabla 28. Cálculo de velocidad con fresa de 3mm para acabado.	80

Tabla 29. Tolerancia de agujero - eje para las matrices.....	82
Tabla 30. Tolerancia de agujero - eje para los ejes guías.....	85
Tabla 31. Análisis de placa base con distintos espesores.....	87
Tabla 32. Descripción de perfiles de la estructura.	88
Tabla 33. Pesos de distintos accesorios de la máquina.	88
Tabla 34. Resultado de las combinaciones de cargas.....	91
Tabla 35. Factor de seguridad general de la maquinaria.....	120
Tabla 36. Pruebas de dispersión térmica en la práctica.....	121
Tabla 37. Pruebas para la fabricación del plato biodegradable.....	124
Tabla 38. Verificación de dimensiones del plato.	129
Tabla 39. Pruebas de funcionamiento del plato biodegradable.....	132
Tabla 40. Pruebas con relación a la deflexión.....	136
Tabla 41. Pruebas de impacto.	138
Tabla 42. Comparativa con otro tipo de platos.	139
Tabla 43. Comparativa de platos con peso crítico.	140
Tabla 44. Costos de los materiales para la fabricación de la maquinaria.....	142
Tabla 45. Costos de la mano de obra.	145
Tabla 46. Cálculo del costo total.....	146
Tabla 47. Cantidad de materia prima para la elaboración del paquete de 12 unidades.	147
Tabla 48. Costo del paquete de 12 unidades (Materia prima).....	147
Tabla 49. Cálculo de precio de producción unitario para el paquete de 12 unidades de platos biodegradables del proyecto.	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Platos fabricados con material biodegradable.	6
Figura 2. Platos fabricados por la empresa LEAF REPUBLIC.....	9
Figura 3. Platos fabricados a base de biomasa vegetal.	10
Figura 4. Prensa mecánica.	13
Figura 5. Prensa hidráulica.....	14
Figura 6. Prensa neumática.	14
Figura 7. Prensa eléctrica.	15
Figura 8. Termoformado mecánico con molde hembra y macho	19
Figura 9. Termoformado a presión con ayuda de pistón molde hembra.....	19
Figura 10. Sección transversal del modelo para moldear.	20
Figura 11. Modos de transferencia de calor.	22
Figura 12. Resistencia tipo placa.	23
Figura 13. Resistencia tipo cartucho.	23
Figura 14. Elemento tipo cáscara (SHELL).....	31
Figura 15. Diagrama de flujo de las etapas del proyecto.....	46
Figura 16. Alternativas para diseño de la máquina.....	51
Figura 17. Esquema del plato a fabricar, con borde.....	59
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre del área de trabajo del punzón.	61
Figura 19. Gráfico de presión - fuerza para encontrar el diámetro del émbolo.	65
Figura 20. Fuerza de avance y retroceso en cilindros de distintos tamaños.	65
Figura 21. Gráfico de pandeo para encontrar el diámetro del vástago.	66
Figura 22. Norma aplicable según las características del actuador neumático.	67
Figura 23. Tamaños normalizados y carreras en cilindros neumáticos.	67
Figura 24. Fuerza teórica de sujeción de las ventosas en Newtons.	69
Figura 25. Sistema neumático y su mando de control eléctrico.....	72
Figura 26. Valores iniciales para un controlador PID.....	74
Figura 27. Gráfica Conductividad térmica vs Precio.....	75
Figura 28. Gráfica Resistencia a la fatiga vs Precio.	76
Figura 29. Gráfica Mecanizabilidad vs Precio.....	76
Figura 30. Velocidad de corte y avance recomendado para diversos materiales.....	77

Figura 31. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en desbaste.	79
Figura 32. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en acabado.	79
Figura 33. Ensamble de las matrices diseñadas en software.....	81
Figura 34. Tolerancia general según el sistema ISO.....	81
Figura 35. Ajustes recomendados según el sistema ISO.	82
Figura 36. Recomendaciones para la correcta elección de rodamiento lineales.	84
Figura 37. Dimensiones para altura y espacio de piernas para mesas de trabajo con bordes delanteros rectos.	85
Figura 38. Simulación de placa base.....	86
Figura 39. Configuración de la estructura del proyecto.....	91
Figura 40. Diseño final de la máquina para elaborar platos biodegradables.	92
Figura 41. Distribución de la temperatura en la resistencia a los 60 segundos.....	93
Figura 42. Temperatura con relación al tiempo en la zona de contacto con el molde.	94
Figura 43. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (80 °C).	95
Figura 44. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 80°C.....	95
Figura 45. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (90 °C).	96
Figura 46. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 90°C.....	96
Figura 47. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (100 °C).	96
Figura 48. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 100°C.....	97
Figura 49. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (110 °C).	97
Figura 50. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 110°C.....	97
Figura 51. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (120 °C).	98
Figura 52. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 120°C.....	98

Figura 53. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (130 °C).	98
Figura 54. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 130°C.	99
Figura 55. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (170 °C).	99
Figura 56. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 170°C.	99
Figura 57. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (80 °C).	100
Figura 58. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 80°C.	101
Figura 59. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (90 °C).	101
Figura 60. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 90°C.	101
Figura 61. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (100 °C).	102
Figura 62. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 100°C.	102
Figura 63. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (110 °C).	102
Figura 64. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 110°C.	103
Figura 65. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (120 °C).	103
Figura 66. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 120°C.	103
Figura 67. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (130 °C).	104
Figura 68. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 130°C.	104
Figura 69. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (170 °C).	104
Figura 70. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 170°C.	105
Figura 71. Deformación total de las matrices unidas sometidas a compresión.	107
Figura 72. Deformación direccional (eje Y) de las matrices unidas sometidas a compresión.	107
Figura 73. Esfuerzo equivalente de Von Mises de las matrices unidas sometidas a compresión.	108

Figura 74. Factor de seguridad de las matrices unidas sometidas a compresión. ...	108
Figura 75. Análisis a fatiga (vida) de las matrices unidas sometidas a compresión.	109
Figura 76. Factor de seguridad a fatiga de las matrices unidas sometidas a compresión.	109
Figura 77. Deformación total de la placa de soporte inferior sometida a compresión.	110
Figura 78. Deformación direccional (eje Y) de la placa de soporte inferior sometida a compresión.	111
Figura 79. Esfuerzo equivalente de Von Mises de la placa de soporte inferior sometida a compresión.	111
Figura 80. Factor de seguridad de la placa de soporte inferior sometida a compresión.	112
Figura 81. Análisis de fatiga (vida) de la placa de soporte inferior sometida a compresión.	112
Figura 82. Factor de seguridad a fatiga de la placa de soporte inferior sometida a compresión.	113
Figura 83. Reacciones proporcionadas por software evaluando la carga muerta de la estructura.	114
Figura 84. Reacciones proporcionadas por software evaluando la carga viva de instalación de la estructura.	114
Figura 85. Reacciones proporcionadas por software evaluando la carga viva debido a la ocupación de la estructura.	115
Figura 86. Sumatoria de las cargas en la combinación 3 del método LRFD de la estructura en software.	115
Figura 87. Resultados y verificación de la resistencia de la estructura conforme al código AISC-LRFD.	116
Figura 88. Deformación total de la estructura.	117
Figura 89. Deformación direccional (eje Y) de la estructura.	118
Figura 90. Esfuerzos directos que soporta la estructura.	118
Figura 91. Esfuerzo combinado mínimo que soporta la estructura.	119
Figura 92. Esfuerzo combinado máximo que soporta la estructura.	119

Figura 93. Platos biodegradables en uso.....	135
Figura 94. Análisis de platos con alimentos secos calientes posterior al uso.	135

RESUMEN

Desde el punto de vista de la protección del medio ambiente, tiene sentido dejar de usar recipientes de un solo uso elaborados con plásticos contaminantes, y empezar a utilizar productos biodegradables y compostables. Las vajillas biodegradables y compostables son mucho más respetuosas con la naturaleza y el medio ambiente, en comparación de las vajillas de plástico desechables. Un material biodegradable llega a descomponerse mucho más rápido que el plástico, llegando a actuar como una solución a un tema primordial en la actualidad.

Se proporcionaron los conocimientos técnicos y tecnológicos para diseñar y construir una máquina que produzca platos con material biodegradable. Se realizó la investigación sobre materiales biodegradables y como se puede transformar en un recipiente de un solo uso. Posteriormente se realizó el diseño considerando varias propuestas de otros ejemplares y siguiendo parámetros de diseño, así como también normas que tengan relación con el tema. Se construyó el prototipo y finalmente se realizaron las pruebas con una materia prima propuesta, que es a base de salvado de trigo.

Se fabricaron los platos biodegradables programando el prototipo a una temperatura en las matrices de 140 grados centígrados, una presión de 7 bares y en el lapso de un minuto se consiguió un plato biodegradable de 70 gramos aproximadamente. Una vez logrado el plato biodegradable se realizaron algunos ensayos para tener una idea sobre sus propiedades mecánicas, especialmente su resistencia a la flexión.

Palabras claves: Medio ambiente, plásticos contaminantes, biodegradable, desechables, salvado de trigo, propiedades mecánicas, flexión.

ABSTRACT

From an environmental protection point of view, it makes sense to stop using single-use containers made of polluting plastics and start using biodegradable and compostable products. Biodegradable and compostable tableware is much more environmentally friendly compared to disposable plastic tableware. A biodegradable material decomposes much faster than plastic, thus acting as a solution to a major issue today.

Technical and technological know-how was provided to design and build a machine to produce dishes with biodegradable material. Research on biodegradable materials and how it can be transformed into a single-use container was carried out. Afterwards, the design was made considering several proposals of other examples and following design parameters, as well as standards related to the subject. The prototype was built and finally the tests were carried out with a proposed raw material, which is based on wheat bran.

The biodegradable plates were manufactured by programming the prototype at a temperature in the matrices of 140 degrees Celsius, a pressure of 7 bars and within one minute a biodegradable plate of approximately 70 grams was obtained. Once the biodegradable plate was achieved, some tests were carried out to get an idea of its mechanical properties, especially its resistance to bending.

Key words: Environment, polluting plastics, biodegradable, disposable, wheat bran, mechanical properties, bending.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1 Tema del proyecto técnico

Diseño y construcción de una máquina para producir platos con material biodegradable para el laboratorio de materiales de la FICM-UTA.

1.1.2 Antecedentes

Zhang y Sablani exponen en su artículo que debido al alto uso y contaminación que el plástico genera cada vez es mayor la necesidad de desarrollar envases sostenibles y biodegradables. Para esto se busca como materia prima materiales de origen vegetal o incluso desechos y subproductos de alimentos de origen vegetal (PWB) logrando así aprovechar los residuos. Gracias a la incorporación de las fibras vegetales los envases logran mejorar su rendimiento. Por la poca información que circula sobre el PWB entre investigadores, fabricantes y consumidores actualmente en las empresas no se comercializa el material mencionado. Cabe recalcar que con el estudio realizado al PWB se determina que el material cumple con las propiedades requeridas e incluso mejora las características físicas de los envases [1].

Según [2] se evalúa un film biodegradable que tiene procedencia de extracto de harina de semilla de uva que se emplea para envasar pasas, recipientes tipo bolsas. El estudio duró aproximadamente 182 días a 20 °C donde se analizaron las características fisicoquímicas como humedad, sólidos solubles totales, acidez total, pH, además del contenido fenólico total y actividad antioxidante. Este material biodegradable se comparó con un film normal de polietileno y los resultados fueron que el material biodegradable aumentó la humedad y el pH de las pasas, disminuyó los sólidos solubles totales y la acidez total de las pasas. Por tanto, se determina este material de

origen vegetal puede actuar en la conservación de la pasa por el contenido fenólico total estimado y a las actividades antioxidantes. Adicionalmente se da a entender que el film biodegradable a base de harina de semillas de uva es un material potencial para envasado activo y puede utilizarse para envasar pasas y sustituir a los materiales comunes.

Según [3] se indica que la contaminación plástica es una preocupación ambiental a nivel mundial, por lo que se han implementado diversos enfoques que buscan reducir y controlar las emisiones de desechos plásticos; especialmente el de las pajillas de plástico de un solo uso en ambientes marinos. Por lo tanto, algunas regiones se han impuesto como objetivo la prohibición de uso de productos plásticos de un solo uso, y reemplazarlos por productos a base de materiales biodegradables. Como consecuencia al implementar este tipo de materiales se puede impulsar de forma positiva una oportunidad de cambio ambiental global.

Según Aguiar et al. mencionan en su trabajo el optar por encontrar nuevas fuentes de recursos renovables, para ser aplicadas en la elaboración de utensilios biodegradables, siendo una elección eficiente. Estos nuevos recursos permiten disminuir el uso del plástico en utensilios convencionales, ya que las características del plástico presentan un lapso muy largo de tiempo para que se degrade completamente. La investigación se realizó en los laboratorios de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, donde la materia prima principal fue el tallo de banano al que se realizó un blanqueamiento y purificación con los compuestos químicos hidróxido de sodio (NaOH), hipoclorito de sodio (NaClO) y agua, el cual permitió el endurecimiento de las fibras. Las fibras resultantes lograron tener características similares a las del plástico, pero diferenciándolos por su facilidad de descomposición. El procesamiento de materias primas para utensilios no contamina el medio ambiente y se convierte en un residuo biodegradable después de su uso [4].

1.1.3 Justificación

Con cada año que pasa se evidencia un aumento en el uso del plástico, en el año 1950 se tienen registros de tan solo 2 millones de toneladas de plástico mientras que en el año 2019 se registra 368 millones de toneladas, que para un futuro se estima que esta cifra aumente a 600 millones de toneladas para el año 2025. Este dato se vuelve controversial cuando se menciona que prácticamente para el año 2025 las toneladas de plástico pesan aproximadamente lo mismo que el doble de la población actual del mundo [5]. De todo este plástico, las industrias del mundo tan solo reciclan un 10% de los productos mientras que el sobrante se desecha a ciertos lugares, siendo el mar el contenedor más grande de este tipo de material alojado en forma de basura y micropartículas afectando directamente a la fauna marina e indirectamente a todo ser humano existente en el planeta [6]. Según estudios de la ONU existen partículas de micro plásticos que se han encontrado en la sal de mesa; así como también en un 83% del total de agua potable y en un 90% del agua embotellada [7].

El plástico es el material más contaminante y dañino que puede existir para el medio ambiente, pero no solo afecta a este medio, sino también a la salud humana puesto que existen pequeños estudios que han demostrado que consumir alimentos especialmente a temperaturas calientes afectan a la salud [8]. Este tema fue motivo de controversia ya que varias opiniones expresan que no es una prueba contundente, no obstante, un reciente trabajo investigativo elaborado por expertos de la Universidad Médica de Kaohsiung [9] exponen que al estar en contacto directo y por prolongado tiempo con la melanina (resina de la industria plástica), es posible que se vea alterada la composición química de los riñones lo que trae como consecuencia la formación de cálculos renales.

En el año 2019, como muestra de compromiso relacionado con la lucha ambiental, Ecuador, participe de la “Alianza del pacífico” se propone erradicar el plástico de un solo uso [10]. Esto debido a que desde el año 2018 hasta 2021 Ecuador importó 47 596 toneladas de residuos plásticos por un costo de 19 millones de dólares provenientes de Estados Unidos; estos datos y argumentos son suficientes para considerar a Ecuador

como el tercer país de la región que importa más desechos plásticos [11]. Como es de conocimiento general, en actividades comunes, especialmente las que tienen conexión con el ámbito alimenticio, se consume una gran cantidad de plásticos polímeros que vienen en productos como cubiertos, vasos, sorbetes y especialmente platos desechables. Según la INEC en un estudio de 2018, el 47,47% de los hogares del Ecuador tienen el hábito de clasificar la basura donde el 31,98 % pertenece a residuos plásticos [12]. También se cita datos del consumo a nivel de ciudades como es el caso de Santo Domingo que produce anualmente 1 855,62 kilogramos de basura plástica con un tiempo de degradación de 150 a 1000 años [13], también hay información de Ambato donde diariamente se genera 300 toneladas de basura plástica donde solo el 3% es capaz de reciclarse [14]. Adicionalmente el Ministerio del Ambiente ecuatoriano informó una resolución para controlar el uso del plástico que atribuye sanciones a empresas que hagan uso de sorbetes o recipientes contaminantes.

Cabe mencionar que a raíz de la pandemia debido al COVID-19 el empleo de plásticos de un solo uso tuvo un nuevo impulso y la demanda aumentó, esto se evidencia en datos del país de China ya que, al ser origen del nuevo virus, es el primer país que más residuos de plástico de un solo uso genera, dando un total de 25 357 toneladas [15], lo que indica que en el mundo el uso de estos plásticos se triplicó debido al consumo domiciliario [16]. Un posible cambio de dirección que se muestra según la presente problemática podría ser que la industria en un futuro genere productos elaborados con materia prima que sea biodegradable tanto en utensilios como en recipientes (platos).

Actualmente ya se está trabajando con utensilios desechables producidos con fibras vegetales tales como fibras de caña, plátano, salvado de trigo, hoja de palma, entre otras [17]. Alrededor de esta iniciativa han surgido más investigaciones ya que se trata de materiales 100% naturales, argumentando además que, según el tipo de material elaborado, el plato puede resistir alimentos fríos, calientes, húmedos o secos.

Según un estudio de Polonia de la empresa Statista el 52% de la población utiliza recipientes, vasos o cubiertos por lo menos una vez cada dos meses [18]. Adicional a esto en el 2021, el país de Estados Unidos presenta a la industria de la vajilla

desechable en el segundo lugar con un 83% de mercado entre los productos no comestibles de empresas privadas [19]. En Ecuador, según Aseplas (Asociación Ecuatoriana de Plásticos) la industria de los platos desechables está conformada por 600 empresas que generan 19 000 empleos directos y 120 000 empleos indirectos, lo que representa el 1,2% del PIB del país o en otras palabras genera 1 200 millones de dólares [20]. Además, según datos de empresas destinadas a la elaboración de productos domésticos como platos, vasos o bandejas y otros productos relacionados con el moldeo, indican que las ventas netas en el año 2016 fueron de \$15 184 931,52 dólares mientras que en 2017 bajó a \$14 569 904,93 dólares teniendo una caída del 4.05%, sin embargo, no hay que engañarse por este dato debido a que desde el 2010 el crecimiento promedio de esta industria ha sido de 2.08% [21], siendo un índice positivo para futuros proyecto con relación al tema.

De acuerdo a un trabajo de investigación de la ciudad de Quito, se recopiló información de 6 593 establecimientos que trabajan con platos desechables (información obtenida de la empresa DIPOR S.A), donde se realizaron encuestas y los resultados fueron: el 68% comercializa con platos desechables, el 87% adquiere paquetes en presentación de 25 unidades con una demanda de 101 000 a 200 000 paquetes, de estas unidades el 80% las adquiere con un tamaño de 7 pulgadas, finalmente de todos los locales el 81% está dispuesto a cambiar el material de la vajilla desechable por lo biodegradable [21].

El actual trabajo de investigación propone diseñar y construir una máquina capaz de elaborar platos biodegradables seleccionando materia prima que cumplirá con los requerimientos necesarios para la producción y que además se encuentre disponible en el país. Según estudios de mercado, en la empresa Amazon, en la sección de platos, tazones y cubiertos, el producto más vendido hasta el mes de mayo del año 2022 es el paquete de platos desechables naturales con un tamaño de 7 pulgadas [22], para corroborar este dato dimensional también se indaga una reciente publicación en la cual se evalúa los mejores platos desechables del 2022 dando como primer lugar a un plato cuyo tamaño es de 7 pulgadas [23]. Adicionalmente hay que mencionar que para el presente trabajo de investigación aplica un método para diseñar y fabricar maquinaria

y equipos promoviendo la optimización de los aspectos técnicos, materiales, económicos a la vez incorporando nuevas tecnologías y aprendizajes en los sectores industriales de la región y el país.

1.1.4 Fundamentación Teórica

1.1.4.1 Material biodegradable

Los materiales biodegradables son aquellos productos que tienen la capacidad de descomponerse de una forma natural en un corto lapso de tiempo. Muchos prefieren utilizar este tipo material porque se disuelven espontáneamente en un periodo de tiempo relativamente corto y, por tanto, no contaminan el medio ambiente. Aunque todos los organismos se descomponen, en ciertos tipos de materiales este proceso dura semanas o incluso siglos [24]. Por eso es importante utilizar materiales biodegradables con un ciclo de vida corto, ya que no contaminan el medio ambiente y reducen el impacto que crean estos residuos [25].

Tipos de material biodegradable

Según [26], los tipos de materiales biodegradables más frecuentes y conocidos se clasifican en: plásticos a base de almidón y centeno, plásticos sintéticos y naturales biodegradables, papel y telas naturales.



Figura 1. Platos fabricados con material biodegradable [26].

Los materiales a base del almidón y centeno en la actualidad son producidos a escala industrial, por ejemplo, para la fabricación de bolsas de basura. Estos plásticos pueden

tardar entre un rango de 6 a 24 meses en degradarse en el suelo o en el agua, según el ritmo de adición del almidón [14]. Asimismo, los plásticos totalmente biodegradables fabricados con fibras de centeno pueden remplazar a los plásticos derivados de base de petróleo, ya que sus propiedades técnicas son muy equivalentes a las de los polímeros tradicionales, los productos a base de almidón o centeno son utilizados para la fabricación de platos en la producción de alimentos.

Por su parte, en el grupo de los plásticos sintéticos y naturales, algunos polímeros sintéticos se degradan naturalmente o mediante la aplicación de sustancias que aceleran su degradación [13]. Estos plásticos incluyen los plásticos biodegradables oxidados. Los plásticos oxidativos son plásticos sintéticos a los que se han añadido aditivos químicos para promover la oxidación, iniciando o acelerando así el proceso de oxidación y produciendo un producto biodegradable. Los polímeros naturales biodegradables, también se los conoce como biopolímeros, se producen por medio de recursos naturales renovables [14]. Algunos de estos productos son polisacáridos producidos a partir de plantas (almidón de maíz, yuca, etc.).

En la vida cotidiana se utiliza el papel de una manera u otra y por lo tanto también puede ser considerado como material biodegradable. Pueden ser pañuelos de papel, servilletas, blocs de notas, periódicos, platos y vasos de papel o incluso artículos útiles. Como en el mundo se encuentra rodeada de papel, el mejor beneficio sería poder reutilizarlos [14]. Los tejidos naturales distintos de la seda son más baratos, más cómodos y transpirables. Lo contrario de los tejidos sintéticos, los tejidos naturales son biodegradables y no requieren de ningún tipo de tratamiento sintético. Su mayor ventaja es que son fácilmente biodegradables y no producen subproductos tóxicos.

Importancia de los materiales biodegradables

Los productos biodegradables son una opción para ayudar a reducir la contaminación de los ecosistemas, ya que el uso de envases de plástico fabricados con productos procedentes del petróleo puede causar problemas de salud si se consume alimentos y bebidas en dichos envases. Los productos no biodegradables, como los plásticos, los

textiles y los materiales sintéticos, desaparecen al cabo de unos cientos de años, emitiendo sustancias tóxicas y contaminando arduamente el medio ambiente. Por esta razón se recomiendan utilizar productos biodegradables que puedan ser destruidos por los microorganismos, además garantizan la seguridad y el bienestar del planeta porque no liberan residuos tóxicos o químicos al descomponerse, lo que contribuye a evitar el efecto invernadero, o pueden reciclarse y reutilizarse [27].

Ventajas y desventajas de los productos biodegradables

Según [28], los materiales biodegradables ofrecen importantes ventajas para reducir el impacto de la contaminación humana. He aquí algunas de las principales ventajas.

Ventajas

- Son materiales que se consumen con mayor velocidad, al ser un material biodegradable son consumidos de forma continua por microorganismos de la naturaleza, lo que ayuda a no tener una excesiva contaminación en los ríos y los suelos.
- Al no liberar gases y productos químicos reducen el exceso de emisiones de dióxido de carbono a la atmosfera.
- Los productos al ser elaborados con material biodegradable requieren de menor consumo de energía, ya que no se utiliza combustibles fósiles para su elaboración.

Desventajas

- Los envases biodegradables, por lo general no termina en el lugar correcto de los sistemas de compostaje, que se pueda realizar la correcta degradación del mismo.
- Como los productos biodegradables, al ser elaborados con materia prima agrícola, puede existir la incertidumbre, de la cantidad de la materia prima que se puede dar en cierto tiempo, esto se da, porque la producción del material se

obtiene en ciertas temporadas del año, lo que puede afectar la productividad de los productos.

1.1.4.2 Plato biodegradable

Los platos biodegradables, por su parte, son elaborados con distintas materias primas, las más utilizadas actualmente son: hojas naturales o impermeables y de biomasa vegetal.

Según [29], los platos elaborados a partir de hojas naturales necesitan un rango de 28 días para descomponerse, además que no se necesita de forestar árboles para su producción, esto se da ya que estas hojas son recolectadas de una vida silvestre que crecen en los continentes de Asia y Sudamérica. La utilización de hojas como platos se da por las comunidades indígenas, que por siglos utilizaban hojas como vajillas.

La empresa alemana Leaf Republic, se compromete a crear platos que puedan utilizarse fuera de casa y que no contaminen el medio ambiente ni produzcan más residuos después de una comida. Los diseños de los platos se crean con software CAD, el plato es biodegradable y se descompone tan fácilmente como cualquier tipo de hoja que cae de un árbol [17]. Su estructura es sencilla, cuenta con dos capas de hojas que son cosidas con fibras de palma y separadas por una capa de papel impermeable. Tras su uso, se pueden dejar directamente en la naturaleza para que se descompongan.



Figura 2. Platos fabricados por la empresa LEAF REPUBLIC [29].

Por su parte [30], producen platos biodegradables que son utilizados para cualquier tipo de eventos, la producción de estos platos son 100 % libre de plásticos y árboles, su materia prima principal es la biomasa vegetal como la caña de azúcar, fécula de maíz, pulpa de bambú, etc. Este tipo de platos producidos mediante la utilización de biomasa, no son tóxicos y no afectan a la salud de la persona, además son desechables y 100 % degradables en un rango de tiempo de 90 a 100 días, de igual forma son muy resistentes al agua y al aceite. Estos platos son muy aptos para microondas y congelador, pueden resistir temperaturas de -20 °C a 135 °C, perfectamente adecuado para utilizarlos con comida fría y caliente.



Figura 3. Platos fabricados a base de biomasa vegetal [30].

1.1.4.3 Propiedades de distintas materias primas biodegradables

El estudio realizado por el artículo [31], se desarrolló un método para convertir el bagazo sobrante de caña de azúcar en productos alimentarios finales mediante moldeo de pulpa, que representa materiales sostenibles y producción limpia. El bagazo de la industria azucarera es intrínsecamente seguro para la elaboración de alimentos. Los envases producidos son totalmente biodegradables, renovables y respetuosos con el medio ambiente. Poseen las excelentes propiedades requeridas para los envases alimentarios, como una alta resistencia a la tracción, una excelente resistencia al aceite, una excelente hidrofobicidad y un bajo contenido en metales pesados.

Los plásticos biodegradables son plásticos que, en determinadas condiciones, pueden ser descompuestos por microorganismos en dióxido de carbono, agua y biomasa [32].

Los plásticos biodegradables son una opción de gestión de residuos de bajo coste para aplicaciones específicas de un solo uso y/o de corta duración, como las bolsas de residuos orgánicos, las láminas de mantillo o los contenedores para plantas, los envases de alimentos y los contenedores desechables (para espacios reducidos, como los eventos) utilizados en la agricultura y la horticultura. Un ejemplo de plástico biodegradable es el PLA.

Por su parte, el PLA (almidón de maíz) es un plástico orgánico cristalino. Es una excelente alternativa al PET o al poliestireno. Puede utilizarse para refrigerar líquidos, alimentos fríos o cocinados a temperatura ambiente [33]. A pesar del creciente uso del PLA, existen algunas limitaciones que sólo pueden superarse con aditivos; el PLA es susceptible al calor y a la hidrólisis durante el procesamiento, lo que provoca su degradación. Las propiedades de barrera al gas y al agua del PLA no son adecuadas para muchas aplicaciones de envasado en las que no se utilizan revestimientos de barrera u otros aditivos [34].

Además de los envases, el TPS, es un material a base de almidón que se utiliza para fabricar bolsas, envases, bandejas de exposición y tapas. Este tipo de material biodegradable tienen una aceptable resistencia a la fusión en el proceso, pero pueden ser frágiles, especialmente en ambientes secos [35].

1.1.4.4 Parámetros de la materia prima en el proceso de termoformado

El estudio realizado por [36], indica que para realizar el proceso envases biodegradables con residuos vegetales se debe tomar en cuenta parámetros importantes, como: temperatura, tiempo de operación y humedad. Este estudio nos indica que la temperatura que debe tener el punzón debe estar en el rango de 110 a 115 °C, temperatura de la matriz de 35 a 40 °C, con un tiempo de operación de 60 a 90 segundos. Es importante recalcar que este estudio se trabajó con la materia prima de hoja de areca, la humedad que debe tener el mismo es de 14 a 17% para que el producto final sea el óptimo.

Según [37], utilizo como materia prima la hoja del plátano para el proceso de elaboración de platos biodegradables, y nos indica los siguientes parámetros: temperatura de prensado debe estar en 90°C, con una presión de 80 Psi, con un tiempo de prensado de 20 segundos. Garantizando un resultado óptimo del producto, además los platos biodegradables a base de hoja de plátano pueden ser utilizado para frutas, postres, alimentos sólidos y líquidos. Este tipo de platos no poseen una gran resistencia, por lo que se recomienda no usar alimentos con temperaturas altas.

Por su parte [37], utilizo como materia prima un material compuesto a base de salvado de trigo, harina, almidón de yuca y agua. Para el proceso de elaboración de platos biodegradables, y nos indica los siguientes parámetros: temperatura de prensado debe estar en 100 °C, con una presión de 80 Psi, con un tiempo de prensado de 40 segundos.

Con lo mencionado se garantiza un resultado óptimo del producto, además los platos biodegradables a base de material compuesto pueden ser utilizado para frutas, bocaditos, alimentos sólidos y líquidos. Este tipo de platos no pueden ser reutilizables y no se recomienda ser utilizados para líquidos.

El estudio realizado por el artículo [38], Para realizar la mezcla de almidón y fibras se debe seguir el siguiente procedimiento: el almidón, las fibras y el glicerol se deben mezclar en un recipiente, después para realizar la deshidratación se lo realiza en un horno a una temperatura de 170 °C, hasta que tenga una forma acuosa. Para realizar el producto biodegradable se debe tomar en cuenta parámetros importantes, como: temperatura, tiempo de operación y humedad. Este estudio nos indica que la temperatura de prensado debe estar en el rango de 100 a 130 °C, con un tiempo de operación de 23 segundos.

1.1.4.5 Tipos de prensas

Para la selección de los tipos de prensas que se tomarán en cuenta para realizar este proyecto se ha tomado como parámetro principal la generalidad, haciendo énfasis en

prensas que son las más empleadas en la industria [39] y las más conocidas en el campo de la fabricación de platos con materia biodegradable:

Prensa mecánica: Comúnmente la manera de trabajar de este tipo de prensa empieza con un acumulamiento de fuerza que se irá liberando o empleando conforme la aplicación que se requiera, cabe recalcar que el ángulo que se dé cuando se aplíquela fuerza es una variable que importa mucho en este proceso. Es muy común observar este tipo de prensas en aplicaciones que tienen que ver en el área del troquelado y perforado. Se tiene como dato adicional que su accionamiento puede ser de forma manual o automática [39].



Figura 4. Prensa mecánica [39].

Prensa hidráulica: En este tipo de prensa el fluido que predomina para su funcionamiento es el agua o aceite que gracias a la presión que ejerce llega a expandir o contraer el pistón. Para lograr que el fluido llegue al cilindro con una alta presión se hace uso de una bomba. Estas prensas son utilizadas frecuentemente para actividades de estirado, extrusión, perforaciones o troquelado siempre y cuando se trabaje con metales mayores a 3 mm de espesor, esto debido a que su capacidad de fuerza llega alrededor de 15 000 toneladas como límite [40].



Figura 5. Prensa hidráulica [39].

Prensa neumática: A diferencia de las hidráulicas, en esta prensa se emplea como fluido principal el aire, de igual manera aplicando presión, el aire se transporta a través de mangueras dándole el movimiento al pistón. Las aplicaciones más conocidas de este tipo de prensas es el troquelado o el perforado de materiales de papel, plástico, cartón, chapa, láminas, entre otros [41].

Debido a las características que se encuentran en el párrafo anterior, se puede intuir que la prensa neumática es la ideal para trabajar con materiales biodegradables relacionándose así con el tema del proyecto.



Figura 6. Prensa neumática [39].

Prensa eléctrica: Cuando se trabaja con este tipo de prensas se emplean accionamientos eléctricos evitando trabajar con los fluidos que son la fuente energética de la prensa neumática o hidráulica. Las aplicaciones que la prensa eléctrica oferta tiene que ver con procesos que requieren monitorización constante lo cual se traduce en alta precisión y una exigencia de repetibilidad; al observar continuamente los resultados se puede obtener gráficas y curvas de prensado garantizando datos confiables para un mejor funcionamiento [42].



Figura 7. Prensa eléctrica [42].

Adicionalmente para tener una mejor visión y poder elegir adecuadamente qué prensa se emplea en el actual proyecto, en la tabla 1 se evidencia las ventajas de los tres principales tipos de prensas como lo son la neumática, la hidráulica y la eléctrica:

Tabla 1. Ventajas de los distintos tipos de prensas [37].

Tipo de Prensa	Ventajas
Hidráulica	Tiene una mayor capacidad de fuerza en comparación con las otras prensas.
	La fuerza que aplica es constante y total durante toda la carrera del cilindro.
	Sus repuestos y accesorios tienen una mayor vida útil.

Tipo de Prensa	Ventajas
	<p>Se puede decir que a comparación de su gran potencia su precio es relativamente bajo, mas no es la más económica de todas.</p> <p>Su diseño es sencillo por lo que no contiene muchos componentes (bajo costo de mantenimiento)</p> <p>Al tener una gran capacidad y potencia de trabajo la seguridad de la máquina también aumenta.</p>
Neumática	<p>Al no emplear ningún tipo de motor, el costo de esta prensa es más accesible.</p> <p>En comparación con las otras prensas, esta es la que mejor equilibrio tiene entre calidad precio, con un bajo precio económico pero mayor duración.</p> <p>No contiene muchas partes móviles por lo cual su mantenimiento es menor, así como también se adquieren menos repuestos.</p> <p>Son máquinas relativamente ligeras haciendo que su funcionalidad sea sencilla.</p> <p>Al utilizar como fuente energética el aire, se garantiza un ahorro económico.</p> <p>Requieren menores espacios la instalación y de trabajo.</p>
Eléctrica	<p>Requieren únicamente motores eléctricos más no otro tipo de fluido como fuente energética.</p> <p>Por lo general son máquinas silenciosas.</p> <p>No consumen mucha energía, se puede decir que emplean el 15% de energía en comparación con otras prensas.</p> <p>Al ser prensas mucho más complejas, sus funciones están destinadas a la producción a gran escala.</p>

1.1.4.6 Sistema neumático para prensado de platos biodegradables

Al tratar del proceso de prensado, en la industria de los platos desechables es común observar prensas hidráulicas y neumáticas, sin embargo, al tratar con materiales biodegradables actualmente la mayoría de las empresas que se dedican a trabajar con este tipo de material, emplean sistemas neumáticos [43].

En el artículo de Parikh et al. [44] exponen que es mejor trabajar con el método neumático en la formación de platos biodegradables debido a que es más económico en comparación con el método hidráulico. Además, los fluidos altamente costosos se utilizan en el método hidráulico para la compresión. Por lo tanto, se selecciona el método neumático de compresión de aire para hacer el plato biodegradable. Para la fabricación de platos biodegradables, se necesita numerosos dispositivos como cilindros de doble efecto, punzones y matrices de la forma requerida, válvulas de control de dirección, conectores y mangueras de control de flujo, bobinas de calentamiento, entre otros materiales.

Así mismo, el artículo de Goyal et al. [45] realiza un estudio de varias máquinas de punzonado neumáticas llegando a la conclusión que son adecuadas para ser empleadas en las pequeñas y medianas industrias.

Como dato adicional cabe recalcar que en la empresa PRM de Taiwán, la cual se basa en la venta de distintas maquinarias relacionadas al prensado, existe un apartado donde se encuentran máquinas para fabricar bolsas de plástico biodegradable, si bien no tiene que ver con platos, es un dato que aporta a conocer qué tipo de maquinaria se emplea en este tipo de industria de productos biodegradables. Al entrar a dicho apartado se observa una gran variedad de máquinas donde la mayoría emplea el método neumático para este tipo de mercado [43].

1.1.4.7 Accionamiento neumático

El accionamiento neumático o sistema neumático, para ponerlo en contexto se lo puede comparar con el hidráulico, con la crucial diferencia que el hidráulico emplea un fluido en estado líquido mientras que el neumático lo hace con un fluido en estado gaseoso que muy comúnmente es el aire. El proceso comienza cuando un artefacto denominado “compresor” recoge el aire del ambiente para posteriormente transportarlo a través de los diferentes conductos. Adicionalmente también cuentan con un tanque para depositar el aire “comprimido” y en el proceso se eliminan impurezas mediante filtros. Este proceso se lo puede denominar la base del accionamiento neumático, donde se genera, se prepara y reparte el aire [46].

Como siguiente proceso se tiene la regulación del aire, que se encarga de controlar y confirmar el correcto suministro de aire, manipulando así la velocidad del equipo y almacenando el aire comprimido para emplearse continuamente. Este control de regulación se realiza mediante válvulas que dan seguimiento al circuito y así lo controlan [47].

1.1.4.8 Termoformado en la industria

Termoformado tridimensional mecánico con molde hembra y macho

Por lo general este proceso se lo emplea cuando se requiere moldear piezas o productos con un diseño o forma compleja. Para esto se requiere calentar las dos matrices del molde para colocar el material entre ellas (entre sus contornos semejantes). En el momento en que las dos matrices se empiezan a acercar, los contornos de las matrices aprietan y obligan al material interno a tomar la forma del espacio que queda entre los contornos como se observa en la figura 8. Para trabajos que requieran una gran producción, se emplean equipos complejos para lograr cerrar los moldes, en este caso se emplea un sistema neumático. La temperatura es una variable importante en este proceso debido a que si se la puede controlar el resultado llega a ser que emplea menor tiempo para el enfriamiento; otra variable de importancia llega a ser la fuerza de

presión dado que manejando correctamente estas dos variables se llega a tener un muy buen resultado o producto [48].

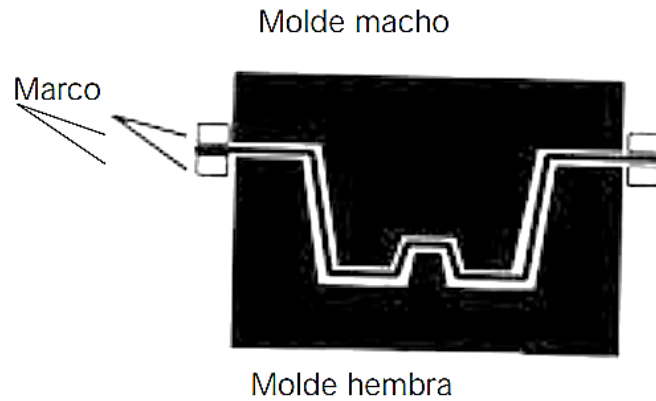


Figura 8. Termoformado mecánico con molde hembra y macho [48].

Termoformado tridimensional a presión con ayuda de pistón molde hembra

Gracias a esta técnica se logra disminuir el adelgazamiento que se da en el fondo de la pieza que se va a formar. Para esto, es muy importante la variable de la velocidad con la que el pistón trabaja y también la presión para modelar con el material que se trabaja, si no se llega a tener control en estos parámetros, el material al tener su primer contacto con el pistón puede llegar a deformarse y dañarse [48]. Para una mejor comprensión de este proceso se puede observar la figura 9.



Figura 9. Termoformado a presión con ayuda de pistón molde hembra [48].

En el proyecto [49], se observa cómo se trabaja con el proceso de termoformado con molde macho – hembra como se ilustra en la figura 10, en dicho proyecto se fabrica platos con material biodegradable, específicamente con salvado de centeno, llegando a la conclusión de que el proceso del termoformado a presión y la materia prima biodegradable son eficaces para empezar a reemplazar la vajilla de plástico.

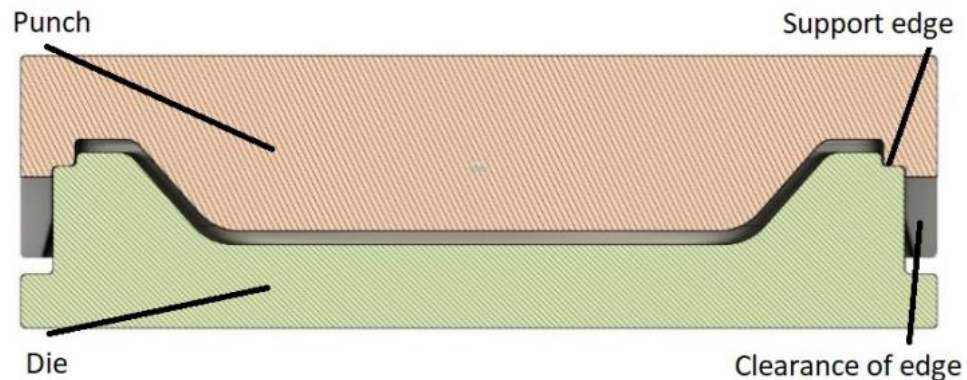


Figura 10. Sección transversal del modelo para moldear [49].

Adicionalmente en el artículo donde se elaboran placas biodegradables hechas de pulpa de hoja de piña con biocapa para mejorar la resistencia al agua [50], se empleó un prensado en caliente por medio de una máquina de moldeo por compresión operada a 200 °C con una presión de 200 kg/cm² por un lapso de 10 minutos.

1.1.4.9 Principales variables de un termoformado

Temperatura

Es importante tener en cuenta dos aspectos fundamentales como que la temperatura no debe superar el límite recomendado por diversos estudios para que no influya en sus propiedades mecánicas (especialmente la elasticidad) y a su vez no llegue a degradarse. Además, es necesario conocer que en estos procesos de termoformado por lo general se da el fenómeno de calentamiento por radiación [48].

El trabajo de investigación [51] se asemeja con el tema propuesto, ya que realiza una prensa y trabaja con la vaina de la hoja de la palma de areca para formar placas, y

según el autor, se obtiene los siguientes parámetros óptimos para obtener un producto de buena calidad, los cuales son:

- La temperatura del punzón debe estar entre 110-115°C; y la temperatura de la matriz esta entre 35-45°C
- El contenido de humedad de la vaina cruda de 14-17%
- El tiempo de producción entre 40-60 segundos.
- El coste de la nueva máquina es un 50% menor que el de la máquina existente.
- Una sola máquina puede utilizarse para fabricar diversos productos intercambiando el juego de troqueles.

Distribución uniforme de la temperatura

Comúnmente al elevar la temperatura de cierto material, la propiedad denominada fuerza de tensión llega a disminuir por lo que, al hablar de un material biodegradable, este incrementa su maleabilidad. Por lo general en el termoformado se emplean formas sin tanta complejidad o con mayor profundidad, esto debido a que se obtiene mejor calidad en los resultados para lo cual también se necesita que la temperatura se encuentre alrededor del valor inferior de la temperatura de revenido [48].

El artículo científico que trata de la preparación de placas biodegradables a partir de recursos naturales [52], se trabaja con las siguientes variables para iniciar el proceso de moldeo: 200 °C durante 15 a 30 minutos sobre el material biodegradable (hoja de plátano).

Transferencia de calor

La transferencia de calor sucede cuando dos cuerpos o técnicamente cuando dos sistemas llegan a tener contacto y cada uno cuenta con una temperatura diferente y se origina un gradiente de temperatura, lo que llega a iniciar un transporte de energía transfiriendo así el calor. Analíticamente el calor es una propiedad que no se puede medir, pero si se puede cuantificar los efectos que el mismo produce. Existen varios

métodos en los que se puede transferir el calor como se observa en la figura 11, donde se encuentra la conducción, la convección y la radiación [53].

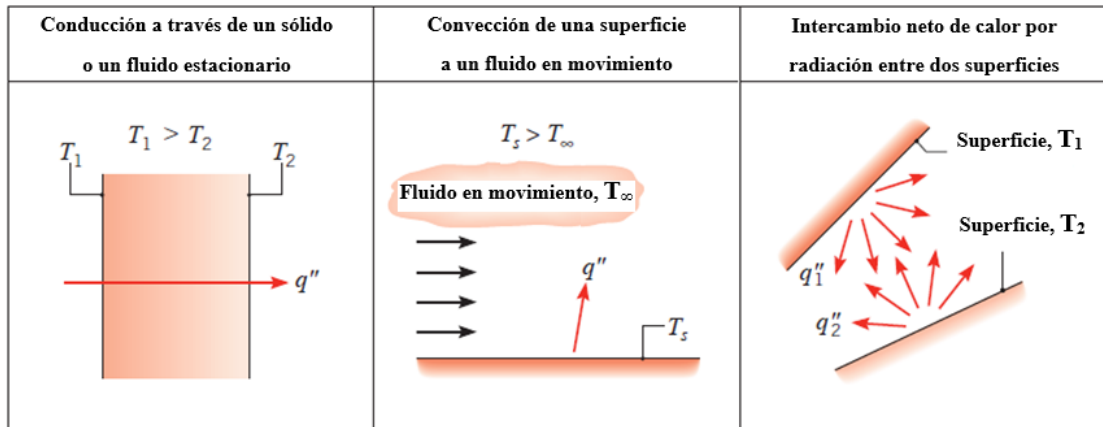


Figura 11. Modos de transferencia de calor [53].

Otro artículo científico donde hace énfasis en las variables relacionadas con la temperatura es el de Maheswari et al. [54] donde se trabaja con ceniza de cascarilla de arroz, bagazo y almidón de maíz, donde trabaja con parámetros operativos como la temperatura en la matriz, la presión durante el proceso de mezcla y el tiempo. Los factores de entrada como la temperatura varían (80–100 °C), la presión (1–3 bares), el tiempo (4–6 minutos), donde finalmente tras distintas pruebas se obtiene una resistencia máxima a la compresión de 31 kgf con los parámetros de proceso óptimos, como temperatura de 90 °C, presión de 2 bar, tiempo de mantenimiento de 6 minutos.

1.1.4.10 Resistencias de calentamiento

Por medio de estos dispositivos se obtiene calor a partir de energía eléctrica. Estos componentes generalmente contienen una base de níquel. La cantidad de calor que se suministre va a depender específicamente de la duración en la que permanece conectado [55].

Resistencia tipo placa

Se emplea cuando se requiere direccionar el calor directamente a placas de metal lo que hace que se convierta en un componente primordial para el termoformado. Estas

resistencias contienen un pequeño espesor que puede ser flexible o rígido como se observa en la figura 12, por lo cual su utilidad se da en productos con un bajo volumen. Este dispositivo usualmente trabaja con transferencia de calor por conducción [56].

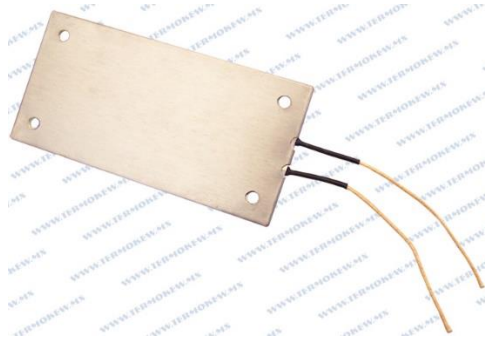


Figura 12. Resistencia tipo placa [56].

Resistencia tipo cartucho

Para emplear estos dispositivos se deben colocar como un sistema similar al de los hornos, y al tener relación, este sistema es óptimo para un proceso de termo formación [57].



Figura 13. Resistencia tipo cartucho [57].

1.1.4.11 Caja de control eléctrico

La caja de control eléctrico cuenta con un grado de protección conocida como IP que es especificado de la norma ISO 20653 [58], que proporciona información del tipo de nivel de protección que necesita el sistema eléctrico al estar en contacto con la humedad y agentes externos. La mayoría de los equipos eléctricos como, pulsadores,

indicadores eléctricos, contactores, etc., están frecuentemente en contacto con agentes ambientales durante varios años. Como la máquina va a encontrarse en una zona interior que por lo general son edificios y fábricas y al estar expuesto a objetos extraños o polvo, se escoge una caja de control metálica IP 65. Este tipo de grado protege los equipos eléctricos contra chorros de agua y entrada de polvo que puede darse desde cualquier ángulo [59].

1.1.4.12 Normativa y aspectos que considerar en la fabricación de platos biodegradables

El actual proyecto se basa en normativas y decretos tanto nacionales como internacionales, ya que se toma en cuenta normas europeas como la norma BS EN 1672-2: 2005 +A1: 2009 [60], también la norma UNE-EN 1672-2: 2020 [61]. En el Ecuador existe una norma similar a estas dos, debido a que son las mismas normas solo que adaptadas a un distinto país y con diferente idioma, esta es la norma NTE INEN-EN 1672-2 [62]. Estas tres normas hacen referencia a normativas para construir máquinas que se encargan de procesar alimentos. El presente proyecto no se enfoca en la fabricación de alimentos, sin embargo, su función es fabricar recipientes que estarán en contacto con los diversos alimentos por tanto usarlas como referencia es válido. Otra norma relacionada con el tema de requisitos para la maquinaria de procesamiento de alimentos es la RTE INEN 131 [63].

Existen otras normas que contienen aspectos más relacionados al tema propuesto, estas normas o reglamentos abarcan en el campo de materiales que se emplean para estar en contacto con diversos alimentos en las que se tiene la RTE INEN 100 [64]. Internacionalmente existe una norma más específica que es la EN 13432 [65] que trata de requisitos o características que deben poseer los materiales para ser denominados como compostables o biodegradables.

Finalmente existe otras normas apartadas del tema pero que pueden ser de gran ayuda en la formulación del proyecto como lo es la NTE INEN 2 011:1995 [63] que trata sobre la normativa para elaborar vasos desechables de cartón o papel (similar a platos

biodegradables). Y también existe un reglamento que se encarga de asegurarse que se aplique la ley orgánica con el fin de reducir o utilizar todo el plástico de un solo uso que sea posible [66].

A continuación, se detalla de manera breve las normas con más relación o que tienen más interés con el tema del proyecto:

NTE INEN-EN 1672-2

Esta norma es una versión adaptada al país Ecuador y traducida al idioma español de la norma BS EN 1672-2: 2005 +A1: 2009 que prácticamente aprueba maquinaria destinada al procesado de alimentos. Se centra en su mayoría a conocer los requerimientos que debe tener una determinada máquina como la higiene, puesto que los alimentos se dirigen al consumo del ser humano. Adicionalmente describe la diferente metodología que debe cumplir estas máquinas en cuanto al diseño e intenta reducir el contagio y futuras enfermedades que se pueden producir por alimentos deteriorados por la maquinaria [62].

RTE INEN 131

Esta norma prácticamente tiene mucha similitud con la anterior puesto que tratan de la misma temática, la diferencia que se puede dar es en el campo de aplicación ya que esta norma tiene una variedad de campos especificados detalladamente como puede ser maquinaria para productos de mar, de frutas o verduras, como así también para bebidas alcohólicas, la industria láctea o helados, entre otras [63].

RTE INEN 100

Esta norma es más adecuada para el tema que se trabaja puesto que se la aplica para los materiales o productos plásticos que entrarán en contacto con alimentos, como se detalla es una norma que se adapta más a la temática del proyecto solo que habla de materiales plásticos, pero tranquilamente sirve como referencia ya que entre sus

productos se encuentran envases, vajilla o artículos de cocina. Además, existe un apartado muy específico de la norma que es el 5.1 el cual detalla que los artículos plásticos que tengan contacto con alimentos no deben ceder parte de sus materiales o componentes a los alimentos en una cantidad que supere los 10 miligramos por cada decímetro cuadrado de la superficie del material [64].

EN 13432

Esta normativa es una referencia europea que prácticamente trata sobre criterios y pruebas para evaluar si se aprueba o no un envase con la descripción confiable de ser biodegradable. Por ejemplo, entre sus requisitos se encuentra que el material debe degradarse en 6 meses como máximo y su propiedad de biodegradabilidad debe ser aproximadamente un 90% [65].

1.1.4.13 Metales para la industria alimenticia

Las máquinas y los equipos más utilizados en la industria alimentaria siempre deben garantizar un nivel de higiene muy elevado debido a que están en contacto continuo y directo con el alimento. Debido a su durabilidad, el acero inoxidable es casi siempre la opción más adecuada en estas áreas [44]. Sin embargo, el actual proyecto fabrica productos que estarán en contacto con el alimento en un futuro. Según la normativa otro metal muy empleado en la industria del envasado, recipientes o utensilios de comida es el aluminio.

Según datos de la EFSA y FAO/OMS se considera casi imposible que el aluminio sea cancerígeno. Además de que se lo emplea en la industria para fabricar productos que estarán en contacto con alimentos por sus excelentes propiedades como la resistencia a la corrosión, su baja densidad y su excelente conducción térmica y eléctrica [67].

Acero inoxidable AISI 304: es un acero inoxidable más utilizada en todo el mundo, debido a que cuenta con una gran resistencia a la corrosión, este tipo de acero cuenta con porcentaje de cromo de 16 a 24%, y un porcentaje de níquel hasta 35%, además

también cuenta con cantidades pequeñas de manganeso y carbón. Este tipo de acero es capaz de resistir a la corrosión proporcionada por los ácidos que contienen mayor oxidación, gracias a este tipo de durabilidad logra tener un fácil proceso de desinfección, por esta razón es muy utilizado en aplicaciones de la industria alimenticia, cabe recalcar que también es muy usado en decoraciones y edificios [68].

Tabla 2. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero AISI 304 [69].

Propiedades físicas	Valor original
Densidad	8,00 g/cc
Propiedades mecánicas	Valor original
Dureza, Brinell	123 HB
Dureza, Rockwell B	70 HR
Resistencia a la tracción, máxima	505 MPa
Resistencia a la tracción, rendimiento	215 MPa
Alargamiento a la rotura	70 %
Módulo de elasticidad	193 GPa
Propiedades térmicas	Valor original
Conductividad térmica	16,30 W/mK
Punto de fusión	1400 - 1455 °C

Acero inoxidable AISI 430: es metalúrgicamente muy similar al acero 316 en el sentido de que cuentan con la misma cantidad de contenido de cromo, pero un menor contenido de níquel, lo que lo hace más barato. El acero inoxidable AISI 430 también presenta una buena resistencia a los ácidos tanto orgánico como nítrico, por ende, se puede utilizarse en contacto con productos ácidos, además tiene una buena resistencia a la oxidación y a las sustancias que contienen azufre. De este modo, debido a su bajo contenido en níquel, esta aleación no suele ser muy resistente a los ácidos que contienen algunos alimentos [70].

Tabla 3. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del acero AISI 430 [71].

Propiedades físicas	Valor original
Densidad	7,80 g/cc

Propiedades mecánicas	Valor original
Dureza, Rockwell B	85 HB
Resistencia a la tracción, máxima	517MPa
Resistencia a la tracción, rendimiento	345 MPa
Alargamiento a la rotura	25 %
Módulo de elasticidad	200 GPa
Propiedades térmicas	Valor original
Conductividad térmica	26,30 W/mK
Punto de fusión	1425 - 1510 °C

Aleación de aluminio 6063: esta aleación cuenta con una resistencia media, sus elementos de aleación son: el silicio y magnesio, este tipo de aluminio por tener buena resistencia física y mecánica, resistencia a la corrosión y ser buen conductor térmico, es el más utilizado en: perfiles de ventanas, aplicaciones arquitectónicas, utensilios de cocina, pasamanos puentes [72]. En la tabla 4 se puede observar las propiedades físicas, mecánicas y térmicas de la aleación de aluminio 6063.

Tabla 4. Propiedades físicas, mecánicas y térmicas del aluminio 6063 [73].

Propiedades físicas	Valor original
Densidad	2,70 g/cc
Propiedades mecánicas	Valor original
Dureza, Brinell	60 HB
Resistencia a la tracción, máxima	186 MPa
Resistencia a la tracción, rendimiento	145 MPa
Alargamiento a la rotura	18 %
Módulo de elasticidad	68,90 GPa
Coefficiente de Poisson	0,33
Resistencia a la fatiga	55,2 MPa
Propiedades térmicas	Valor original
Conductividad térmica	209 W/mK
Punto de fusión	616 - 654 °C

1.1.4.14 Antiadherente de aceite vegetal

Es un lubricante líquido fabricado por la empresa ecuatoriana LA FARIL S.A., que contiene un alto grado de resistencia, por lo que es utilizado en la industria alimentaria. Gracias a su alto contenido de mezcla de materiales naturales tiene un gran efecto antiadherente, que permite disminuir la fricción que existe entre el material y la superficie del molde a recubrir.

Este tipo de desmoldante es perfecto para utilizarse con cualquier tipo de productos, con la ventaja de que el producto final no obtendrá algún tipo de efecto secundario como el cambio de color y sabor, por lo que es el más apropiado para este tipo de procesos. Además, se obtiene mejores resultados cuando se realiza el moldeo a temperaturas altas, cabe mencionar que este producto trabaja sin ningún problema a temperaturas de hasta 180 °C.

1.1.4.15 Parámetros de diseño

Para el diseño y fabricación del equipo para elaborar platos con material biodegradable se debe tener en cuenta los siguientes parámetros de diseño: análisis de esfuerzos, coeficiente de seguridad, tensiones máximas accesibles, diseño de la matriz y punzón, deformación plástica y flexibilidad [74].

Análisis de esfuerzos: Una carga que se encuentra en estado estático es una fuerza fija o un par aplicado a un elemento. Una fuerza o par es estática en el sentido de que su magnitud, punto de aplicación y dirección no deben cambiar [74].

Coefficiente de seguridad: es la correlación que se da entre el valor de la capacidad máxima del sistema y el valor esperado de la demanda real. Por tanto, es mayor que 1, lo que indica que el exceso de capacidad del sistema supera la demanda. El factor de seguridad es la indicación de la seguridad esperada de una determinada estructura en términos de su resistencia mecánica [75]. El factor de seguridad de una estructura mecánica suele tener los siguientes conceptos.

- Se refiere a la relación que se da entre la resistencia de un material y la tracción efectiva.
- También se conoce como la relación existente entre la fuerza final o máxima solicitada para conseguir una tarea normal; y la fuerza efectiva.

Tensiones máximas accesibles: es el cálculo de la división entre la tensión que puede soportar el material por un factor de seguridad, de modo que el material trabajará con una tensión menor (tensión admisible) aunque su resistencia sea conocida [76].

Diseño de la matriz y punzón: se lo realiza siguiendo los criterios del proceso de embutición y corte, el cual es aplicada a una hoja de lámina metálica. Este mismo procedimiento se lo realiza en este caso para una hoja de biomasa, tomando en cuenta distintos parámetros, ya que no se localizó una composición específica para el proceso de embutición de una hoja de biomasa [37].

Deformación plástica: La deformación plástica puede ser causada por la fluencia, la torsión o una combinación de fluencia y torsión. La fluencia se produce cuando un cristal se somete a una carga que supera su límite elástico. Se expande ligeramente y aparece un escalón en la superficie, lo que indica que parte del cristal se ha desplazado [77]. El aumento de la tensión provoca un movimiento en el plano paralelo, cada esfuerzo adicional requiere más tensión y aumento de presión, por lo tanto, al existir un aumento gradual de presión el material llegaría a fracturarse.

Flexibilidad: Según [78], los materiales flexibles pueden extenderse de forma reversible cuando se someten a una tensión elástica. El límite elástico de un material es la tensión máxima que el material puede soportar antes de la fractura o la deformación irreversible. Además del grosor, la elasticidad de un material también puede compararse en términos de la relación entre el límite elástico, que indica la resistencia del material y el módulo de elasticidad, que indica la rigidez del material.

1.1.4.16 Método de elementos finitos para análisis

Es uno de los métodos analíticos más importantes en ingeniería, ya que puede utilizarse para obtener una solución numérica aproximada de un cuerpo, estructura o campo. Este método se utiliza actualmente para el diseño y el análisis de todas las estructuras, excepto las más sencillas [79]. Mediante el método de los elementos finitos, se pueden obtener soluciones numéricas aproximadas combinando los resultados obtenidos al dividir la estructura en elementos discretos (nodos). Existen dos tipos de métodos de elementos finitos: elementos tipo viga (BEAM) y elementos tipo cáscara (SHELL).

Elementos tipo viga (BEAM): Desempeña un rol muy importante en todos los tipos de programas de elementos finitos. Se recomienda para el análisis de estructuras tubulares, ya que permite realizar simulaciones simplificadas [52]. En programas de simulación como Ansys se conoce como BEAM188, que es un elemento tridimensional basado en el modelo de viga de Timoshenko y que tiene en cuenta los efectos de las fuerzas de cizallamiento y de rotación.

Elementos tipo cáscara (SHELL): basados en la teoría de Reissner-Mindlin, que describe las características analíticas de las estructuras de placa, estos elementos de placa también pueden utilizarse para elementos de pared delgada; la figura 14 muestra un elemento de cáscara. Este elemento está definido por cuatro nodos, cada uno cuentan con seis grados de libertad: tres desplazamientos y tres rotaciones [80].

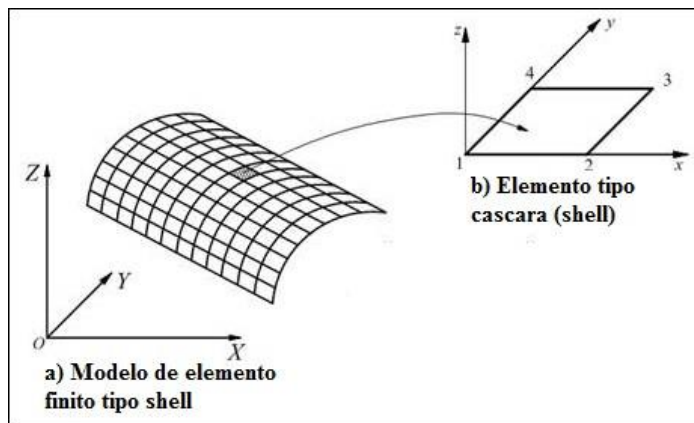


Figura 14. Elemento tipo cáscara (SHELL) [80].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar y construir una máquina para producir platos con material biodegradable para el Laboratorio de Materiales de la FICM-UTA.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar información relacionada con la producción de platos biodegradables elaborados con fibras vegetales, para determinar los parámetros de diseño que se ajusten a los requerimientos propuestos.
- Establecer los criterios de diseño para la máquina que elabora platos biodegradables.
- Diseñar la máquina para la elaboración de platos biodegradables que tenga un tamaño de 7 pulgadas, que se emplee para alimentos secos fríos y calientes; mediante el empleo de software de elementos finitos.
- Construir un prototipo para la elaboración de platos biodegradables en base al diseño propuesto.
- Realizar pruebas de funcionamiento y ajustes del prototipo.




CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En la tabla 5 se puede observar todos los materiales y equipos que se emplean para el proyecto donde constan con una pequeña descripción y con una ilustración para mayor comprensión.

Tabla 5. Equipos y materiales.

EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Sistema Neumático		
Cilindro neumático ISO 15 552 doble efecto DNC-63*250mm-S	Cilindro neumático magnético (S), de 63 mm de diámetro y 250 mm de carrera, que cumple con la función de desplazar piezas por medio de la fuerza que es ejercida mediante aire.	
Electroválvula 5/2 monoestable	Es una válvula electromecánica marca Itair monoestable de 5 vías y 2 dos posiciones con retorno por muelle, además cuenta con una bobina que a través de pulsos eléctricos permite controlar el paso del fluido por el conducto.	
Electroválvula 3/2 biestable	Es una válvula electromecánica marca Itair biestable de 3 vías y 2 dos posiciones, cuenta con dos bobinas que a través de pulsos eléctricos permite controlar el paso del fluido por el conducto.	


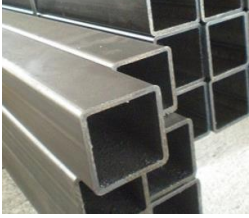

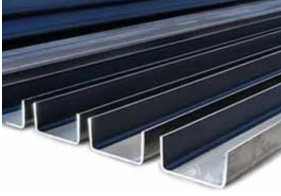



EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Unidad de mantenimiento	Unidad de mantenimiento FRL (Filtra, Regula, Lubrica), serie 2000, semiautomático, que permite tener una buena calidad de aire comprimido para garantizar un mejor funcionamiento del equipo.	
Ventosa plana de silicona	Ventosa plana de silicona (Macho), de 40 mm de diámetro, que permite manipular y succionar piezas que cuenten con superficie plana.	
Reguladores de caudal	Regulador de caudal 3/8" para tubo de 8 mm, que permite controlar la presión de aire que pasa por los conductos hasta el cilindro neumático.	
Sensor magnético	Sensor magnético DNC, 5-240 voltios de corriente (D, C, AC), que cumple la función de detectar el fin de carrera del embolo del cilindro neumático.	
Generador de vacío	Generador de vacío de 1/8" marca AIRBEST, que actúa como el principio de Venturi, que permite la succión y descarga de aire comprimido.	

EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Racores neumáticos	Conector recto de ¼" para tubo universal de 8 mm, que cumple la función de conectar elementos neumáticos.	
Silenciadores neumáticos	Silenciador universal de bronce sinterizado de 1/8", que sirve para reducir el ruido de escape cuando el aire comprimido sale.	
Manguera neumática	Manguera universal de poliuretano de 8 mm, que permite trasportar el fluido, desde el compresor hasta el cada componente neumático.	
Compresor	Compresor marca Ingco, potencia de entrada de 1.5 Kw (2HP), presión 8 bar, velocidad 3400 rpm y capacidad de tanque de 24 lt. Que permite aumentar la presión del fluido (aire).	
Sistema Eléctrico		
Contactores	Contactor de 3HP, 8 Amperes, 120 Voltios, marca EBASSE, que permite interrumpir o establecer corriente eléctrica.	






EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Pulsadores	Pulsador plástico de 22 mm de diámetro, marca CSC (CAMSCO), que permite iniciar el funcionamiento de un mecanismo.	
Paro de emergencia	Pulsador tipo hongo con retención de 22 mm de diámetro, marca CSC (CAMSCO), que permite detener el funcionamiento de un mecanismo cuando exista algún tipo de peligro.	
Temporizador	Temporizador on delay, riel Din, 12-240 voltios, marca CSC (CAMSCO), que permite regular el tiempo de funcionamiento de cualquier mecanismo.	
Breaker	Breaker un polo, riel Din, 8 Amperes, marca EBASSE, que funciona como interruptor que permite el paso de corriente eléctrica.	
Cable de conexión	Cable de conexión eléctrica calibre/ AWG 18, 1 mm de diámetro, de consumo de corriente muy bajo, que permite conectar todos los componentes electrónicos.	





EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Enchufes	Enchufe de caucho, para 110 voltios, no polarizado, que se utiliza para establecer la conexión de un componente a una red eléctrica.	
Sistema de Calentamiento		
Resistencias eléctricas	Resistencia plana de 100 x 100 x 4 mm de acero inoxidable AISI 304, 500 W, con cable térmico, que cumple la función de calentar los moldes para su funcionamiento.	
Controlador de temperatura PID	Controlador de temperatura digital de 48 x 48 mm, 110 voltios, modo de salida Relay/ SSR (Relé de estado sólido), que permite regular diferentes variables como: velocidad, temperatura, presión de cualquier proceso.	
Relé de estado sólido	Relé de estado sólido de 1 polo, 90-50 VAC, que actúa como interruptor electrónico que conmuta el paso de electricidad.	
Termocupla	Termocupla K tipo tornillo, rosa ¼", 500 °C, es un dispositivo electrónico que actúa como sensor de temperatura.	

EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Mica de fibra de vidrio	Material que actúa como aislante térmico que se emplea generalmente cuando se trabaja con resistencias eléctricas. Soporta hasta 500 °C. El espesor es de 1mm y para adecuarse al proyecto se corta en círculos de 23 cm.	
Moldes		
Aleación de aluminio 6063	Aleación de aluminio serie 6000 utilizada para fundición. Presente generalmente en perfilería para ventanas. Obteniendo un lingote de aluminio de 23 cm de diámetro x 32 mm.	
Fresas	Fresa de 6 mm, 4FL, HSS (Acero rápido), que cumple la función de herramienta para grabado o corte de una CNC.	
Fresa CNC	Fresa CNC marca Travis, modelo M-1000, comando CNC (Fagor), 20 herramientas, que cumple la función de realizar cualquier tipo de mecanizado.	
Estructura		
Acero ASTM A36	Acero estructural, utilizado para placas de soporte del molde inferior y superior.	

EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
AISI 304	Acero inoxidable 304 versátil, utilizados para los ejes de las columnas guías de 20 mm de diámetro y 350 mm de alto y para planchas de mesa.	
Tubo cuadrado 40x3mm	Tubo estructural cuadrado, negro 40 x 40 x 3 mm, utilizado para la fabricación de la estructura base.	
Canal U 125x50x4mm	Canal estructural tipo U, negro, 125 x 50 x 4 mm, utilizado como soporte del cilindro neumático.	
Canal U 50x25x3mm	Canal estructural tipo U, negro, 50 x 25 x 3 mm, utilizado como soporte de la placa y molde inferior.	
Tubo Cuadrado 20x1.2 mm	Tubo estructural cuadrado, negro 20 x 20 x 1.3 mm, utilizado soporte de la estructura base.	
Disco de corte	Disco de corte de metal 7 x 1/8 x 7/8, color azul, marca Norton, utilizado para realizar los cortes de los materiales estructurales.	
Disco Flap	Disco flap de 4" de diámetro, utilizada para terminaciones y limpieza de la superficie de la estructura.	

EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Pintura	Pintura esmalte marca pintulux plateado y dorado, 1 litro, utilizado para pintar la estructura metálica.	
Thinner	Thinner laca nitro, 1 litro, utilizado como diluyente de pintura.	
Pernos	Perno de acero inoxidable de 8 x 30 mm y 10 x 40 mm, que se utiliza como elemento de unión.	
Tuercas	Pieza metálica con orificio de 8 mm y 10 mm, que tienen la función de acoplar tornillos, y fijara cualquier elemento metálico.	
Electrodos	Electrodo 6011, utilizado para unir partes de la estructura metálica.	
Amoladora	Amoladora angular, 4 ½, 1010 W, marca Ingco, que se permite realizar múltiples tareas como: corte, pulido, etc.	
Soldadora	Soldadora inverter MMA, 160 A, marca Ingco, voltaje de entrada de 110-120, 50 Hz, utilizada para unir dos elementos metálicos.	
Taladro de pedestal	Taladro de pedestal ZJ 4120, mandril 20 mm, 6 velocidades, 110 volteos, marca Century, utilizado para realizar agujeros en cualquier elemento metálico.	

EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Varilla lisa	Varilla redonda lisa de acero inoxidable de 1/4, utilizado como soporte del dispensador de la materia prima.	
Materia Prima		
Medurado de trigo	Es una mezcla propia del proyecto que se conforma con salvado de trigo, almidón y agua. En algunos casos se puede incluir el germen de trigo.	
Adicionales		
Desmoldante de repostería (Desmold)	Es un antiadherente de aceite vegetal marca Maestro, muy empleado en la repostería ya que se emplea para que no se peguen los pasteles o postres, no influye en el sabor o color del producto a desmoldar. Es primordial para que la materia prima no se adhiera a los moldes.	
Dispensador	Dispensador de 1.5 lt, material plástico, con tapa, utilizado para el almacenaje de la materia prima.	
Rodamiento lineal	Rodamiento lineal de la marca NTN, número de modelo KH2030 de 20 mm. Con medidas 20x28x30 mm.	

EQUIPO / MATERIAL	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Caja de control	Caja de control metálico IP 65, 30 x 20 x15 cm, utilizado para el acople de todo el sistema eléctrico.	
Computador	Es un equipo electrónico empleado para realizar diversas tareas, en este caso consultas, uso de softwares de diseño, etc.	
Guantes	Prenda que cubre y protege la mano.	
Mandil	Sirve para protegerse de cualquier daño que puedan hacer las sustancias químicas a la ropa o a las personas.	

2.2 Métodos

2.2.1 Tipo de investigación

El proyecto en el que se trabajará tiene como finalidad elaborar una máquina para la elaboración de platos biodegradables donde se empleará los siguientes campos de investigación. Para esto se trabajará con los siguientes tipos de metodologías:

Histórico – lógico

Según el concepto del autor [81] este método aplica para esta máquina debido a que se obtienen parámetros o cualidades específicas. Gracias a este método se tiene una ligera idea del material que se dispondrá para construir la máquina que por lo general se emplea acero cromado e inoxidable. Adicionalmente se reúne datos de diversas investigaciones o artículos científicos que traten sobre la fabricación de platos biodegradables.

Observación y la comparación

Según [82] este comprende ser un método de tipo empírico que es muy empleado en el campo de la reingeniería donde el objetivo es comprender el funcionamiento y características de máquinas que se asemejen al tema propuesto que se empleará como base del diseño final de la máquina a construirse.

Hipotético – deductivo

Según la explicación del autor [83] gracias a este método se pueden producir ligeros cambios para posteriores proyectos como por ejemplo dimensiones, parámetros, temperatura, presión, entre otros. Los parámetros y condiciones impuestas en el actual proyecto se utilizarán para establecer como experimentación para posibles cambios futuros.

Tomando como referencia la información obtenida sobre los tipos de investigación, el diseño de la máquina se relaciona con metodologías semejantes a los parámetros del proyecto. Esto ayuda a evitar fallas o defectos que pueden aparecer en el desarrollo de este proyecto. Los datos necesarios como cálculos se obtienen de fuentes bibliográficas relacionadas con el diseño en la ingeniería mecánica como lo son documentos investigativos, artículos científicos o libros, mientras que características o propiedades físicas y mecánicas de los materiales se encuentran en catálogos de los distintos proveedores del país.

2.2.2 Método para el proceso de diseño

Para lograr el diseño y construcción de la máquina para elaborar platos biodegradables, como primera fase se necesitará una ardua investigación y reunión de información con relación a las distintas maquinarias que cumplan con los requisitos preliminares de diseño. Como siguiente fase se tiene la aplicación del software SolidWorks [84] con el que se diseña los distintos elementos mecánicos de la máquina, y el software Ansys Student [85] se emplea para analizar esfuerzos y con esto se puede seleccionar los materiales adecuados para cumplir con un adecuado factor de seguridad. Posteriormente se iniciará con la etapa de construcción que se realiza mediante diversos procesos de manufactura incluyendo el ensamble final. Como fase final se realizarán pruebas para corroborar el correcto funcionamiento de la máquina.

Método de análisis mediante elementos finitos

Este método se emplea más en la estructura del proyecto debido a que todo el sistema de la máquina se puede dividir en sus componentes o comúnmente denominados elementos, que gracias a esto el software permite realizar análisis por partes con una mayor eficiencia y sin tanto trabajo del equipo de análisis. Este método de elementos finitos consiste en que la cantidad infinita de las variables no conocidas se reemplacen por un número delimitado de elementos con comportamiento definido. Las divisiones que se crean por lo general contienen geometría triangular, cuadrangular o de otro tipo conforme dicta la problemática. Como se explicó anteriormente, al ser formas limitadas a este método se le otorga el estatus de “finito”. La conexión que existe entre estos elementos en sus puntos, se denominan nodos y al estar unidos con los elementos, todo este conjunto se nombra malla. Dado el caso de las subdivisiones, los resultados que el modelado matemático resuelve, son datos aproximados al comportamiento físico que exponen [86].

Método de diseño teórico

Otro tipo metodológico que se emplea está relacionado con el diseño y la construcción de la máquina que se expone a continuación, esto se obtiene de las siguientes referencias bibliográficas relacionadas con el diseño concurrente [87]–[90] donde gracias a esto se propone las siguientes fases: investigación previa, diseño teórico, diseño de materiales, diseño de detalle, construcción y pruebas. La característica principal de estas fases es que se correlacionarán y que cada fase contiene actividades acordes al proceso de diseño mecánico.

En la primera fase es primordial conocer los materiales o las características de la materia prima con la que se experimenta, así como también saber una normativa que trate sobre el manejo de alimentos en la industria y el abastecimiento de la misma. El diseño teórico es un paso primordial puesto que ayuda a conocer la lista de componentes, se conocen los requerimientos técnicos y tecnológicos y se puede saber las características de ciertos productos que ya existen en el mercado.

La fase del diseño de materiales vendrá complementada con ayuda del software SolidWorks [84] además de manuales del usuario, catálogos o fichas técnicas. En esta etapa se puede corroborar los cálculos para garantizar un correcto funcionamiento y saber si los elementos de la máquina resistirán con las cargas expuestas [91], además de realizar la simulación de los distintos elementos mediante el software Ansys Student.

Para la fase final, que es el diseño de detalle, se presentan planos con todas las especificaciones requeridas incluyendo materiales, tolerancias y dimensiones para finalmente una vez construida la máquina se comprueba el funcionamiento de la misma. Esta metodología de diseño se resume de mejor manera en la figura 15.

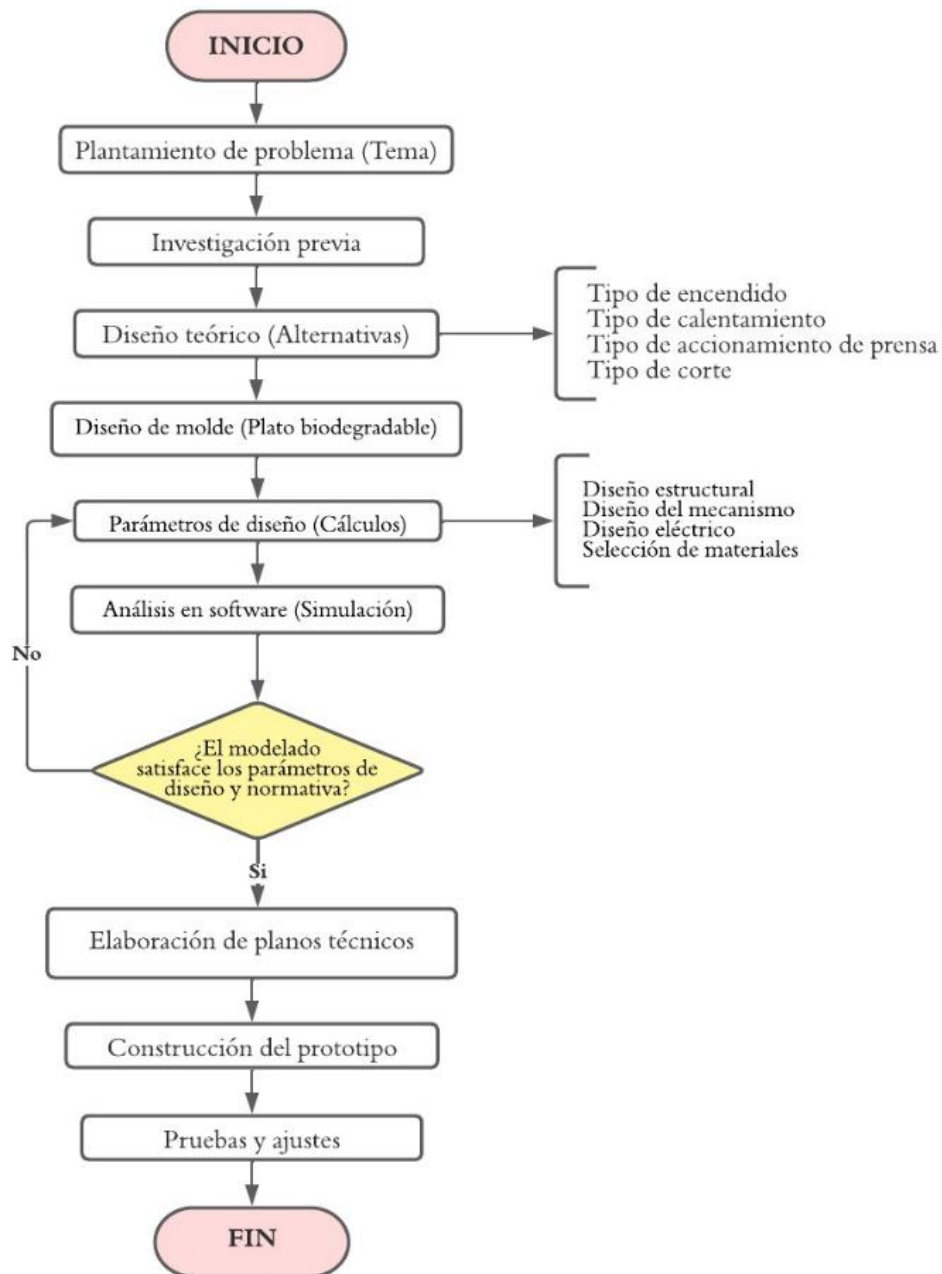


Figura 15. Diagrama de flujo de las etapas del proyecto.

2.2.3 Programas

SolidWorks

Es un software 3D con aplicación automatizada, aplicada en el diseño mecánico, y es de gran ayuda para el diseñador, ya que, permite realizar múltiples tareas como: croquizar, modelar elementos, ensamblar en 3D y realizar planos bien detallados de cada elemento realizado [92].

ANSYS

Es un software de simulación que ayuda a pronosticar ciertos parámetros físicos, que son difíciles de realizarlos solo con elementos matemáticos, este software permite analizar cómo se comporta los elementos cuando se encuentran afectados a diferentes estados físicos como: esfuerzos térmicos, tensiones, vibraciones y fluidos [85].

Microsoft Excel

Es un software que permite realizar hojas de cálculo, este programa es de gran ayuda al momento de realizar cualquier tipo de cálculo, ya que, si al ingresar mal una fórmula, solo se necesita corregirla y el cálculo se realiza de forma automática, además este programa permite trabajar de forma intuitiva [93].

2.2.4 Estudio de alternativas para diversos sistemas de la máquina

Para la máquina que elabora platos con materia prima biodegradable se tiene cuatro sistemas fundamentales que requieren una selección para posteriormente elegir la mejor opción y diseñar la máquina en base a estos parámetros. Las cuatro etapas son: sistema de encendido, sistema de calentamiento de matrices, sistema que acciona el prensado y finalmente el sistema para corte de bordes.

Sistema de encendido

Este sistema es el primero en funcionar ya que activa toda la máquina. En la tabla 6 se evidencian las ventajas y desventajas de las opciones para el sistema de encendido.

Tabla 6. Análisis de sistema de encendido.

SISTEMA DE ENCENDIDO		
TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Manual	No necesita una fuente de energía eléctrica.	La calidad del producto final es inapropiada.

SISTEMA DE ENCENDIDO		
TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Bajo costo de componentes.	El funcionamiento llega a ser lento.
	Mantenimiento relativamente fácil.	Poca potencia y bajo rendimiento.
Semiautomático	Aumenta la potencia y el rendimiento de la maquinaria.	Mayor gasto en programación.
	Reducción de costos a largo plazo.	
	Aumento de producción	Mantenimiento más complejo.
	Descripción detallada del proceso.	

Sistema para calentamiento de matrices

Este sistema es indispensable para el proceso del termoformado ya que se requiere calentar las matrices del molde según la temperatura especificada para cada material con el que se trabaja. En la tabla 7 se evidencian las ventajas y desventajas de las opciones para el sistema de calentamiento de matrices.

Tabla 7. Análisis de sistema para calentamiento de matrices.

SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE MATRICES		
TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Por llama	Se tiene un control libre o forzado.	No se tiene un calentamiento uniforme.
		El calentamiento se produce lentamente.
	El tiempo y la temperatura se puede regular.	Es un método que se emplea más con sustancias en movimiento.
		Poca exactitud en los grados de temperatura.

SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE MATRICES		
TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resistencia eléctrica	Se tiene un calentamiento uniforme.	Poca seguridad ya que pueden darse quemaduras.
	Control exacto de temperatura por uso de sensores.	
	El calentamiento llega a ser más rápido.	Componentes poco delicados.
Calentador por infrarrojo	El calentamiento es muy rápido.	Uso de la tecnología infrarroja.
	Se controla por medio de sensores.	Costos elevados para la ejecución de esta técnica.

Sistema que acciona el prensado

Es indispensable saber que opciones se tiene para activar el prensado, ya que se necesita una fuerza estimada para empezar con el termoformado o proceso similar al embutido. Para esto se requiere que en el proceso no existan muchas pérdidas de potencia, así como saber una adecuada fuente de alimentación y seguir las normativas que se relacionan con el campo alimenticio. En la tabla 8 se evidencian las ventajas y desventajas de las opciones para el sistema que acciona el prensado de calentamiento de matrices.

Tabla 8. Análisis de sistema para accionar el prensado.

SISTEMA QUE ACCIONA EL PRENSADO		
TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cilindro eléctrico	Es un componente económico.	Poca potencia.
	En tema de seguridad no origina mucho ruido.	Poco rendimiento.
	Facilidad de ensamblaje.	

SISTEMA QUE ACCIONA EL PRENSADO		
TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cilindro neumático	Al emplear el aire como fluido es un componente económico y abundante.	En tema de seguridad origina mucho ruido.
	En cuanto al medio ambiente, es una fuente que no contamina.	
	Mayor producción ya que su velocidad de trabajo es alta.	Su fuente energética requiere un compresor.
Cilindro hidráulico	Costos altos en cuanto al fluido (aceite o agua)	La velocidad de trabajo es lenta.
	Facilidad de ensamblaje.	La instalación de este componente es complicada por su peso.
	Mayor potencia y capacidad de carga.	

Sistema de corte de bordes

Como último sistema se tiene el sistema de corte, este sistema es más por estética ya que en los bordes del plato, si se desea, se corta para un mejor acabado. En la tabla 9 se evidencian las ventajas y desventajas de las opciones para el sistema de corte.

Tabla 9. Análisis de sistema de corte.

SISTEMA DE CORTE		
TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cizalla	Mejor calidad y exactitud de corte.	Se requiere otras herramientas para lograr un buen corte.
	No genera muchos residuos.	Pocas aplicaciones en la industria.
Punzón	Permite aplicar varios procesos, en este caso embutir y cortar.	Materiales con mayor precio.
	Poco mantenimiento.	Poca calidad en acabado de bordes.

2.2.5 Alternativas de diseño

Para lograr seleccionar un conjunto de sistemas adecuado para la máquina se combinan los sistemas en tres posibles opciones. La mezcla de sistemas es óptima según los autores, relacionando varias cualidades entre sí de los diversos sistemas de funcionamiento. Analizando también compatibilidad de componentes, costos, producción, entre otras. En la figura 16 se encuentran las tres posibles alternativas.

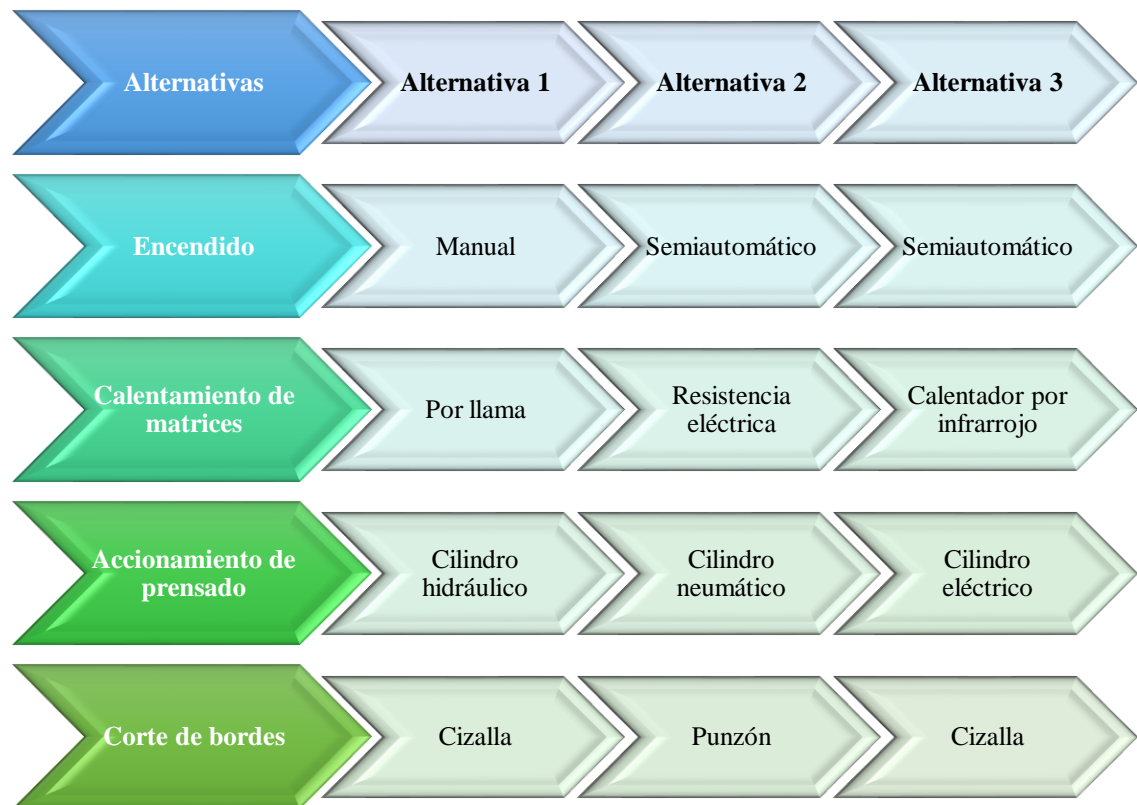


Figura 16. Alternativas para diseño de la máquina.

Alternativa 1

En esta opción de diseño se procede a empezar con un encendido manual, es decir que el usuario acciona la máquina, el calentamiento se dará por llama, el accionamiento de prensado será con un cilindro hidráulico (por lo cual se necesita una bomba) y finalmente el corte de los bordes será por medio de cizalla. Para tener una visión más clara del diseño se presenta a continuación los pros y contras desde el punto de vista de los autores.

Ventajas:

- No origina gastos en energía eléctrica.
- El plato obtendrá una buena calidad como producto final.
- La potencia de prensado es mayor.

Desventajas:

- Las matrices se calientan de manera lenta y sin uniformidad.
- Necesita de una máquina adicional para un buen corte de los bordes del plato.
- No cumple con la normativa (drenaje – cilindro hidráulico).

Alternativa 2

En esta opción de diseño se empieza con un encendido semiautomático, es decir que el usuario acciona la máquina mediante botones y así mismo la desactiva, el calentamiento se dará por resistencias eléctricas, el accionamiento de prensado será con un cilindro neumático (por lo cual se necesita un compresor) y finalmente el corte de los bordes será por medio de punzón. Para tener una visión más clara del diseño se presenta a continuación ventajas y desventajas desde el punto de vista de los autores.

Ventajas:

- La potencia y fuerza de prensado es suficiente para la aplicación.
- El plato obtendrá una excelente calidad como producto final.
- No necesita de otras herramientas para el corte de bordes.
- Buen control en temperatura y tiempo de prensado.
- Tiene una buena relación calidad-precio.

Desventajas:

- El acabado de los bordes no es exacto y con menor calidad.
- Se generan gastos por emplear energía eléctrica.

Alternativa 3

En esta opción de diseño se empieza con un encendido semiautomático, es decir que el usuario acciona la máquina mediante botones y así mismo la desactiva, el calentamiento se dará por un calentador infrarrojo, el accionamiento de prensado será con un cilindro eléctrico y finalmente el corte de los bordes será por medio de cizalla. Para tener una visión más clara del diseño se presenta a continuación ventajas y desventajas desde el punto de vista de los autores.

Ventajas:

- Calentamiento exacto y rápido de las matrices
- El plato obtendrá una excelente calidad como producto final.

Desventajas:

- El gasto por energía eléctrica aumenta.
- Necesita de una máquina adicional para un buen corte de los bordes del plato.
- El calentamiento mediante infrarrojo es muy poco empleado en este campo.
- Componentes con un costo elevado.

2.2.6 Evaluación de opciones

Tomando como referencia trabajos anteriores [37] [36] [94] se toman varios aspectos para elegir la mejor opción de diseño para la máquina que fabrica platos biodegradables, para los cuales se tomarán los siguientes parámetros:

- Consumo energético (C.E.)
- Mantenimiento de la máquina (Mant.)
- Automatización (Auto.)
- Costo
- Capacidad y eficiencia. (Cap. E.)
- Seguridad (Seg.)

- Cumplimiento de la norma NTE INEN-EN 1672-2 (Norma)

Valoración para análisis de criterios y elegir la mejor opción

Tabla 10. Valores para el análisis de criterios.

1,00	El criterio de la fila es (superior >) que el de la columna.
0,50	Si el criterio de la fila es (igual =) al de la columna.
0,00	Si el criterio de la fila es (inferior <) que el de la columna.

Tabla 11. Ponderación de los criterios de diseño.

Criterio	C.E.	Mant.	Auto.	Costo	Cap. E.	Seg.	Norma	$\Sigma+1$	Ponderación
C.E.		0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	2,00	0,07
Mant.	1,00		0,50	0,00	0,50	1,00	0,50	4,50	0,16
Auto.	0,50	0,50		0,00	1,00	1,00	0,00	4,00	0,14
Costo	1,00	1,00	1,00		0,50	1,00	0,00	5,50	0,20
Cap. E.	1,00	0,50	0,00	0,50		1,00	0,00	4,00	0,14
Seg.	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00		0,50	2,00	0,07
Norma	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50		6,00	0,21
SUMA								28,00	1,00

Una vez ponderados los parámetros de diseño, en la tabla 11 se puede evidenciar la siguiente prioridad o posición de cada aspecto:

Norma > Costo > Mant. > Auto. = Cap. E. > Seg. = C.E.

A continuación, se desglosa cada parámetro de diseño y se lo evalúa conforme a las opciones obtenidas anteriormente para llegar a una elección y conclusión de alternativa definitiva.

Tabla 12. Ponderación de las opciones con relación al cumplimiento de la norma NTE INEN-EN 1672-2.

Norma	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Opción 1		0,00	0,00	1,00	0,17

Norma	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Opción 2	1,00		0,50	2,50	0,42
Opción 3	1,00	0,50		2,50	0,42
SUMA				6,00	1,00

En la tabla 12 se observa que, según el criterio del cumplimiento de la norma NTE INEN-EN 1672-2, las opciones toman la siguiente posición:

$$\text{Opción 2} = \text{Opción 3} > \text{Opción 1}$$

Tabla 13. Ponderación de las opciones con relación al costo.

Costo	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Opción 1		0,00	0,50	1,50	0,25
Opción 2	1,00		1,00	3,00	0,50
Opción 3	0,50	0,00		1,50	0,25
SUMA				6,00	1,00

En la tabla 13 se observa que, según el criterio en cuanto al costo, las opciones toman la siguiente posición:

$$\text{Opción 2} > \text{Opción 3} = \text{Opción 1}$$

Tabla 14. Ponderación de las opciones con relación al mantenimiento de la máquina.

Mant.	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Opción 1		1,00	1,00	3,00	0,50
Opción 2	0,00		1,00	2,00	0,33
Opción 3	0,00	0,00		1,00	0,17
SUMA				6,00	1,00

En la tabla 14 se observa que, según el criterio en cuanto al mantenimiento, de la máquina las opciones toman la siguiente posición:

$$\text{Opción 1} > \text{Opción 2} > \text{Opción 3}$$

Tabla 15. Ponderación de las opciones con relación a la automatización.

Auto.	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ+1	Ponderación
Opción 1		0,00	0,00	1,00	0,17
Opción 2	1,00		1,00	3,00	0,50
Opción 3	1,00	0,00		2,00	0,33
SUMA				6,00	1,00

En la tabla 15 se observa que, según el criterio de automatización, las opciones toman la siguiente posición:

Opción 2 > Opción 3 > Opción 1

Tabla 16. Ponderación de las opciones con relación a la capacidad y eficiencia.

Cap. E.	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ+1	Ponderación
Opción 1		0,00	0,00	1,00	0,17
Opción 2	1,00		1,00	3,00	0,50
Opción 3	1,00	0,00		2,00	0,33
SUMA				6,00	1,00

En la tabla 16 se observa que, según el criterio de la capacidad y la eficiencia, las opciones toman la siguiente posición:

Opción 2 > Opción 3 > Opción 1

Tabla 17. Ponderación de las opciones con relación a la seguridad.

Seg.	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Σ+1	Ponderación
Opción 1		0,50	0,50	2,00	0,33
Opción 2	0,50		1,00	2,50	0,42
Opción 3	0,50	0,00		1,50	0,25
SUMA				6,00	1,00

En la tabla 17 se observa que, según el criterio de la seguridad, las opciones toman la siguiente posición:

Opción 2 > Opción 1 > Opción 3

Tabla 18. Ponderación de las opciones con relación al consumo energético.

C. E.	Opción 1	Opción 2	Opción 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Opción 1		1,00	1,00	3,00	0,50
Opción 2	0,00		1,00	2,00	0,33
Opción 3	0,00	0,00		1,00	0,17
SUMA				6,00	1,00

En la tabla 18 se observa que, según el criterio del consumo energético, las opciones toman la siguiente posición:

Opción 1 > Opción 2 > Opción 3

2.2.7 Solución de la mejor opción para fabricar la máquina que elabora platos biodegradables

Para llegar a tomar esta decisión y elegir la mejor alternativa anteriormente se describe los diferentes dispositivos para los diversos sistemas que la máquina posee, como el de encendido, calentamiento de matrices, accionamiento de prensado y corte de bordes. Adicionalmente se describen ventajas y desventajas de los componentes, así como también de las alternativas elegidas. Finalmente se realiza una evaluación compleja con ponderaciones de los parámetros de diseño elegidos y su relación con las alternativas. Por tanto, en la tabla 19 se multiplica la ponderación que obtuvo cada criterio de diseño por la ponderación que obtuvo cada alternativa cuando se las evaluó respecto a cada criterio.

Tabla 19. Análisis de las ponderaciones para elegir una solución.

Recapitulación	Norma	Costo	Mant.	Auto.	Cap. E.	Seg.	C. E.	$\Sigma+1$	Ponderación	Posición
Alternativa 1	0,04	0,05	0,08	0,02	0,02	0,02	0,07	1,19	0,32	TERCERO
Alternativa 2	0,09	0,10	0,05	0,07	0,07	0,03	0,05	1,31	0,35	PRIMERO
Alternativa 3	0,09	0,05	0,03	0,05	0,05	0,02	0,02	1,21	0,33	SEGUNDO
SUMA								3,71	1,00	

Según el análisis elaborado, se evidencia finalmente que la mejor alternativa y la seleccionada es la ALTERNATIVA 2. Esto se debe a que sus características son mejores que las otras, pero especialmente al momento de regir la norma NTE INEN-EN 1672-2, su relación capacidad – precio es equilibrada y la calidad que se dará al producto final, mediante este diseño es excelente, además de tener la cualidad de automatización.

2.2.8 Cálculos y diseño

2.2.8.1 Estudio de fuerzas de embutición

El proceso de funcionamiento de la máquina tiene similitud con el embutido de láminas, basándose en este concepto se trata de emplear las ecuaciones y cálculos del embutido de chapa metálica y transportarlo para realizar el análisis del prensado de los materiales biodegradables.

Se requiere encontrar las fuerzas relacionadas con el embutido como lo son: la fuerza de embutido, fuerza de fricción, fuerza de sujeción y fuerza de corte; esto debido que la suma total de estas fuerzas permite conocer la fuerza neta para seleccionar correctamente el cilindro neumático.

Fuerza de embutido

La fuerza de embutido se calcula mediante la ecuación 1:

$$F_e = 2 \pi r e S_t \ln \left(\frac{D}{d} \right) \quad Ec. (1)$$

Donde:

- r corresponde al radio de la matriz en metros [m].
- e corresponde al espesor del material en metro [m].
- S_t corresponde a la resistencia a la tensión en pascales [Pa].
- D corresponde al diámetro inicial de la lámina para embutir en metros [m].
- d corresponde al diámetro de la matriz en metros [m].

Existen algunos estudios o trabajos relacionados al proyecto, donde se evalúa las propiedades mecánicas de algunos materiales biodegradables entre estos se encuentra el plástico biodegradable obtenido a partir de almidón de papa [95] que presenta una resistencia a la tensión de 1,55 MPa. Otro estudio es el que trabaja con bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca [96] donde se conoce un valor de la resistencia a la tensión de 1,15 MPa y 1,75 MPa.

Por tanto, como se observa, los valores son aproximados entre sí, por lo cual para el cálculo se emplea el mayor valor, es decir el de 1,75 MPa.

Otro dato que se debe calcular es el diámetro inicial de la lámina para embutir, sin embargo, no se emplea una lámina tal cual, del material biodegradable, pero sirve para tener un aproximado en los cálculos. Para el cálculo de dicho diámetro se emplea la ecuación 2 donde se necesita conocer las dimensiones del plato a fabricar, cuyo esquema se presenta en la figura 17.

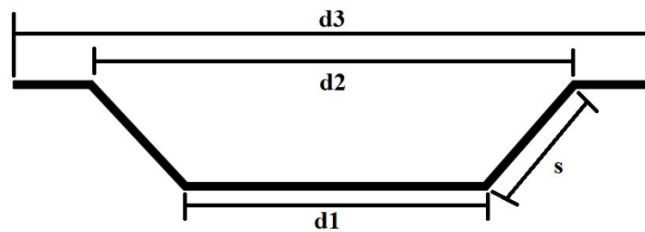


Figura 17. Esquema del plato a fabricar, con borde.

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2} \quad \text{Ec. (2)}$$

Los valores que se emplean para calcular el diámetro inicial de la lámina para embutir se encuentran en la tabla 20. Para más detalles del plato a embutir se toma como referencia un plato desechable de poliestireno que se encuentra en el Anexo 4. Cabe recalcar que los valores que se toman para el cálculo son aproximaciones ya que no se toma en cuenta los redondeos del plato a embutir.

Tabla 20. Dimensiones del plato para calcular diámetro D.

Término	Valor [m]
d1	0,11
d2	0,14
d3	0,18
s	0,02
D	0,19

Como se observa al reemplazar los valores se tiene un diámetro inicial de la lámina para embutir de 0,19 [m].

Los datos que se emplean para calcular la ecuación 1 son:

Tabla 21. Cálculo de fuerza de embutido.

Término	Valor	Unidades
r	0,055	[m]
e	0,003	[m]
St	1 750 000,00	[Pa]
d	0,11	[m]
D	0,19	[m]
Fe	991,58	[N]

Como se observa al reemplazar los valores se tiene una fuerza de embutido de 991,58 [N].

Fuerza de fricción

En la figura 18 se puede evidenciar el área de trabajo (punzón) donde:

- F_e corresponde a la fuerza de embutido en newtons [N].
- F_F corresponde a la fuerza de fricción en newtons [N].
- F_C corresponde a la fuerza de contacto entre el material a moldear y el punzón en newtons [N].

- θ corresponde al ángulo de inclinación de la pared del plato en grados [°].

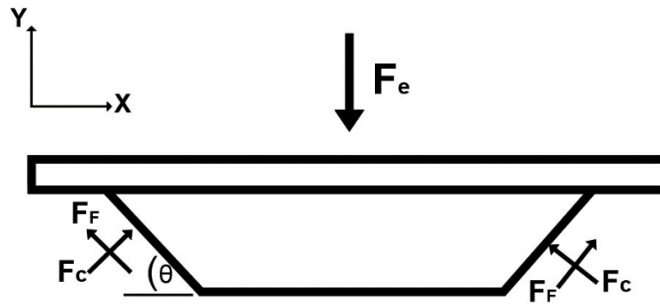


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre del área de trabajo del punzón.

Al realizar la sumatoria de las fuerzas respecto al eje Y se formula lo siguiente:

$$\sum F_Y = 0$$

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

La fuerza de fricción se calcula mediante la ecuación 4.

$$F_F = F_C * \mu_K \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde μ_K corresponde al coeficiente de fricción (adimensional).

Se reemplaza la ecuación 4 en la ecuación 3 y se despeja la fuerza de fricción, obteniendo la ecuación 5:

$$F_F = \frac{F_e}{2 \left(\text{sen } \theta + \frac{\text{sen } (90^\circ - \theta)}{\mu_K} \right)} \quad \text{Ec. (5)}$$

Los valores que se emplean para realizar el cálculo de la fuerza de fricción son:

Tabla 22. Cálculo de la fuerza de fricción.

Término	Valor	Unidades
F_e	991,58	[N]

Término	Valor	Unidades
θ	38,66	[°]
μ_K	0,36	[adimensional]
F_F	177,46	[N]

El valor del coeficiente de fricción con el que se trabaja corresponde al del césped natural debido a que es el material que más se acerca con el que se emplea en el proyecto. Como se observa al reemplazar los valores se tiene una fuerza de fricción de 177,46 [N].

Fuerza de sujeción

En esta fuerza intervienen componentes llamados sujetadores, que son los que se encargan de asegurar que la lámina se encuentre posicionada correctamente y la sujete. Gracias a estos componentes se logra evitar el arrugamiento del material. En este caso no se trabaja con láminas ni con metales, por tanto, los sujetadores no aplican en este proyecto. Teóricamente esto se puede analizar mediante la ecuación 6 (reducción de embutido), donde se especifica si necesita o no sujetadores y si la embutición se realiza en una o más fases.

$$R = \frac{D - d}{D} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

- $R > 0,60$ la embutición se da en más de una etapa y necesita pisadores.
- $R > 0,45$ la embutición se da en una sola etapa, pero sí necesita pisadores.
- $R < 0,45$ la embutición se da en una sola etapa y no necesita pisadores.

En este caso R tiene el valor de 0,42 por lo tanto $R < 0,45$ por lo que no se va a emplear sujetadores y el proceso consta de una sola fase de embutición.

Fuerza de corte

Para encontrar la fuerza de corte se tiene la siguiente ecuación:

$$F = 0,7 S_u t L \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

- F corresponde a la fuerza de corte en newtons [N].
- S_u corresponde a la resistencia última en pascales [Pa].
- t corresponde al espesor del material a cortar en metros [m].
- L corresponde al perímetro o longitud del borde de corte en metros [m].

Para encontrar la longitud a cortar se emplea la fórmula del perímetro de un círculo donde se trabaja con el diámetro inicial de la lámina para embutir en metros.

$$\text{Perímetro} = D * \pi \quad \text{Ec. (8)}$$

Reemplazando en la ecuación 7 se obtienen la ecuación 9:

$$F = 0,7 S_u t D \pi \quad \text{Ec. (9)}$$

Los valores que se emplean para realizar el cálculo de la fuerza de corte son:

Tabla 23. Cálculos para la fuerza de corte.

Término	Valor	Unidades
Su	1 800 000,00	[Pa]
t	0,003	[m]
D	0,19	[m]
F	2256,29	[N]

Según un estudio realizado por Navia et al. [96] y tras varias pruebas se concluye que los bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca tiene una resistencia última de 1,80 MPa.

Como se observa al reemplazar los valores se tiene una fuerza de corte de 2 256,29 [N].

Fuerza total

Una vez realizados todos los cálculos de las fuerzas de interés, se realiza una sumatoria de las mismas para encontrar la fuerza total. Cabe recalcar que, a pesar de calcular la fuerza de corte, esta no interviene directamente en el proyecto debido a que no se trabaja con láminas y no se la puede cortar. Más bien se emplea el material biodegradable en forma de residuos o partículas pequeñas por tanto la fuerza de corte no interviene.

$$F_T = F_e + F_F + \text{Fuerza de sujeción} \quad \text{Ec. (10)}$$

Tabla 24. Cálculo de la fuerza total.

Término	Valor [N]
F_e	991,58
F_F	177,46
Fuerza de sujeción	0,00
F_T	1 169,04

Como se observa al reemplazar los valores se tiene una fuerza total de 1 169,04 [N].

2.2.8.2 Diseño del sistema neumático

Elección de cilindro neumático

Para tener una noción de que actuador neumático se escoge, se hace uso de los catálogos que dispone la marca FESTO por ser una empresa y marca reconocida y posicionada en el mercado neumático. Gracias a las gráficas que el catálogo dispone (figura 19 y 20) se puede encontrar el diámetro del émbolo que el cilindro neumático requiere según dos variables: la fuerza que debe ejercer (fuerza total calculada) y la presión de trabajo que según [97] y la norma ISO 8778 [98] comúnmente la presión de operación es de 6 bares.

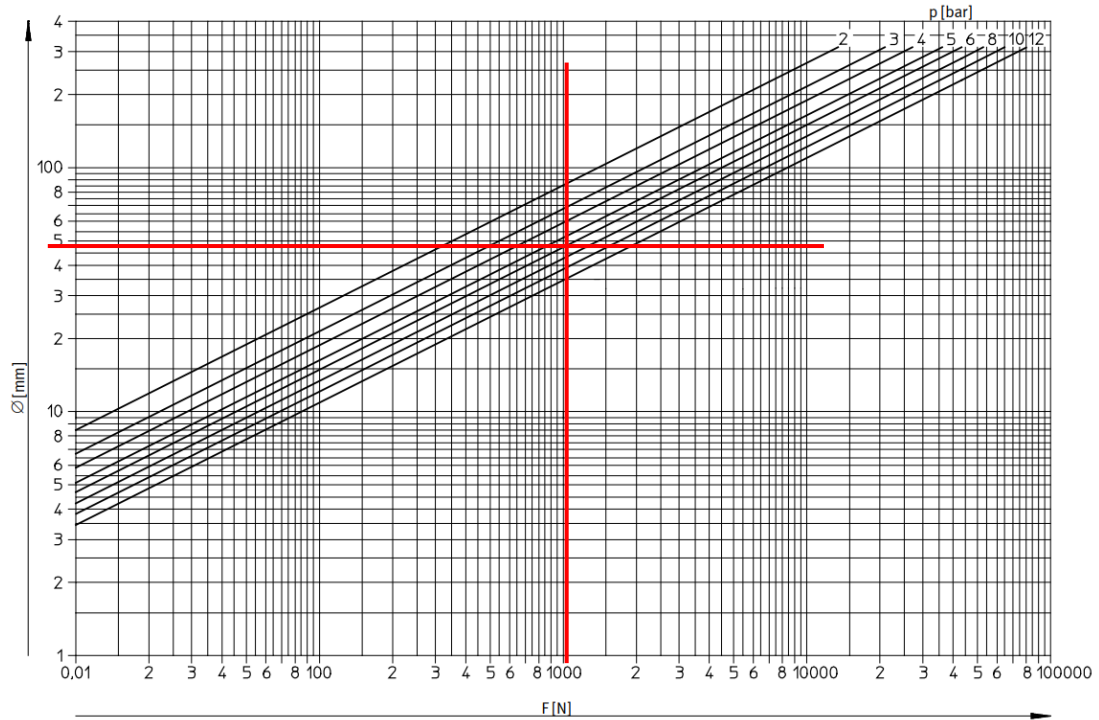


Figura 19. Gráfico de presión - fuerza para encontrar el diámetro del émbolo [99].

Diámetro cilindro (mm)	Fuerza de avance (N)				Diámetro vástago (mm)	Fuerza a restar para retroceso (N)			
	A diversas presiones (bar)					A diversas presiones (bar)			
	1	5	7	10		1	5	7	10
6	2,8	14,1	19,8	28,3	4	1,3	6,3	8,8	12,6
8	5,0	25,1	35,2	50,3	6	2,8	14,1	19,8	28,3
10	7,9	39,3	55,0	78,5	8	5,0	25,1	35,2	50,3
12	11,3	56,5	79,2	113,1	10	7,9	39,3	55,0	78,5
14	15,4	77,0	107,8	153,9	12	11,3	56,5	79,2	113,1
16	20,1	100,5	140,7	201,1	16	20,1	100,5	140,7	201,1
20	31,4	157,1	219,9	314,2	20	31,4	157,1	219,9	314,2
25	49,1	245,4	343,6	490,9	25	49,1	245,4	343,6	490,9
32	80,4	402,1	563,0	804,2	32	80,4	402,1	563,0	804,2
40	126	628	880	1257	40	125,7	628,3	879,6	1257
50	196	982	1374	1963					
63	312	1559	2182	3117					
80	503	2513	3519	5027					
100	785	3927	5498	7854					
125	1227	6136	8590	12272					
160	2011	10053	14074	20106					
200	3142	15708	21991	31416					

Figura 20. Fuerza de avance y retroceso en cilindros de distintos tamaños [100].

Según la figura 19 se obtiene que el diámetro del émbolo, según el actual proyecto debe ser de aproximadamente 50 mm y se confirma con la figura 20 ya que la presión

deseada se encuentra en el rango y la fuerza empleada esta entre 982 y 1374 [N], valores que corresponden a un diámetro del émbolo de 50 mm.

Adicionalmente el catálogo también contiene un diagrama de pandeo, que es esencial para conocer el valor del diámetro del vástago para que, al momento de funcionar, el vástago no se pandeé. Para la figura 21 se necesita conocer la longitud de carrera deseada y valores anteriormente obtenidos. La longitud de carrera que se emplea para realizar la actividad de prensado se estima en 250 mm.

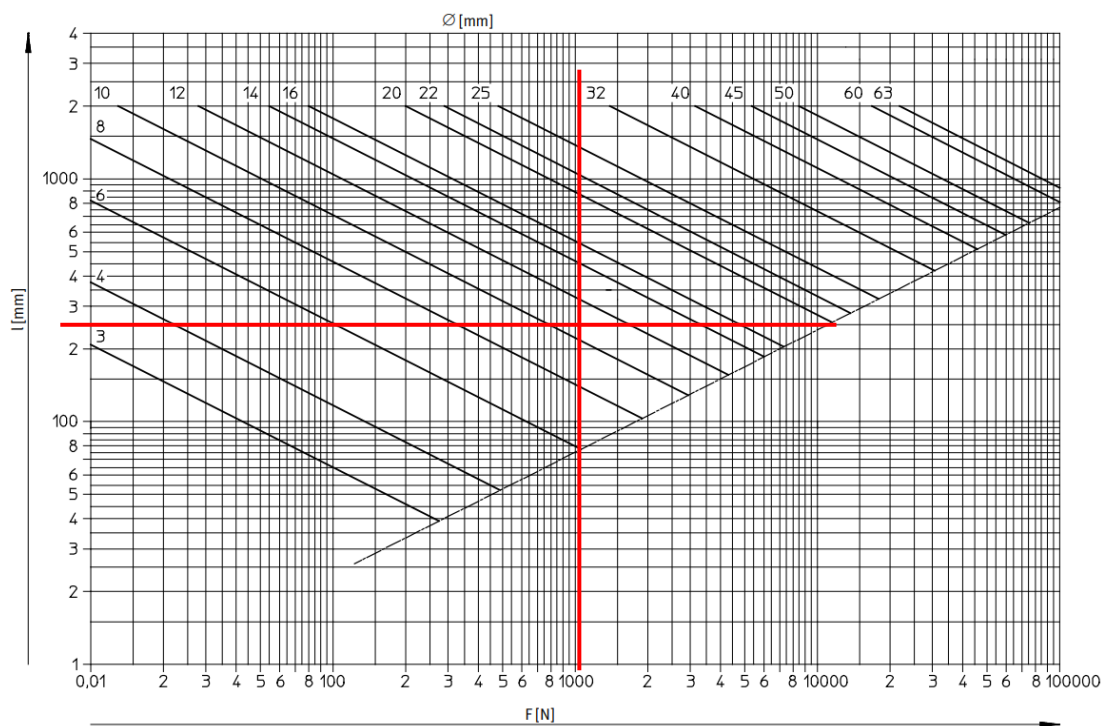


Figura 21. Gráfico de pandeo para encontrar el diámetro del vástago [99].

Según la figura 21 se obtiene que el diámetro del vástago, según el actual proyecto debe estar entre 10 y 12 mm por lo cual se escoge un valor de 12 mm.

Como ya se conoce el diámetro del émbolo junto con la longitud de carrera, el catálogo ofrece conocer la norma que es aplicable a los cilindros con estas características.

Norma	∅ del émbolo [mm]	Longitud de carrera [mm]	Desviación admisible de la carrera [mm]
ISO 6432	8, 10, 12, 16, 20, 25	0 ... 500	+1,5
ISO 15552	32	0 ... 500	+2
	40, 50	500 ... 12500	+3,2
	63	0 ... 500	+2
	80, 100	500 ... 12500	+4
	125, 160	0 ... 500	+4
	200, 250, 320	500 ... 2000	+5
ISO 21287	20, 25	0 ... 500	+1,5
	32, 40, 50	0 ... 500	+2
	63, 80, 100	0 ... 500	+2,5

Figura 22. Norma aplicable según las características del actuador neumático [99].

Como se evidencia en la figura 22 las normas que más se relaciona con las características obtenidas son: la ISO 15 552 y la ISO 21 287. Los parámetros para seleccionar el actuador neumático son:

- Diámetro mínimo del embolo de 50 mm.
- Diámetro mínimo del vástago de 12 mm.
- Longitud de carrera de 250 mm.
- Norma ISO 15 552 o ISO 21 287.

En la figura 23 se observa las dimensiones de los cilindros neumáticos estandarizados para mejor disponibilidad en el mercado, donde se evidencia que el cilindro neumático con diámetro de 50 mm cumple con el diámetro de vástago mayor de 12 mm, sin embargo, en la fuerza se aproxima, pero no supera la fuerza calculada por lo que se puede elegir un cilindro neumático de una categoría superior según disponga el mercado.

Diámetro pistón (mm)	Diámetro vástago (mm)	Fuerza neta (N) a P =6 bar	Longitudes de carrera normalizadas (mm)
6	-	15	10, 25, 40, 80
12	4	60	10, 25, 40, 80, 140, 200
16	6	106	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300
25	10	260	25, 40, 80, 140, 200, 300
35	12	509	70, 140, 200, 300
40	16	665	40, 80, 140, 200, 300
50	18	1039	70, 140, 200, 300
70	22	2037	70, 140, 200, 300
100	25	4156	70, 140, 200, 300
140	30	8146	70, 140, 200, 300
200	40	16625	70, 140, 200, 300
250	50	25977	70, 140, 200, 300

Figura 23. Tamaños normalizados y carreras en cilindros neumáticos [100].

En este caso se emplea un cilindro neumático ISO 15 552 doble efecto DNC con un diámetro de émbolo de 63 mm y una carrera de 250 mm.

Elección de ventosas y tobera de vacío

Para realizar esta selección se debe conocer la tobera de vacío que se va a utilizar. En el presente trabajo, al tratar de elevar pesos demasiado pequeños como lo es un plato de 7 pulgadas no es necesario emplear un sistema de ventosa. Sin embargo, esto se aplica al proyecto no por el peso que debe levantar sino por el acabado del producto (plato) debido a que al final del termoformado si se llega a manipular el plato con las manos puede quedar huella, puede tener imperfecciones la superficie del plato o incluso como se trabaja con elevadas temperaturas, el usuario puede llegar a tener serias quemaduras.

Algunos datos de relevancia que se debe tomar en cuenta son: para estar en contacto con productos alimenticios, la ventosa debe ser de silicona [101]. Además, que la superficie de contacto para que la ventosa pueda absorber debe ser plana como lo es en este caso, llegando a ocupar ventosas denominadas “Ventosas circulares planas” [102]. Adicionalmente tras varios experimentos el autor [103] explica que para superar la fuerza de elevación en productos con un peso relativamente bajo se emplean toberas o generadores de vacío con un vacío mínimo de 40%.

Para calcular el diámetro de la ventosa a usarse se emplea la figura 24, para esto se debe conocer la depresión que se utiliza y el valor de la masa del plato biodegradable para sacar el peso y escoger adecuadamente.

El peso del plato que se va a fabricar depende del material biodegradable con el que se elabore debido a que depende de las respectivas densidades. Algunas densidades son: salvado de trigo ($0,183 \text{ g/cm}^3$); salvado de avena ($0,464 \text{ g/cm}^3$); salvado de alforfón ($0,335 \text{ g/cm}^3$); cáscaras de trigo sarraceno ($0,171 \text{ g/cm}^3$) y salvado de centeno ($0,299 \text{ g/cm}^3$) [104]. Adicionalmente según [105] la harina de yuca blanca tiene una densidad de $0,69 \text{ g/cm}^3$.

Por lo que se utiliza el valor más alto para calcular el peso que según el software Solidworks y las dimensiones establecidas se tiene una masa de 56,04 gramos que son aproximadamente 0,55 N.

Depresión (bar)	Diámetro de ventosas (mm)													
	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
-0,9	0,28	1,13	2,54	4,52	7,06	15,9	28,3	44,2	63,6	113,0	176,7	254,4	452,4	706,8
-0,8	0,25	1,00	2,26	4,02	6,28	14,3	25,1	39,3	56,5	100,5	157,1	226,2	402,1	628,3
-0,7	0,22	0,88	1,98	3,52	5,5	12,4	22	34,3	49,5	88,0	137,4	197,9	351,8	549,8
-0,6	0,19	0,75	1,7	3,01	4,71	10,6	18,8	29,4	42,4	75,4	117,8	169,6	301,6	471,2
-0,5	0,16	0,63	1,41	2,51	3,93	8,83	15,7	24,5	35,3	62,8	98,2	141,4	251,3	392,7

Figura 24. Fuerza teórica de sujeción de las ventosas en Newtons [100].

El valor en la tabla 24 que más se aproxima a 0,55 N es el escogido por tanto se supone que se trabaja con una depresión de 0,50 bar y con un diámetro de la ventosa de 4 mm.

Los parámetros para seleccionar la ventosa y la tobera son:

- Diámetro mínimo de la ventosa de 4 mm.
- Debe tener una fuerza de sujeción mínima para 0,55 N.
- Depresión mínima de 0,50 bar.
- La ventosa debe ser circular plana y de silicona.
- El vacío mínimo de la tobera de vacío debe ser de 40%.

Para el proyecto se emplea una ventosa plana de silicona de 40 mm y un generador de vacío Airbest 10 HS.

Elección del compresor

Para poder encontrar un compresor capaz de alimentar el sistema neumático, se realizan los cálculos para conocer el consumo del aire tomando en cuenta condiciones normales, para lo cual se emplea la ecuación 11 que sirve para saber el consumo de aire de un cilindro neumático de doble efecto.

$$C = \frac{0,0471 [D^2 - d^2] L (P + P_{atm})}{t} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

- C corresponde al consumo de aire en litro por cada minuto [lt/min].
- D corresponde al diámetro del émbolo en centímetros [cm].
- d corresponde al diámetro del vástago en centímetros [cm].
- L corresponde al perímetro o longitud de carrera del cilindro en centímetros [cm].
- P corresponde a la presión de funcionamiento en kilogramos por cada centímetro al cuadrado [Kg/cm²].
- P_{atm} corresponde a la presión atmosférica del lugar en kilogramos por cada centímetro al cuadrado [Kg/cm²].
- t corresponde al tiempo que dura el cilindro en avanzar en segundos [s].

Los diámetros y la carrera del cilindro se obtienen de datos anteriormente calculados mientras que la presión de funcionamiento es de 6 bares (6,12 Kg/cm²) y la presión atmosférica de Ambato es de 1,04 Kg/cm². Además, se prevé que se realice el avance en un tiempo de 5 segundos.

Tabla 25. Cálculo del consumo de aire.

Término	Valor	Unidades
D	8,00	[cm]
d	2,00	[cm]
L	20,00	[cm]
P	6,12	[Kg/cm ²]
Patm	1,04	[Kg/cm ²]
t	5,00	[s]
C	80,94	[lt/min]

Como se observa al reemplazar los valores se tiene un consumo de aire del cilindro de 80,94 [lt/min], para poder seleccionar un compresor adecuado se debe tener en cuenta

que el consumo de tuberías y otros componentes neumáticos tiene un consumo adicional de 20 a 30% por lo cual se emplea un promedio de 25% lo que da un consumo de 20,24 [lt/min]. Por tanto, el consumo total final se estima de 101,18 [lt/min].

Los parámetros para seleccionar el compresor son:

- Caudal mínimo de 101,18 [lt/min].
- Presión mínima de 6 [bar].

Los compresores con los que cuenta la Universidad Técnica de Ambato cuentan con las siguientes características: el primero con una presión máxima de 8 bares, 168 lt/min de caudal y 2 HP de poder; otro de una presión máxima de 12,50 bares, 159 lt/min de caudal y 3 HP de poder y el último de una presión máxima de 12 bares y 420 lt/min de caudal. Como se evidencia cualquiera de los compresores de la universidad cumplen con las características mencionadas.

Dimensionamiento de mangueras neumáticas

Para saber qué diámetro se debe emplear para el sistema neumático del proyecto se hace uso de un programa de Festo Online denominado Simulación Neumática que ayuda a conocer el comportamiento del cilindro neumático, se trata de simularlo lo más relacionado a la función que se quiere en el presente proyecto. Una vez obtenida la simulación, el mismo programa recomienda una lista de piezas adicionales que se necesitan para llevarlo a la realidad como por ejemplo las diversas conexiones. Para este caso el programa recomienda emplear unas mangueras flexibles con diámetro exterior de 6 mm como mínimo, por lo cual para el proyecto se utilizan unas mangueras flexibles de poliuretano con 8 mm de diámetro exterior.

Funcionamiento del sistema neumático del proyecto

Una vez calculadas y dimensionadas las partes principales del sistema neumático se procede a realizar el diseño del sistema neumático completo (mediante software de

simulación neumática) según los requerimientos establecidos y el trabajo que se desee que se cumpla. Adicionalmente el control que se va a tener sobre el sistema neumático es mediante un mando de control eléctrico.

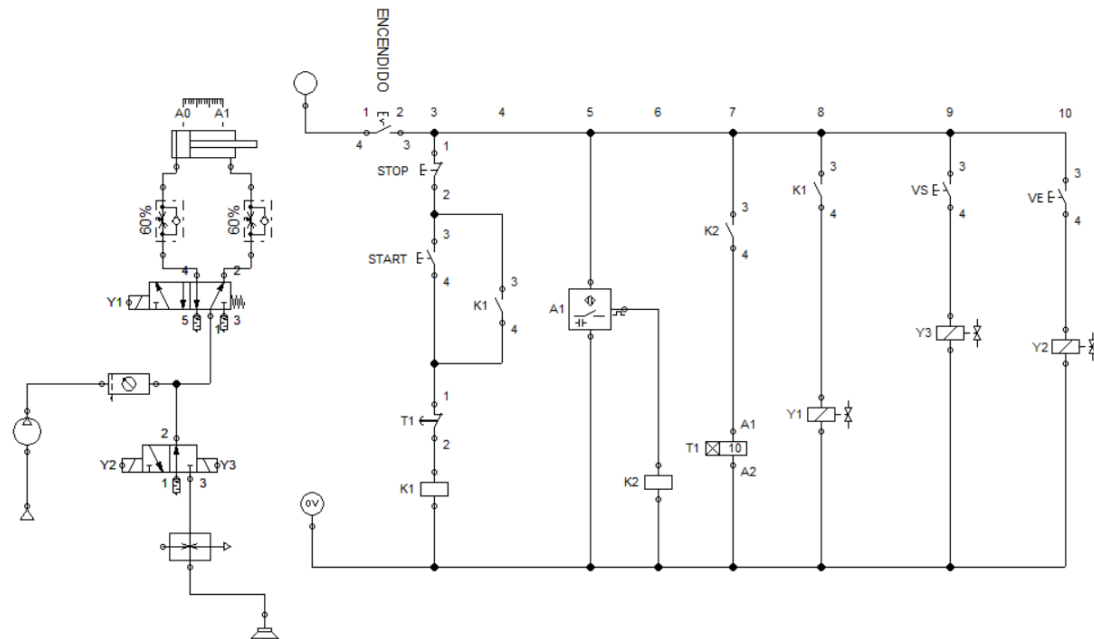


Figura 25. Sistema neumático y su mando de control eléctrico.

En la figura 25 se observan los distintos componentes que son parte del sistema neumático final como electroválvulas, unidad de mantenimiento, reguladores de caudal, entre otros. Como se menciona anteriormente, se tiene un mando de control eléctrico cuyo funcionamiento es: Se pulsa el botón ENCENDIDO para energizar de corriente a todo el sistema, para iniciar con el avance del cilindro se pulsa el botón START que energizará el relé K1 y al cerrarse el interruptor K1, se activa la electroválvula Y1 (5/2) lo que hará que el flujo de aire active el avance del cilindro. Una vez que el cilindro se expande por completo, llega a la marca A1 donde el sensor magnético dará la señal a K2 que activa el temporizador (el tiempo se puede regular), mientras sigue la cuenta regresiva el cilindro sigue en su última posición, es decir extendido. Al finalizar el tiempo del temporizador la electroválvula Y1 retorna mediante muelle lo que activa el flujo de aire para que el cilindro retroceda a su posición inicial. La velocidad de avance y retroceso del cilindro se modifica mediante los reguladores de caudal.

Es importante mencionar que se cuenta con un STOP (paro de emergencia) debido a que al trabajar con prensas neumáticas existe un alto riesgo de que se dé un accidente laboral, por lo cual cuando se aplasta el botón STOP el cilindro regresa a su posición inicial es decir contraído evitando presionar cualquier objeto o en el peor de los casos extremidades humanas.

Adicionalmente en el mismo mando de control se activa o desactiva el sistema de la ventosa, donde al pulsar el botón VE, la válvula 3/2 biestable activa el generador de vacío haciendo que la ventosa absorba o sujete el plato biodegradable, y cuando se pulse el botón VS se detiene el flujo de aire desactivando el generador de vacío haciendo que la ventosa suelte el objeto retenido.

2.2.8.3 Sistema de calentamiento

Para este sistema se emplean resistencias eléctricas para 110 V con una potencia de 500 W con unas dimensiones de 100x100x4 mm que es lo que comúnmente se encuentra en el mercado. Esas resistencias se conectan a un controlador de temperatura PID industrial para con ello poder dar y conocer el valor de temperatura requerido.

El método consiste en que la resistencia calienta a la matriz por medio de la conducción y que la superficie de la matriz en contacto llegue a transferir el calor a la superficie del molde que tiene la forma del plato por medio de convección. El controlador ayuda a regular la temperatura que se desea y por medio de funciones proporcionales, integrales y derivadas el valor que se obtiene realmente es muy cercano al valor deseado. Además, el controlador maneja las variables de la electricidad, si se desea más temperatura, las aumenta, si se requiere bajar los valores de la temperatura, la electricidad disminuye.

Hay que tener en cuenta que para lograr una mejor respuesta y funcionamiento al controlador se le da valores para los parámetros P, I y D. La industria recomienda empezar con valores para todos de 1, sin embargo, en la figura 26 se muestran valores máximos, mínimos y típicos que se emplean.

Parametro Controlador	Probable Minimo	Probable Maximo	Valor Típico	Unidades
Presion Liquidos y Fluidos				
Ganancia	0.2	1.5	0.5	ganancia
Integral	0.05	0.5	0.2	minutos
Derivativa	0	0	0	minutos
Filtro	0	0.2	0.02	minutos
Muestreo	0.5	2	1	segundos
Temperatura				
Ganancia	0.5	4	1	ganancia
Integral	0.2	1	0.5	minutos
Derivativa	0	0.25	0.1	minutos
Filtro	0	0.1	0	minutos
Muestreo	1	5	2	segundos
Temperatura de columnas o reactor, presión de gases				
Ganancia	2	10	5	ganancia
Integral	2	20	5	minutos
Derivativa	0	5	1	minutos
Filtro	0	0.2	0	minutos
Muestreo	1	15	10	segundos
Nivel basado en setpoint				
Ganancia	1	10	5	ganancia
Integral	2	30	10	minutos
Derivativa	0	2	1	minutos
Filtro	0	0.5	0.2	minutos
Muestreo	1	5	2	segundos

Figura 26. Valores iniciales para un controlador PID [106].

Otro parámetro importante por manejar es la temperatura de fusión de los materiales que tienen contacto o están cerca de las resistencias. En el proyecto se trabaja en su mayoría con aceros que tienen un punto de fusión por encima de los 1 000 °C, se emplea el acero tanto para estructuras y placas de soporte, pero también es el material del vástago del cilindro neumático (acero de alta aleación) que es el que más cerca estará de la resistencia. El material más crítico en cuanto a la temperatura es la aleación de aluminio con la que se trabaja teniendo un punto de fusión de 650 °C, pero su temperatura de operación llega hasta los 500 °C aproximadamente [107]. Para el termoformado de platos biodegradables no se emplean temperaturas mayores a 120 °C, pero con las biomásas que se va a trabajar por lo general está presente la lignina. La lignina actúa como aglutinante natural y para que logre unir las partículas y hacer un material resistente, se tiene que llegar a su punto de fusión que es de 170 °C [108].

Luego de conocer los valores máximos con los que se trabajan y la resistencia térmica de los materiales se intuye que el termoformado se llevará a cabo correctamente. Se emplean dos resistencias para calentar tanto a la matriz como al punzón (una en cada molde).

2.2.8.4 Diseño de la matriz y el punzón

La norma en que se basa el proyecto es la NTE INEN-EN 1672-2, la cual especifica que para máquinas que se emplean en la industria alimenticia se utiliza aluminio o acero inoxidable en componentes que estén en contacto directo y continuo con el material.

El material elegido para fabricar la matriz y el punzón es la aleación de aluminio 6063, generalmente este se encuentra presente en la mayoría de los perfiles para la construcción de marcos de ventanas. Las propiedades mecánicas y térmicas de esta aleación se encuentran detallada en la tabla 4.

Para escoger la aleación de aluminio por delante del acero inoxidable se toma en cuenta los siguientes parámetros: conductividad térmica, mecanizabilidad, resistencia a la fatiga y sobre todo el precio como se observa en las figuras 27, 28 y 29.

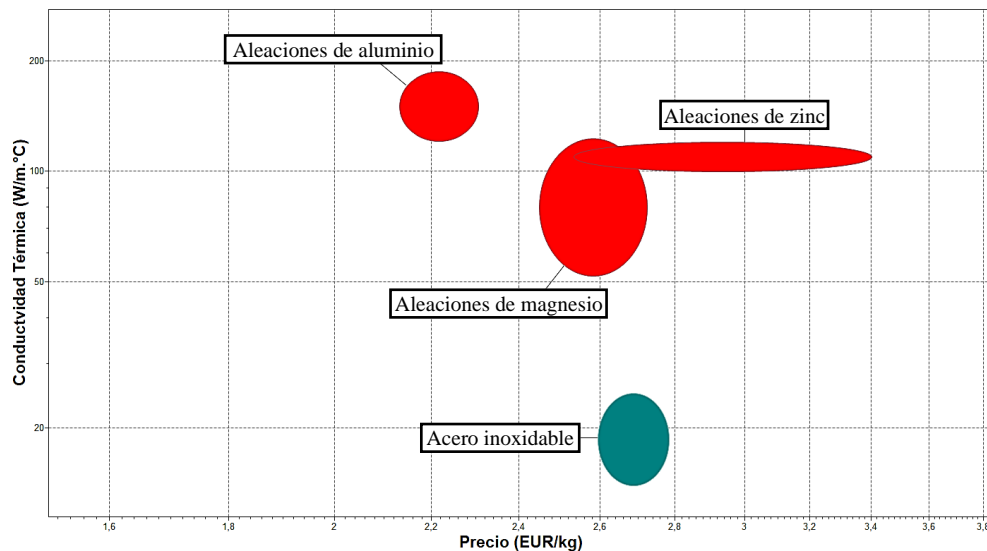


Figura 27. Gráfica Conductividad térmica vs Precio.

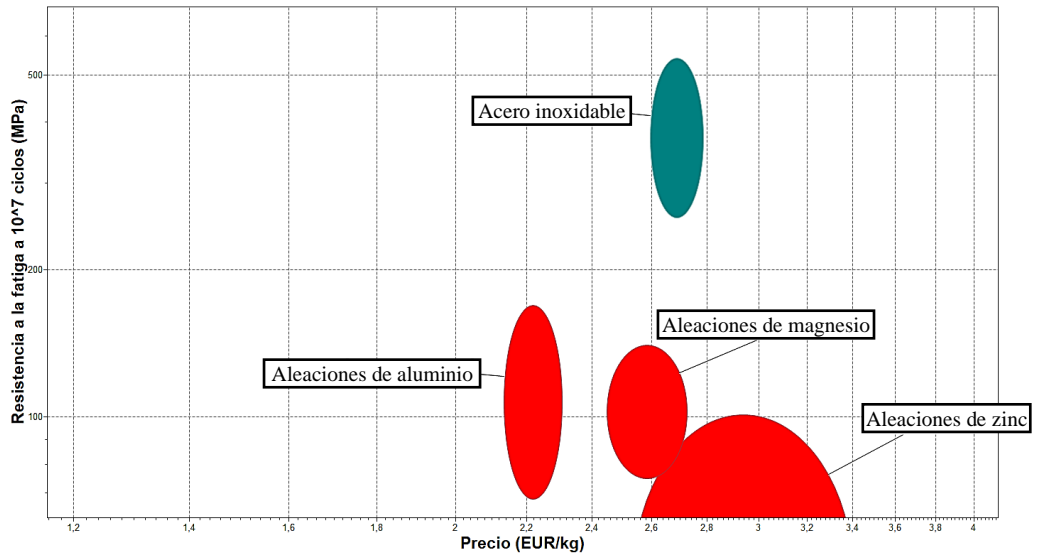


Figura 28. Gráfica Resistencia a la fatiga vs Precio.

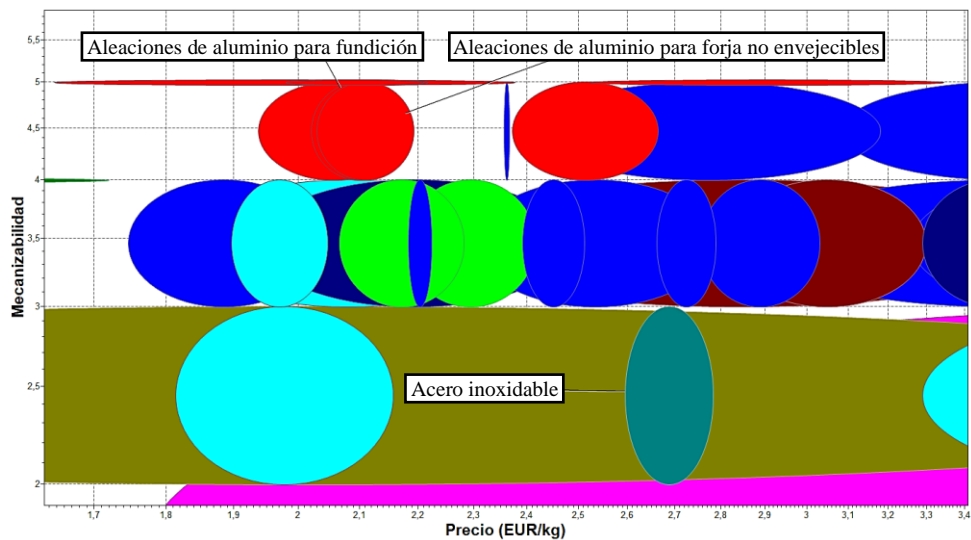


Figura 29. Gráfica Mecanizabilidad vs Precio.

Se escoge a la aleación de aluminio por encima de aceros inoxidable debido a su bajo costo y su excelente conductividad térmica ya que puede llegar a la temperatura deseada en menor tiempo. Además de tener un mejor valor de mecanizado por bajo costo, en cuanto a la resistencia a la fatiga el acero inoxidable es mejor pero asimismo a un precio elevado. Se debe tener en cuenta que los esfuerzos con los que trabaja la máquina no son elevados por lo que el esfuerzo a la fatiga de la aleación de aluminio es aceptado por su precio. Por lo que se evidencia que la aleación de aluminio 6063 tiene más puntos positivos en comparación al acero inoxidable.

Las dimensiones del plato que se quiere obtener como producto final se detallan en la figura 17 y en la tabla 20, añadiendo que se tiene una altura de 15 mm y se desea un espesor del plato de 3 mm. Como el plato es de 7 pulgadas de diámetro o 18 centímetros aproximadamente, los bloques de aluminio deben tener un diámetro mayor. Además, se recomienda tener una forma cilíndrica del bloque de aluminio para un mejor manejo y mecanizado.

Tomando esto en cuenta, se propone trabajar con un bloque cilíndrico de aluminio 6063 con un diámetro de 230 mm y un espesor de 32 mm suficiente para trabajar como molde del plato propuesto de 7 pulgadas. Hay que tomar en cuenta que en el mercado ecuatoriano no existen muchos ejemplares de bloques cilíndricos de aluminio y menos con las medidas requeridas, pero se los puede conseguir por otros métodos de fabricación como la que se emplea en el presente proyecto que es la fundición.

Mecanizado de matriz y punzón

- Cálculo de velocidades

Para determinar los diferentes parámetros y velocidades se tiene en cuenta los datos recomendados de la figura 30 para fresas de acero rápido. El material que se va a mecanizar, en este caso es el aluminio.

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

Figura 30. Velocidad de corte y avance recomendado para diversos materiales [109].

Como se observa algunos datos son rangos de velocidades por lo tanto se trabaja con los promedios y se tiene que para el aluminio en el desbaste tiene una velocidad de corte (v) de 70 m/min mientras que para el acabado se tiene una velocidad de corte de 90 m/min. Además, los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato cuentan con el siguiente juego de fresas:

Fresas Esféricas: $\varnothing = 9,75$ mm y 6 mm; dientes (z) = 3 para todas.

Fresas Planas: $\varnothing = 20$ mm, 12mm y 3 mm; dientes (z) = 3 para todas.

Para el desbaste se emplea una fresa plana de 20 mm y mediante la ecuación 12 se calcula la velocidad del husillo y mediante la ecuación 13 la velocidad de avance.

$$S = \frac{v * 1000}{\pi * D * z} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

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

$$F = a * S \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

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

En la figura 31 se tiene el avance para aleación de aluminio con fresas de acero rápido en cuanto al desbaste y en la figura 32 en cuanto a los acabados, para tener menores tiempos de mecanizado se escoge el valor más alto, es decir para el desbaste 0,60 mm/rev y para el acabado 0,25 mm/rev.

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

Figura 31. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en desbaste [110].

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

Figura 32. Avance y profundidad de corte para aleaciones de aluminio en acabado [110].

Tabla 26. Cálculo de velocidad para desbaste.

Término	Valor	Unidades
v	70,00	[m/min]
z	3,00	[adimensional]
D	20,00	[mm]
S	371,36	[rpm]
F	222,82	[mm/min]

Como se observa al reemplazar los valores se tiene una velocidad del husillo de 371,36 [rpm] y una velocidad de avance de 222,82 [mm/min] con una fresa plana de 20 mm y para el mecanizado de aluminio.

Para el acabado se van a emplear dos fresas, la fresa esférica de 6 mm de diámetro y la fresa plana de 3 mm.

Tabla 27. Cálculo de velocidad con fresa de 6mm para acabado.

Término	Valor	Unidades
v	90,00	[m/min]
z	3,00	[adimensional]
D	6,00	[mm]
S	1591,55	[rpm]
F	397,89	[mm/min]

Tabla 28. Cálculo de velocidad con fresa de 3mm para acabado.

Término	Valor	Unidades
v	90,00	[m/min]
z	3,00	[adimensional]
D	3,00	[mm]
S	3183,10	[rpm]
F	795,78	[mm/min]

Como se observa al reemplazar los valores, para una fresa esférica de 6 mm se tiene una velocidad del husillo de 1 591,55 [rpm] mientras que con una fresa plana de 3 mm se tienen una velocidad del husillo de 3 183,10 [rpm]. Para la velocidad de avance se tiene para una fresa esférica de 6 mm un valor de 397,89 [mm/min] y para la fresa plana de 3 mm un valor de 795,78 [mm/min].

- **Cálculo de la profundidad de corte**

Para la profundidad de corte en aleaciones de aluminio y teniendo en cuenta el material de la fresa que en este caso es acero de alta velocidad, se tiene la figura 31 para profundidades de desbaste y la figura 32 para acabados.

Como se evidencia, para el desbaste en toda aleación de aluminio se recomienda trabajar de 3 a 15 mm por lo que se trabaja con una profundidad de corte de 5 mm. Para el acabado se recomienda alores de 0,30 a 2,50 mm por lo que se trabaja con una profundidad de 1 mm.

La propuesta que se tiene de los moldes se ha diseñado en el software SolidWorks que mediante el mecanizado se lo llevará a la fabricación teniendo como producto unas matrices similares a la figura 33.

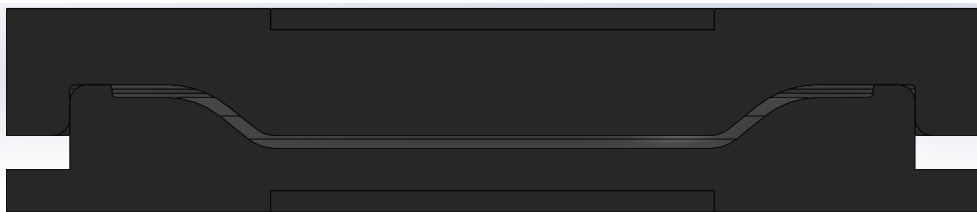


Figura 33. Ensamble de las matrices diseñadas en software.

- **Cálculo de tolerancias de las matrices**

Primero se empieza determinando la tolerancia general de las matrices, para lo cual se escoge el mayor diámetro de los modelados obtenidos. Tanto la cavidad como el núcleo tienen un diámetro exterior de 230 mm, con ayuda de la figura 34 se obtiene la tolerancia general.

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

Figura 34. Tolerancia general según el sistema ISO [111].

Debido a que se trata de piezas que se tienen que acoplar lo más preciso posible el punzón en la matriz se considera una tolerancia fina y con el diámetro expuesto anteriormente se escoge una tolerancia de ± 0,20 mm.

Para poder conocer las tolerancias de agujero – eje de las dos matrices se toma como referencia el ajuste recomendado por el sistema ISO que se muestra en la figura 35.

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

Figura 35. Ajustes recomendados según el sistema ISO [111].

Debido a que se trata de componentes que actúan como moldes de prensado la descripción más cercana es una deslizante sin lubricación por lo que se tiene H8/h9. Una vez determinado el ajuste, mediante una calculadora online de tolerancias se calcula la tolerancia del punzón (eje) y de la matriz (agujero) según las diferentes medidas implicadas en cada molde como se observa en la tabla 29.

Tabla 29. Tolerancia de agujero - eje para las matrices.

Tolerancias para matriz y punzón en [mm]				
Punzón (eje)			Matriz (agujero)	
Diámetro	Medida límite superior	Medida límite inferior	Medida límite superior	Medida límite inferior
200	0,000	-0,115	0,072	0,000


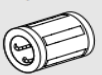
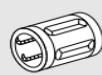
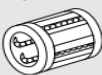
Tolerancias para matriz y punzón en [mm]				
Punzón (eje)			Matriz (agujero)	
Diámetro	Medida límite superior	Medida límite inferior	Medida límite superior	Medida límite inferior
155	0,000	-0,100	0,063	0,000
103	0,000	-0,087	0,054	0,000

2.2.8.5 Ejes guías

La función que cumple este componente es que debe guiar el molde superior abriéndose de manera lineal durante varios ciclos. Además, para poder conectar la matriz superior con los ejes guías se ensambla una placa de acero inoxidable para unir el movimiento del pistón con la matriz superior mientras se conduzca linealmente. Para seleccionar el eje se toma en cuenta las medidas estándares del mercado, en este caso se toma en cuenta a la empresa DIPAC. El material común de estos ejes es de acero inoxidable lo cual es muy eficiente para el proyecto ya que se adapta a la norma técnica y su conducción de calor no es significativa. Al trabajar con temperaturas altas se prefiere emplear materiales que no tengan buena conductividad térmica por el hecho de que puede afectar a los demás componentes. De todas maneras, las líneas guías estarán a una distancia considerable de la fuente de calor máxima.

Investigando en el catálogo un diámetro nominal general de estos ejes es de 1 pulgada, así que se selecciona esta medida. Sin embargo, es un diámetro es un poco ancho por lo cual, mediante el proceso de torneado se reduce el diámetro efectivo a 20 mm para que este diámetro actúe como el eje guía. Para la base se emplean placas cuadradas de acero inoxidable de 50 mm de lado y 15 mm de espesor.

Adicionalmente para lograr la unión de la placa que conecta la matriz con el eje se emplea un rodamiento lineal. En la figura 36, el catálogo de la empresa Rodavigo nos muestra datos para la selección de rodamientos lineales.

	Compactos y eLINE 	Super 	Estándar 	Segmentarios 
Frecuencia de utilización	+++	+++	++	++
Bajos costes	+++	++	++	+++
Montaje especialmente liviano	+++	++	++	++
Dimensiones reducidas	+++	+	+	+++
También anticorrosivos	+++	o	+++	+++
Cargas normales	+++	+++	+++	+++
Cargas altas	++	+++	++	++
Con compensación de errores de alineación	o	+++ ¹⁾	o	o
Deslizamiento especialmente suave	++	+++	++	++
También abiertos	o	+++	+++	o
Altas temperaturas	o	o	+++	o
Gran suciedad	o	o	+++	o
Adecuado para vacío	o	o	+++	o

1) Sólo Super 

+++ muy bien adecuado

++ bien adecuado

+ adecuado

o no se recomienda

Figura 36. Recomendaciones para la correcta elección de rodamiento lineales [112].

Como se observa un rodamiento que se acopla en su mayoría y es más completo para posibles problemas que se encuentran en el proceso es el rodamiento lineal estándar. Si bien el rodamiento seleccionado no es el mejor en algunos aspectos, trabaja de manera eficiente con parámetros del proyecto como lo es cargas altas y normales o altas temperaturas. Por tanto, se selecciona un rodamiento lineal NTN KH2030 de 20 mm.

Cabe mencionar que para conectar los rodamientos con la placa superior por donde traspasará los ejes, se debe manufacturar los soportes de los ejes tipo brida. Adicionalmente en ese tema es primordial el cálculo de las tolerancias del eje guía con el rodamiento.

Con ayuda de la figura 34 se obtiene la tolerancia general, Para este funcionamiento se considera una tolerancia media y con el diámetro efectivo de 20 mm se escoge una tolerancia de $\pm 0,20$ mm.

Para poder conocer las tolerancias de agujero – eje del eje guía con el rodamiento se toma como referencia el ajuste recomendado por el sistema ISO que se muestra en la figura 35. Como su descripción mismo lo detalla se escoge un deslizante con ajuste ordinario. Por lo que se tiene H11, h11.

Una vez determinado el ajuste, mediante una calculadora online de tolerancias se calcula la tolerancia según las diferentes medidas implicadas, como se observa en la tabla 30.

Tabla 30. Tolerancia de agujero - eje para los ejes guías.

Tolerancias para eje guía y rodamiento [mm]				
Eje guía			Rodamiento lineal	
Diámetro	Medida límite superior	Medida límite inferior	Medida límite superior	Medida límite inferior
20	0,000	-0,130	0,130	0,000

2.2.8.6 Diseño estructural

Según [113] para la población ecuatoriana una altura adecuada para el área de trabajo en escritorios y mesas de oficina es de 740 ± 20 mm. Se toma como referencia esta norma NTE INEN 1641 ya que se acerca a lo planteado en el proyecto. Según la norma se tiene esa altura debido a que es una mesa fija donde el obrero pasará la mayoría de tiempo sentado como se observa en la figura 37.

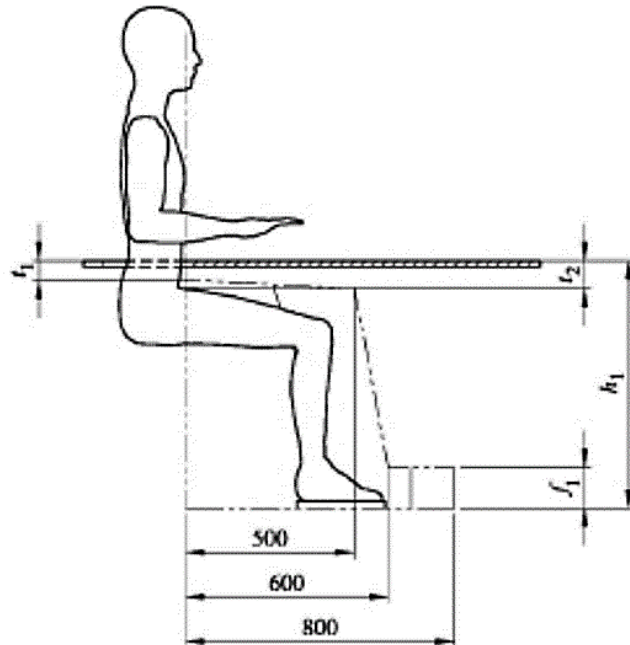


Figura 37. Dimensiones para altura y espacio de piernas para mesas de trabajo con bordes delanteros rectos [113].

El espacio para piernas se cumple debido a que no se tiene un límite en la estructura del proyecto, es una estructura abierta por lo que se cumple con el espacio requerido. Por lo tanto, para la altura de trabajo de la estructura se toma un valor de 760 mm.

Diseño de placa base

El material con el que se realiza la placa base que va debajo de la matriz inferior es de acero ASTM A36, no hace falta un material específico dado por la norma NTE INEN-EN 1672-2 ya que no estará en contacto directo con el producto del plato biodegradable. Lo que si es necesario tener en cuenta es que no sea un acero galvanizado ya que la norma prohíbe este recubrimiento cuando se trabaja con alimentos.

La placa base es el soporte tanto de la matriz inferior como de los ejes guías por lo cual debe tener dimensiones que abarquen estos elementos por lo que se recomienda una placa de 430 mm x 300 mm.

Para obtener el espesor necesario se toma en cuenta la fuerza máxima que llega a ceder el cilindro neumático. Según el catálogo del proveedor la presión máxima de trabajo del cilindro de 63x250 mm es de 1 MPa (10 bar) por lo que la fuerza es de 3 117 [N] según la figura 20. Esto se transforma en presión (fuerza / área) para el análisis y se tiene una presión de 0,0242 MPa.

Para el análisis la placa estará sobre dos soportes fijos, ya que se apoya sobre dos canales en U y se asigna la presión como se observa en la figura 38.

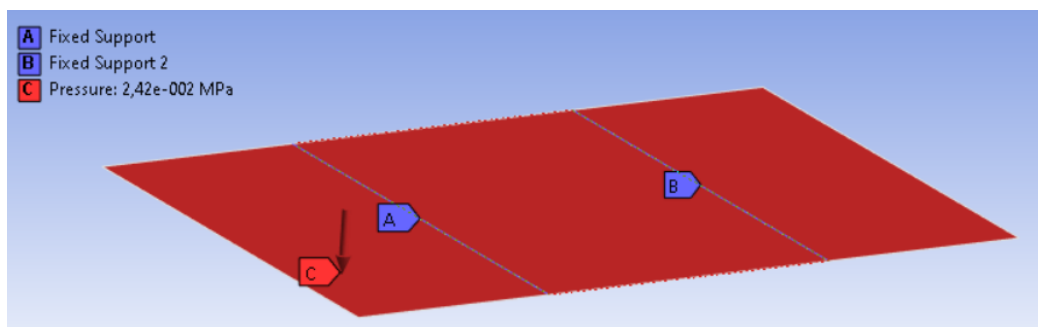


Figura 38. Simulación de placa base.

Para poder determinar un espesor de la placa óptimo se realiza varios análisis con distintos valores de espesores. Se toma en cuenta parámetros como la deformación máxima, el esfuerzo equivalente máximo y el factor de seguridad mínimo que se tiene. Además, como la máquina trabaja por ciclos de prensado se toma en cuenta el análisis a fatiga, su vida útil y su factor de seguridad como se observa en la tabla 31.

Tabla 31. Análisis de placa base con distintos espesores.

Número de análisis	Surface Thickness [mm]	Total Deformation Maximum [mm]	Equivalent Stress Maximum [MPa]	Safety Factor Minimum	Life Minimum (cycles)	Safety Factor Minimum (Fatigue)
1	15,0000	0,0145	4,2499	15,0000	1000000	15,0000
2	10,0000	0,0484	9,5495	15,0000	1000000	9,0266
3	8,0000	0,0944	14,9118	15,0000	1000000	5,7806
4	6,0000	0,2233	26,4936	9,4362	1000000	3,2536
5	4,0000	0,7523	59,5769	4,1962	1000000	1,4468
6	3,0000	1,7822	105,8892	2,3609	305901,903	0,8140
7	2,0000	6,0122	238,2045	1,0495	13855,9043	0,3618

Como se observa con 4 mm de espesor se tiene factores de seguridad y deformaciones aceptables, pero por temas de ensamble de matriz inferior a la placa base, así como también las líneas guías y acoplar la placa base a la estructura mediante pernos se opta por un espesor de 5 mm. Por tanto, las dimensiones de la placa base son 430 mm x 300 mm x 5 mm, teniendo un comportamiento adecuado y resistente.

Placa superior

Por motivo de emplear la misma plancha de acero ASTM A36 se tiene un espesor de 5 mm pero por motivos de altura y acople exacto para la carrera del cilindro se opta por una altura de 30 mm. Esta placa tiene la función de unir el movimiento del vástago del cilindro neumático con la matriz superior y además se acopla a los ejes guías. Cabe resaltar que esta placa no actúa como base por lo que no debe ser muy ancha, por tanto, sus dimensiones son 430 mm x 60 mm x 30 mm.

Cálculo de cargas

- Carga muerta (D)

La carga muerta está contemplada por el peso de la misma estructura (en el análisis se toma en cuenta empleando los perfiles de la tabla 32), pero también de los distintos accesorios y terminados que se acopla a la misma estructura metálica. Los pesos conocidos de los distintos accesorios se detallan en la tabla 33.

Tabla 32. Descripción de perfiles de la estructura.

Detalle	Perfil	Material
Estructura / Mesa	Tubo Cuadrado 40x40x3 mm	Acero ASTM A36
Soporte de cilindro neumático	Canal U 125x50x4 mm	Acero ASTM A36
Soporte de matriz inferior	Canal U 50x25x3 mm	Acero ASTM A36
Soportes inferiores	Tubo Cuadrado 20x20x1.2 mm	Acero ASTM A36

Tabla 33. Pesos de distintos accesorios de la máquina.

Accesorio	Peso (kg)
Cilindro neumático	3,70
Matriz Superior	2,58
Matriz Inferior	2,05
Placa base	5,16
Placa superior	6,11
Ejes guía (2)	2,83
Dispensador de granos	1,50
Unidad de mantenimiento	0,70
Válvulas distribuidoras (3)	0,68
Resistencias	0,80
Caja de control eléctrico	8,00
Controlado PID temperatura	0,36
SUMA	34,47

Accesorio	Peso (kg)
10 % (mangueras, cables, pernos, etc.)	3,45
TOTAL	37,92

El peso total de los terminados es de 37,92 kg y tomando en cuenta el peso de la estructura (46,47 kg) se obtienen el factor de mayoración de la carga muerta mediante la ecuación 14.

$$F_M = \frac{P_{ES} + P_{TER}}{P_{ES}} \quad Ec. (14)$$

Donde:

- F_M corresponde al factor de mayoración de la carga muerta [adimensional].
- P_{ES} corresponde al peso de la estructura en kilogramos [kg].
- P_{TER} corresponde al peso de los terminados en kilogramos [kg].

Por tanto, una vez realizada la operación de la ecuación 14 se tiene un factor de mayoración igual a 1,82. La carga muerta total es de 84,58 [kg] o 829,68 [N].

- **Carga viva debido a ocupación (L)**

Para la estructura del proyecto la carga debido a la ocupación llega a ser la carga del prensado o como se calcula anteriormente es la carga máxima que llega a ejercer el cilindro neumático que es de 3 117 [N].

- **Carga viva de instalación (Lr)**

Debido a que la estructura no contiene un grado alto de complejidad, solo se necesita una persona que se apoya sobre el área de trabajo para instalar el cilindro neumático y el perfil más alto, o a su vez dos personas. El peso promedio de una persona ecuatoriana es de 65 kilogramos por lo que la carga viva de este literal es de 637,65 [N], pero como se emplean dos personas se tiene un total de 1 275,30 [N].

Combinaciones de carga

Para realizar el análisis y las combinaciones de carga se toma como referencia el método LRFD (Load and Resistance Factor Design), las combinaciones son:

1. $U=1.4D$
2. $U=1.2D+1.6L+0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
3. $U=1.2D+1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) +(L^* \text{ o } 0.5W)$
4. $U=1.2D+1.0W+L^*+0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
5. $U=1.2D+1.0E+L^*+0.2S$
6. $U=0.9D+1.0W$
7. $U=0.9D+1.0E$

Donde U (carga de diseño), D (carga muerta), L (carga viva debido a ocupación), L_r (carga viva de instalación), S (carga de nieve), R (carga de lluvia), W (carga de viento) y E (carga de sismo).

El * representa el valor de 1 para cargas vivas mayores a 100 lb/pie² o para pisos de reuniones públicas o estacionamientos mientras que para otras cargas se toma el valor de 0,5.

El presente proyecto se construye para una habitación cubierta (laboratorio) por tanto no se tiene carga de nieve, lluvia, viento y sismo, por lo que las combinaciones quedan:

1. $U=1.4D$
2. $U=1.2D+1.6L+0.5L_r$
3. $U=1.2D+1.6L_r+L$
4. $U=1.2D+L+0.5L_r$
5. $U=1.2D+L$
6. $U=0.9D$
7. $U=0.9D$

Evaluando cada combinación se tienen los siguientes resultados:

Tabla 34. Resultado de las combinaciones de cargas.

Combinación	Resultado [N]
1	1161,55
2	4594,60
3	7258,12
4	3829,42
5	2270,92
6	746,71
7	746,71

Como se observa, según el análisis de las combinaciones del método LRFD, se tiene que la carga factorizada que rige para el diseño es la combinación 3 con 7 258,12 [N]. Por tanto en la figura 39 se evidencia la configuración que se da a la estructura del actual proyecto.

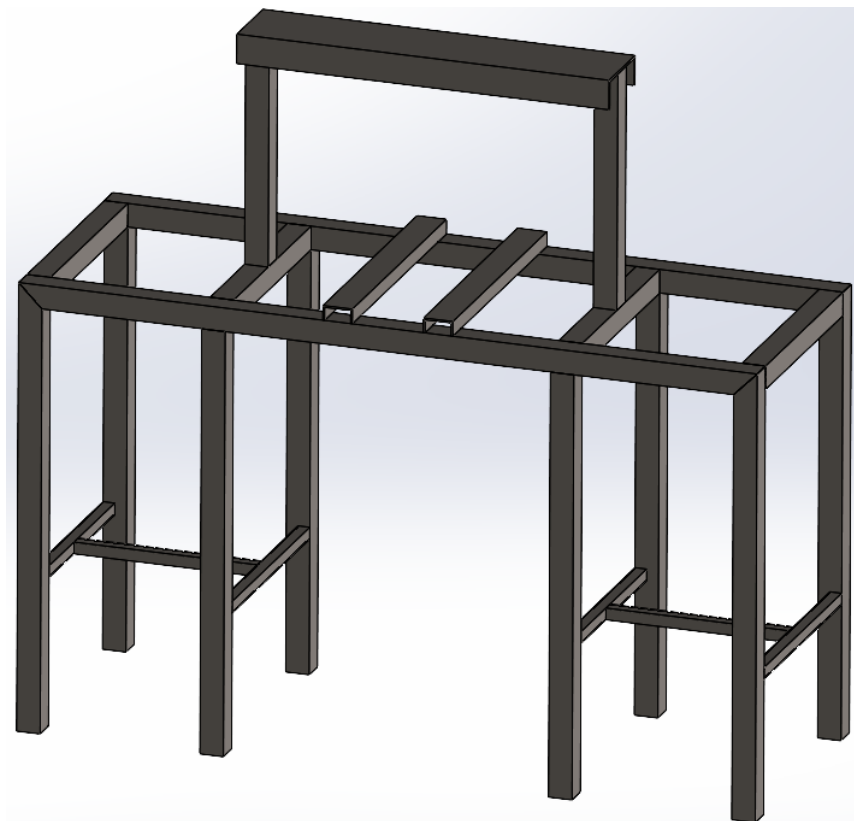


Figura 39. Configuración de la estructura del proyecto.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

Para examinar la metodología histórica-lógica junto con la observación y comparación se tiene que el actual proyecto está basado en diversos mecanismos de prensado. Adicional a esto en el capítulo anterior se realiza un estudio para conocer las mejores alternativas de diseño dando como resultado final un diseño que contiene los siguientes sistemas: encendido semiautomático, calentamiento mediante resistencias eléctricas, el sistema de prensado se basa en un cilindro neumático y para realizar los cortes se tiene un punzonado.

En cuanto al hipotético-deductivo se tiene un prototipo de máquina a la cual se puede realizar cambios a las variables de temperatura, presión de prensado y tiempo. Las variables anteriormente mencionadas son relevantes debido a que al modificarlas, se puede o no tener un mejor resultado al momento de elaborar el plato biodegradable.

El proceso de diseño se menciona en el capítulo anterior, se realiza mediante un software especializado como lo es Solidworks para tener mayor facilidad al momento de realizar cambios o mejoras. En la figura 40 se evidencia un digitalizado del diseño final lo más asemejado posible a la máquina construida.

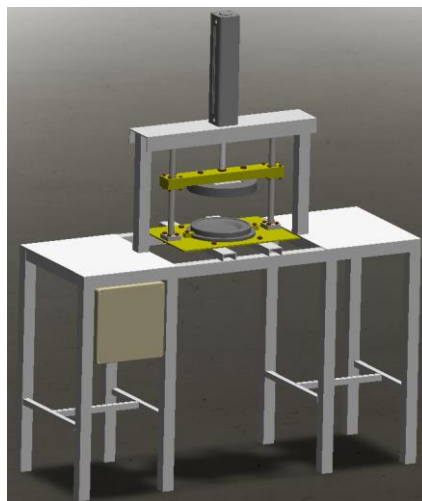


Figura 40. Diseño final de la máquina para elaborar platos biodegradables.

Este apartado hace énfasis en la simulación por elementos finitos mediante el software ANSYS para comprobar si el diseño realizado resiste las diversas cargas que la máquina soporta al momento del funcionamiento y cómo se comportan algunos componentes con relación a la temperatura. El análisis se realiza en los distintos componentes críticos como lo son:

3.1.1 Temperatura en las resistencias eléctricas

El dato relevante para conocer en este componente es el tiempo en que se demora la resistencia para llegar al valor indicado en el controlador de temperatura PID. El material del componente es de acero inoxidable AISI 304, la potencia mencionada por el fabricante es de 500 W, y teniendo un volumen de 100x100x4 mm, es decir de 40000 mm³, se tiene una generación interna de calor de 0,0125 W/mm³. El dato anteriormente mencionado se coloca en el software ANSYS y mediante un análisis térmico transitorio se obtiene los segundos en que llega a cierta temperatura en °C (se toma como temperatura ambiente los 20 °C). Adicionalmente se emplea la transferencia de calor por convección de la resistencia eléctrica con el medio que en este caso es el aire (coeficiente de convección de 5 W/m².°C).

Temperatura en toda la resistencia

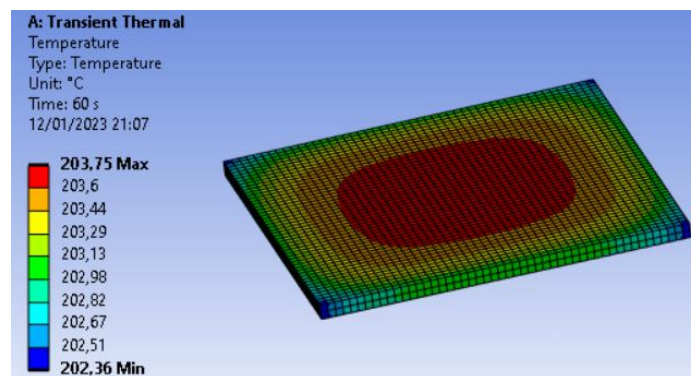


Figura 41. Distribución de la temperatura en la resistencia a los 60 segundos.

Como se evidencia en la figura 41, al obtener los resultados de todo el componente en promedio se alcanza una temperatura de 200 °C a los 60 segundos, lo que indica suponer que en la mayoría del componente se da una temperatura similar según el

código de colores. Se toma en cuenta el dato de aproximadamente 200 °C porque se prevé que sea la temperatura máxima que alcance la resistencia al esperar un lapso de 1 minuto.

Temperatura en zona de interés

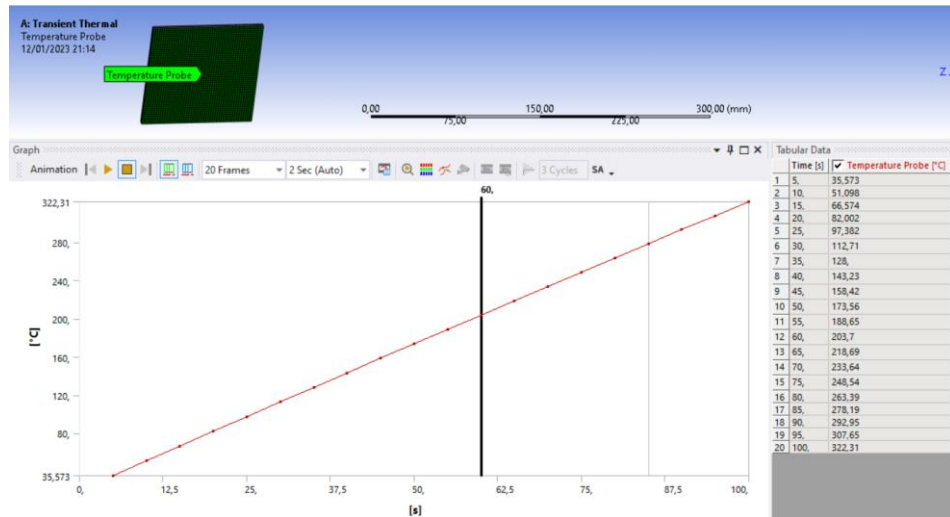


Figura 42. Temperatura con relación al tiempo en la zona de contacto con el molde.

En la figura 42 se evidencia una gráfica sobre la resistencia eléctrica Temperatura (°C) VS Tiempo (s), dicha gráfica sirve para tener una idea sobre el tiempo que se debe esperar para que la resistencia llegue a una temperatura deseada. Dando como resultado una relación directamente proporcional entre la temperatura y el tiempo. Por ejemplo si se desea llegar a los 100 °C, supuestamente se debe esperar alrededor de 25 segundos; si se desea llegar a mayor temperatura como los 128 °C, se espera alrededor de 35 segundos.

3.1.2 Temperatura en los moldes

Un dato importante por conocer es el tiempo en que la temperatura de las resistencias trasciende y llega a las superficies de los moldes que están contacto con la materia prima. Para conocer el tiempo, se han hecho simulaciones con posibles datos de temperaturas que se emplean en las pruebas reales, teniendo así un rango de temperatura de 80-170 °C para la matriz superior e inferior.

Para la simulación en ANSYS se emplea de igual manera un análisis térmico transitorio, se toma como temperatura ambiente los 20 °C. El componente de la resistencia se reemplaza por una carga térmica en la superficie cuadrada, simulado la transferencia de calor por conducción de la resistencia eléctrica a la respectiva matriz y a su respectivo valor de temperatura. Adicionalmente se emplea la transferencia de calor por convección de cada matriz con el medio que en este caso es el aire (coeficiente de convección de 5 W/m².°C). Se debe recordar que el material de las matrices es de aleación de aluminio 6063.

- **Matriz superior**

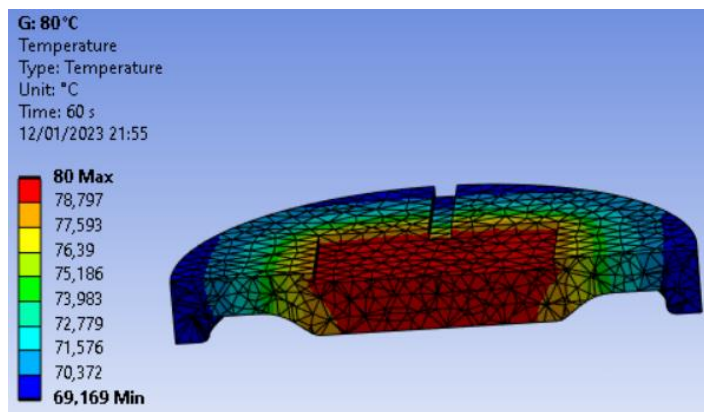


Figura 43. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (80 °C).

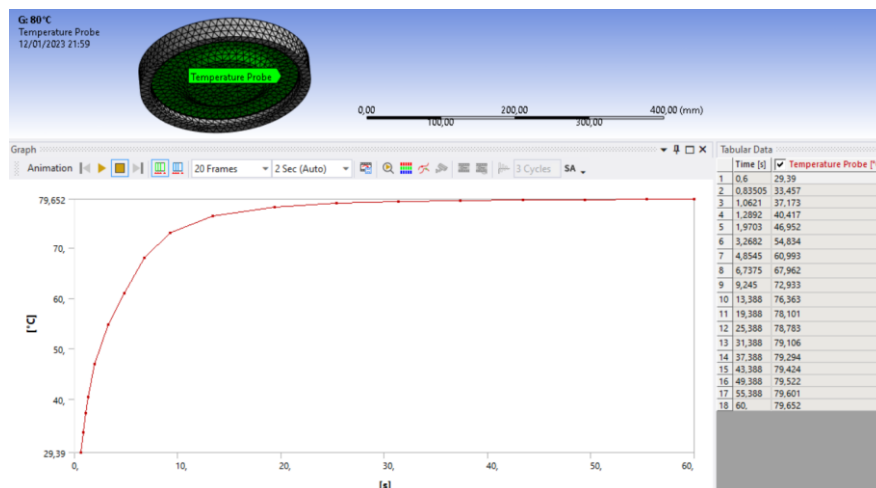


Figura 44. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 80°C.

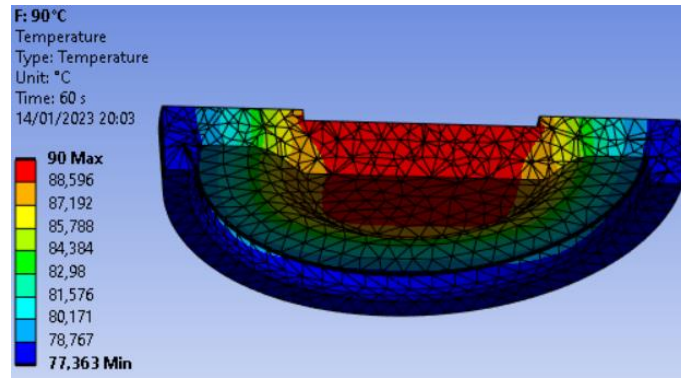


Figura 45. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (90 °C).

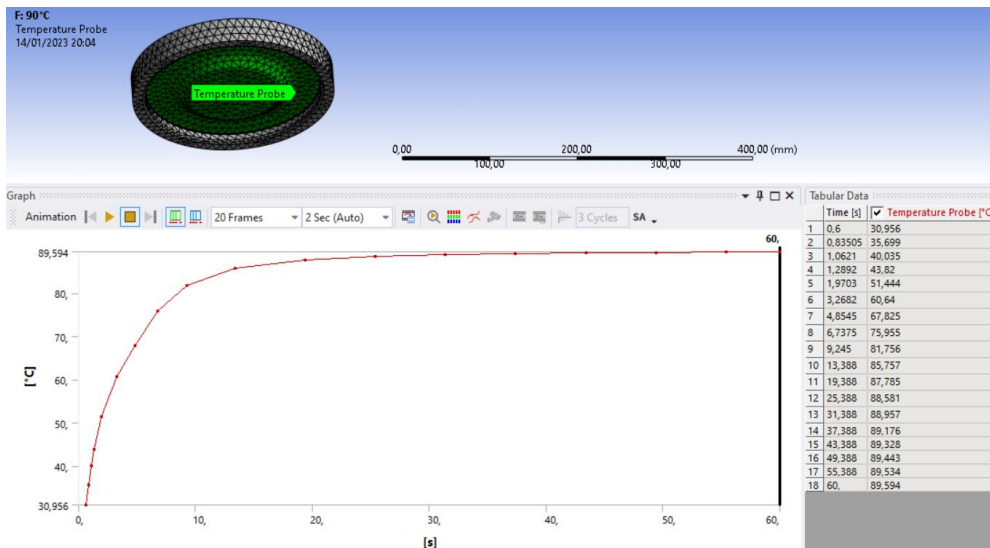


Figura 46. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 90°C.

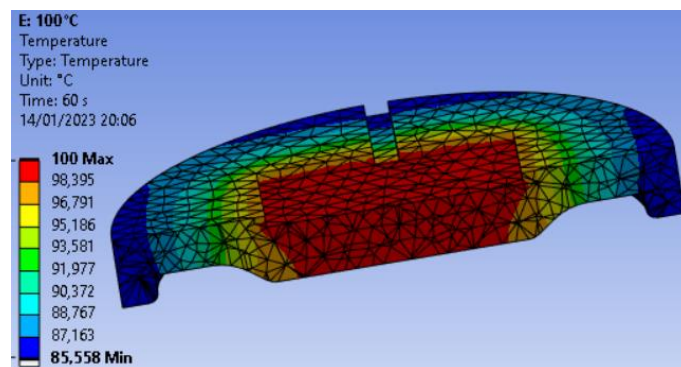


Figura 47. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (100 °C).

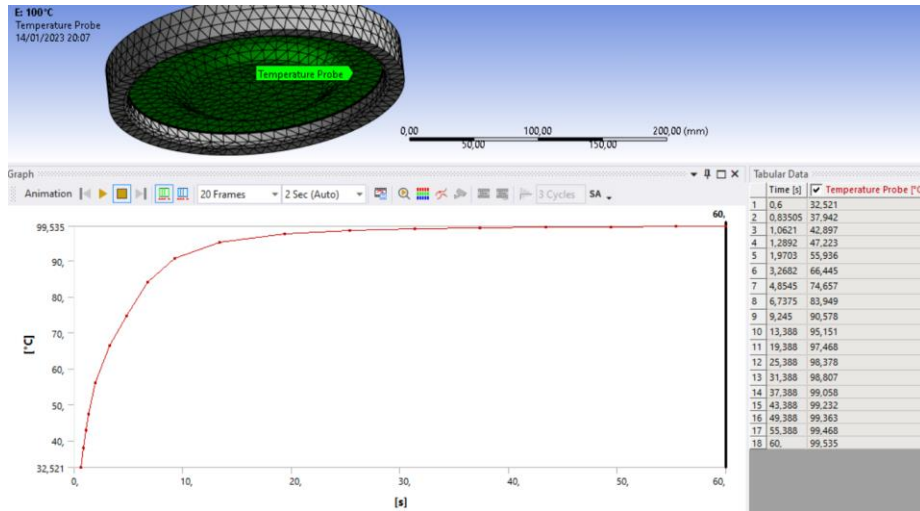


Figura 48. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 100°C.

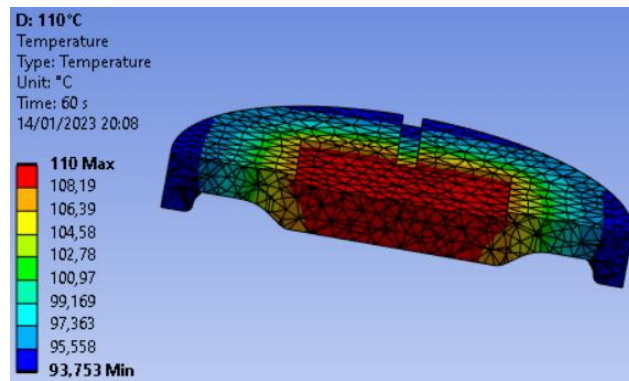


Figura 49. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (110 °C).

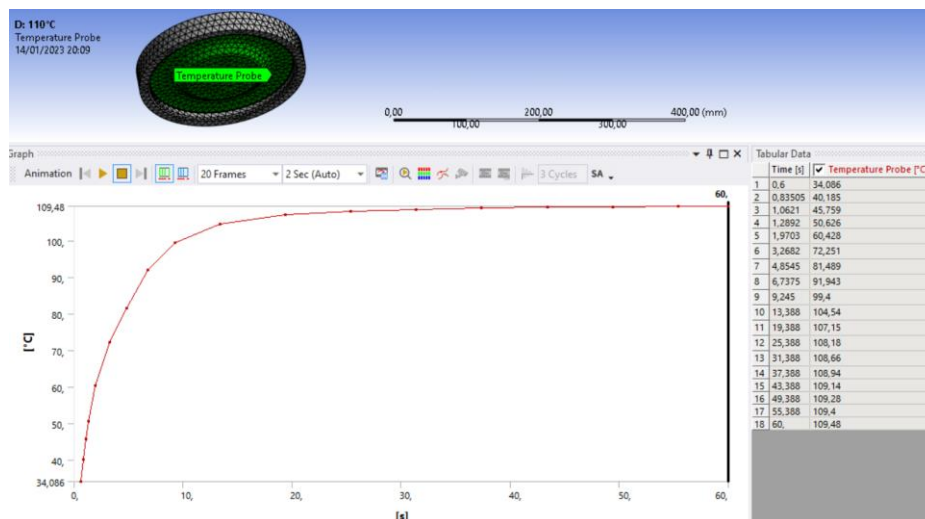


Figura 50. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 110°C.

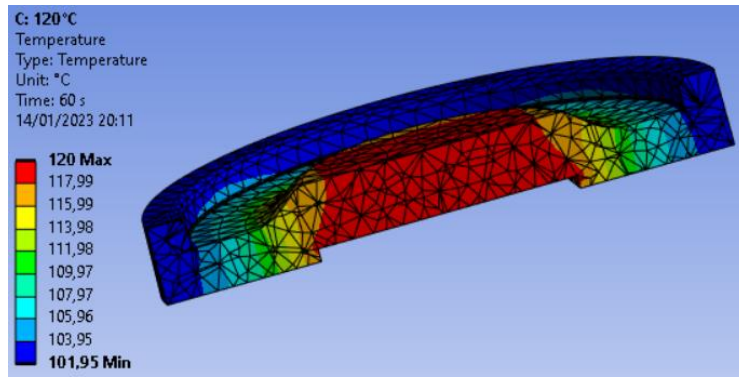


Figura 51. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (120 °C).

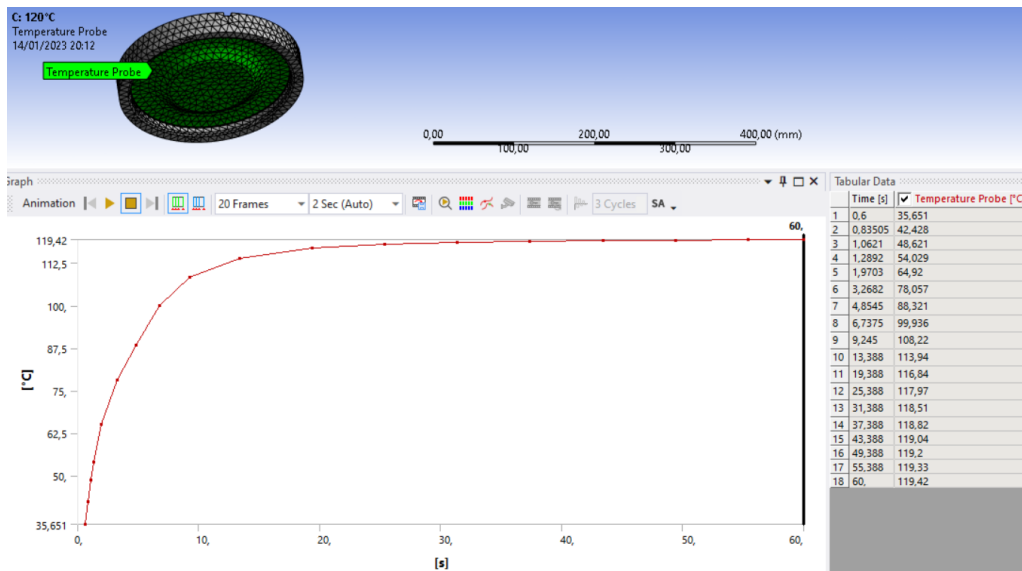


Figura 52. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 120°C.

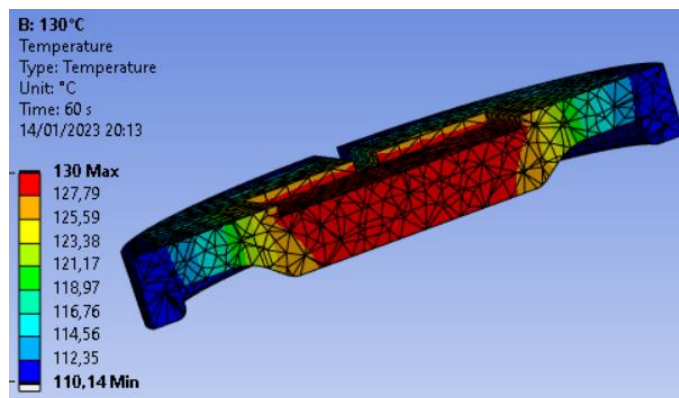


Figura 53. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (130 °C).

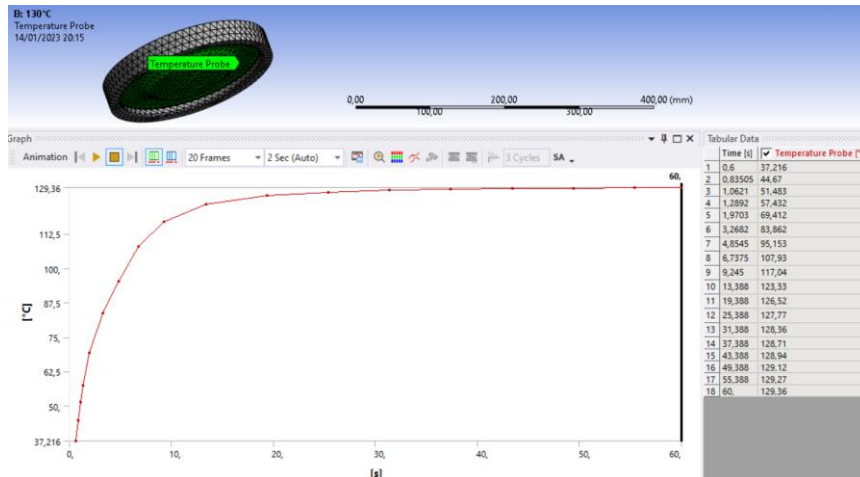


Figura 54. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 130°C.

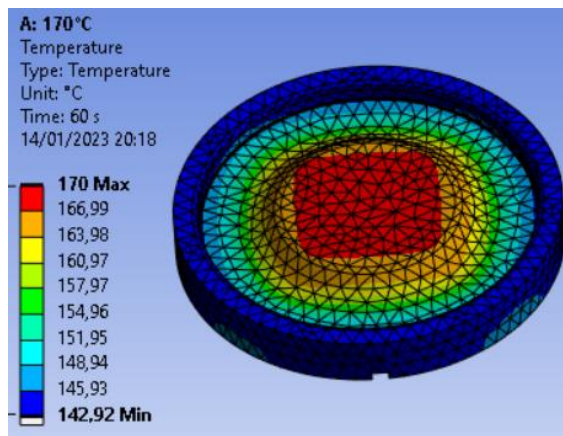


Figura 55. Distribución de la temperatura en la matriz superior a los 60 segundos (170 °C).

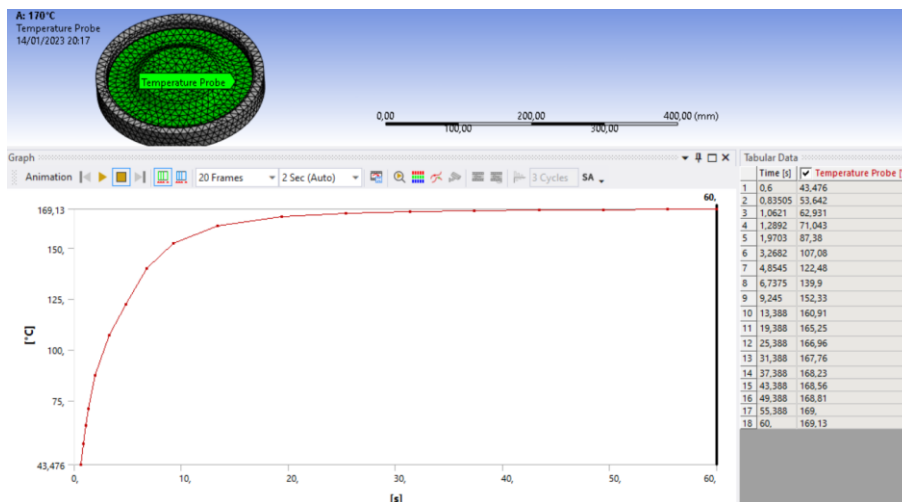


Figura 56. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 170°C.

Como se evidencia en las figuras 43 hasta la 56 la distribución de la temperatura no es uniforme ya que en la parte de la resistencia eléctrica llega con mayor rapidez a la temperatura deseada o programada mientras que en los alrededores (bordes) de la matriz aún se mantiene un valor poco alejado de lo deseado.

No obstante, la superficie de interés es la que tiene contacto directo con la materia prima por tanto con la ayuda de una temperatura de prueba se toma el plano de interés y dependiendo la temperatura deseada se llega en mayor o menor tiempo. Para analizar en un valor concreto se toma en un lapso de 1 minuto y se evidencia que con todas las temperaturas simuladas se tiene un valor de temperatura aceptado, ya que se aproxima mucho a la temperatura programada.

Se conjetura que a mayor temperatura por alcanzar existe una mayor variación del valor ideal al valor real en 1 minuto. Siendo la temperatura de 170 °C la que mayor varia con un resultado final de 169,13 °C lo que significa un error del 0,51%, siendo un valor aceptado. Por tanto a menores temperaturas por alcanzar, el valor de error irá disminuyendo.

- **Matriz inferior**

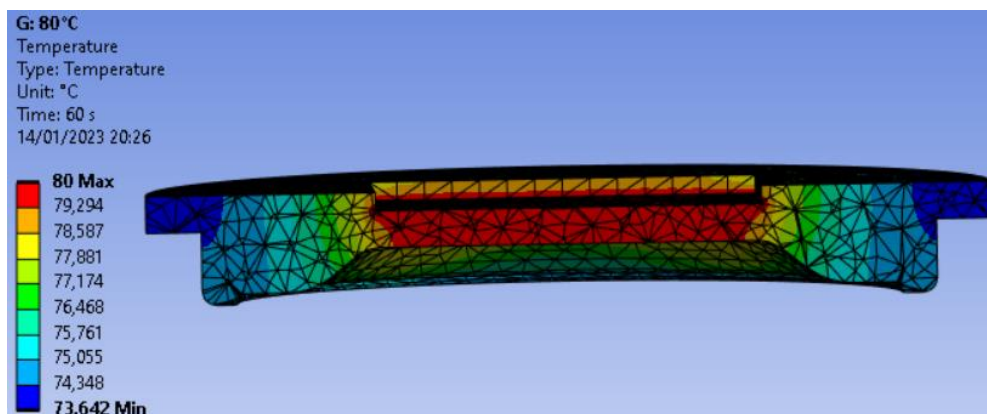


Figura 57. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (80 °C).

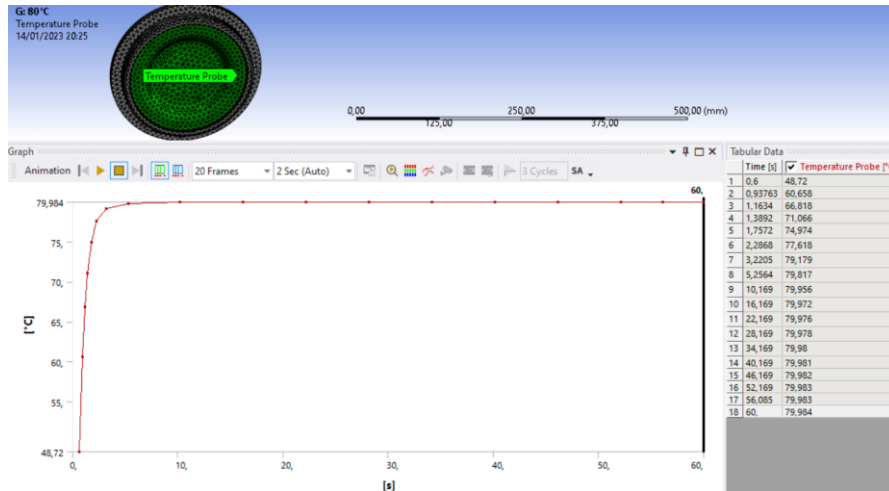


Figura 58. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 80°C.

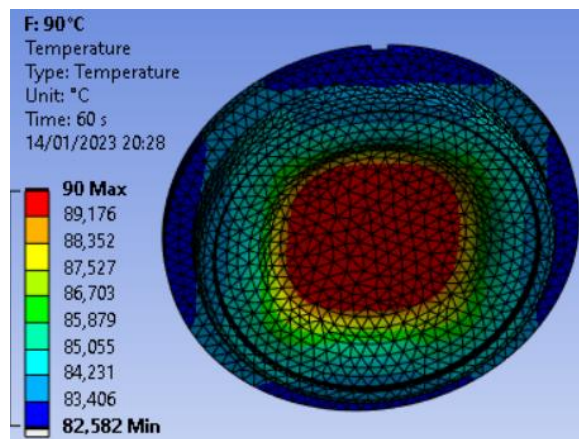


Figura 59. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (90 °C).

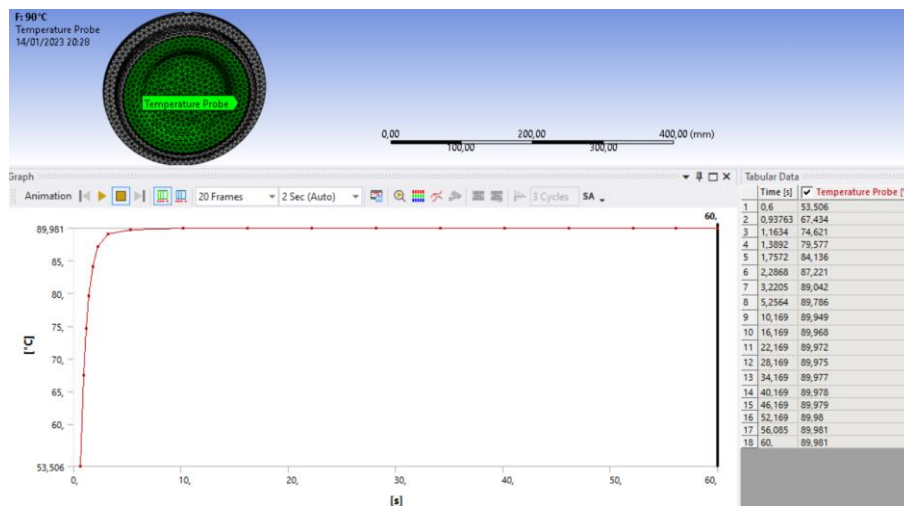


Figura 60. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 90°C.

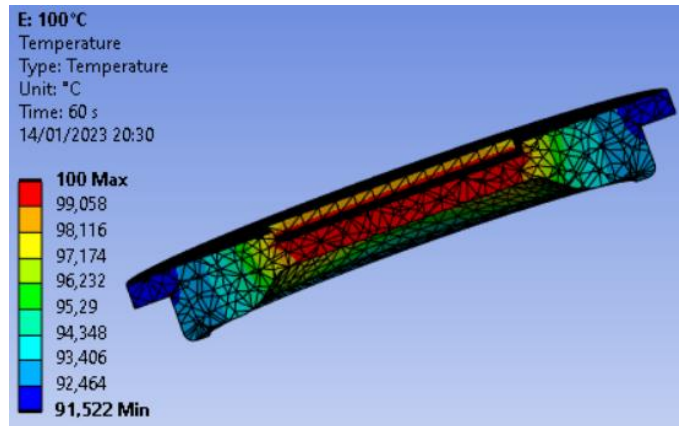


Figura 61. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (100 °C).

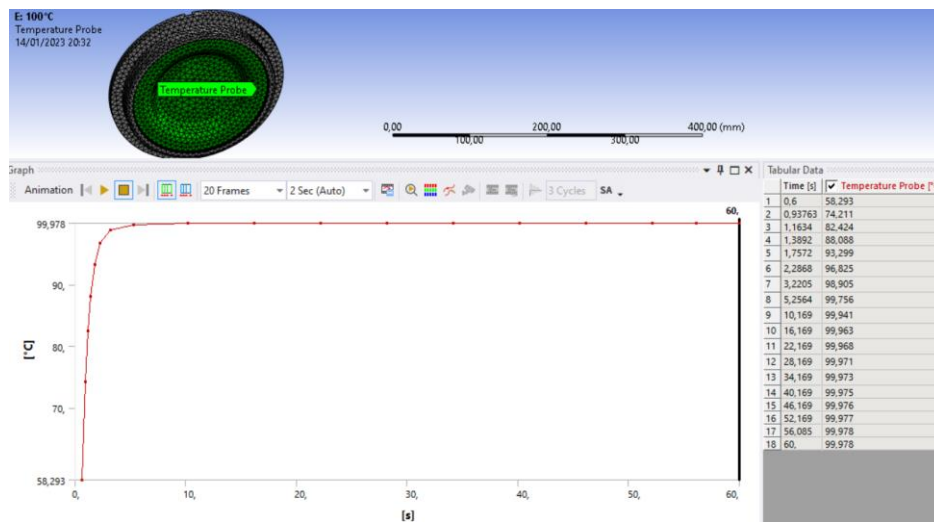


Figura 62. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 100°C.

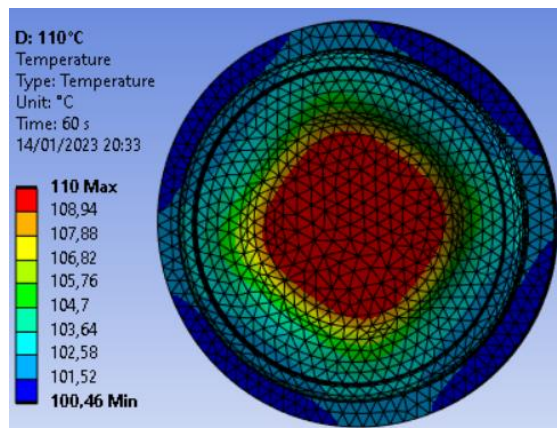


Figura 63. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (110 °C).

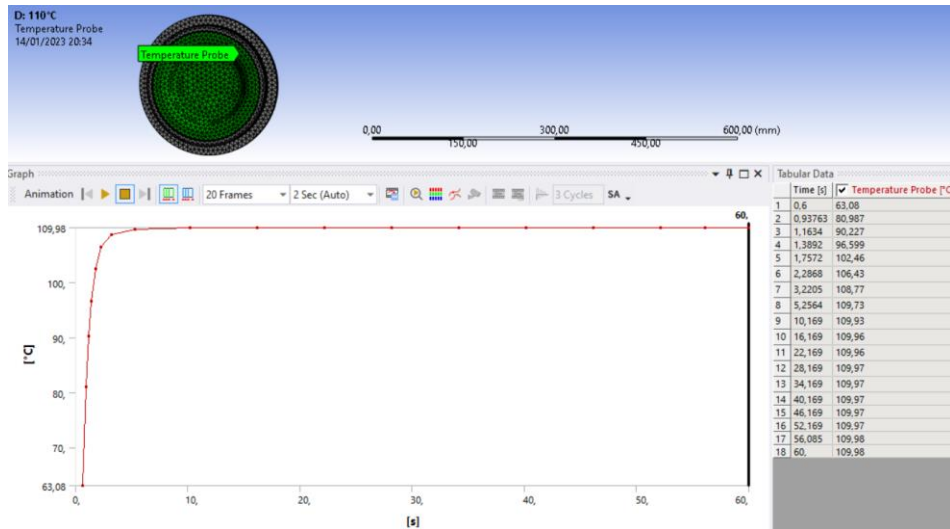


Figura 64. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 110°C.

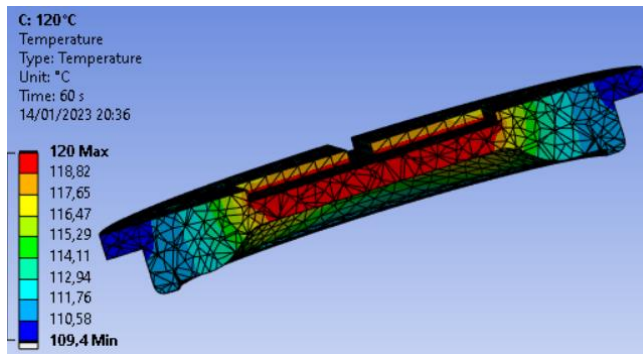


Figura 65. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (120 °C).

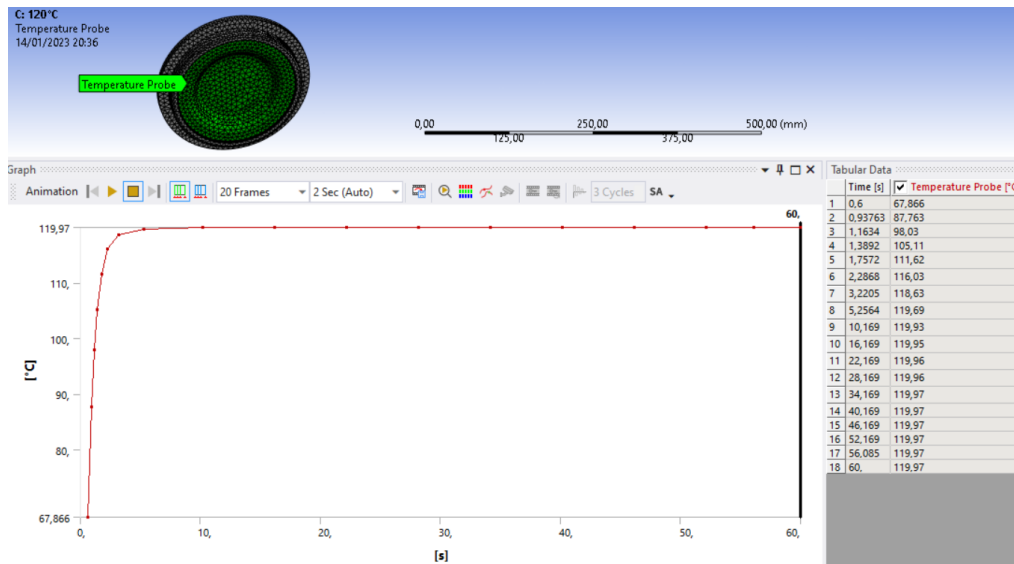


Figura 66. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 120°C.

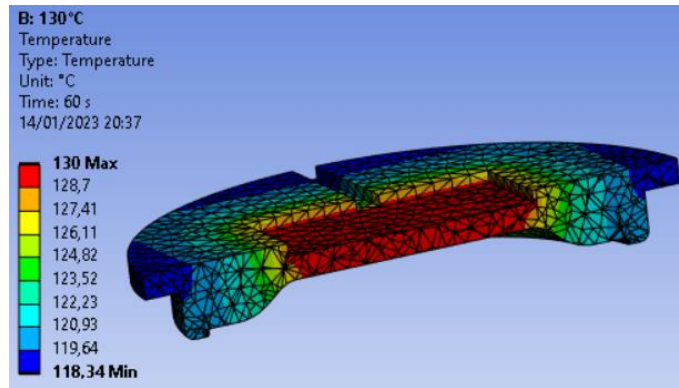


Figura 67. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (130 °C).

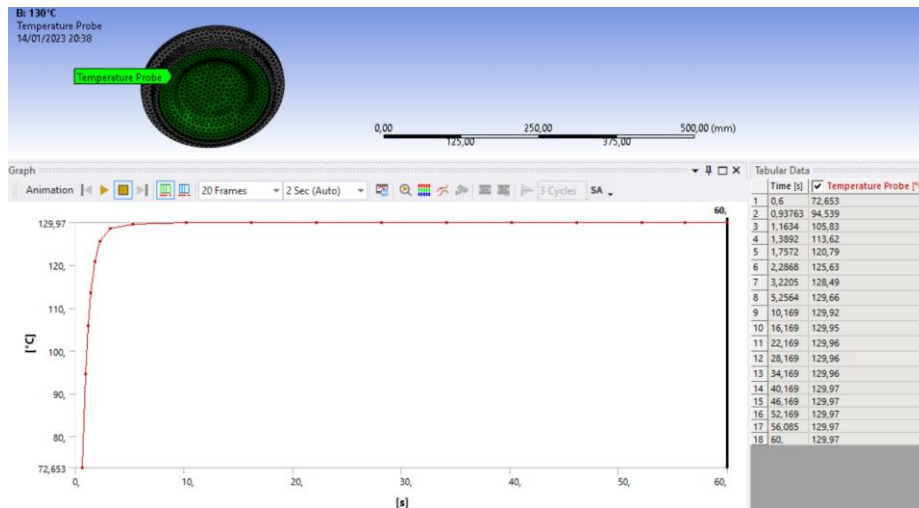


Figura 68. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 130°C.

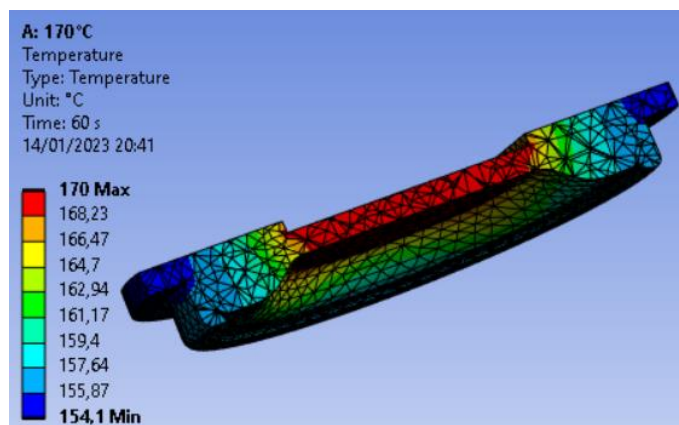


Figura 69. Distribución de la temperatura en la matriz inferior a los 60 segundos (170 °C).

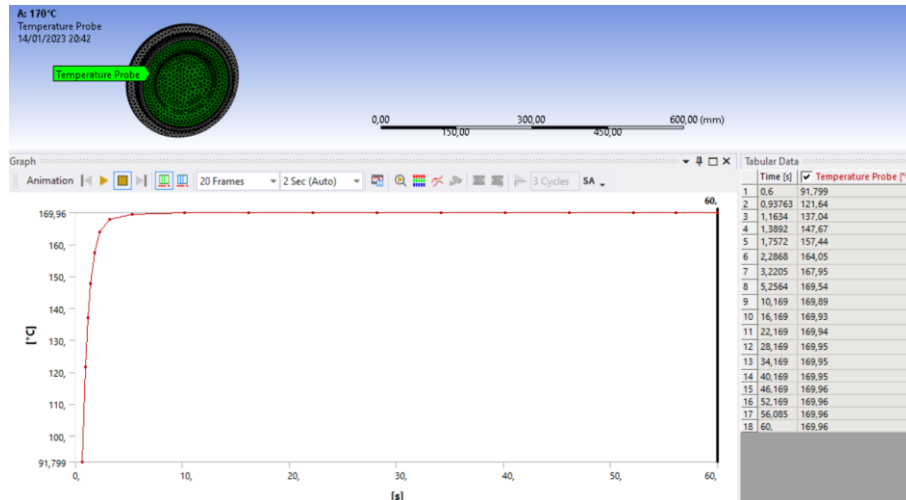


Figura 70. Tiempo estimado en que la superficie de interés alcanza los 170°C.

De igual forma, como se evidencia en las figuras 57 hasta la 70 la distribución de la temperatura no es uniforme ya que en la parte de la resistencia eléctrica llega con mayor rapidez a la temperatura deseada o programada mientras que en los alrededores (bordes) de la matriz aún se mantiene un valor poco alejado de lo deseado.

No obstante, la superficie de interés es la que tiene contacto directo con la materia prima; por medio de una temperatura de prueba se toma el plano de interés y dependiendo la temperatura deseada, se llega en mayor o menor tiempo. Se analiza en un lapso de 1 minuto y se evidencia que con todas las temperaturas simuladas se tiene un valor de temperatura aceptado, con la diferencia de que llega en menor tiempo a dicho valor en comparación a la matriz superior. Esto se debe a que la matriz inferior contiene mucho menos volumen que la superior lo que genera que la transferencia de calor sea mucho más rápida.

En este caso la variación del valor ideal al valor real en 1 minuto es menor que en los valores demostrados en la matriz inferior ya que tiene más segundos en llegar al valor programado. Siendo la temperatura de 170 °C la que mayor varía con un resultado final de 169,96 °C lo que significa un error del 0,02%, siendo un valor aceptado. De igual manera, a menores temperaturas por alcanzar, el valor de error irá disminuyendo. Además de que se asume que a mayor tiempo, más cercanos estarán los valores a la temperatura deseada. En este caso como la conexión de las resistencias eléctricas se

realizan en paralelo se tiene que tomar el mismo tiempo de espera, tanto en la matriz superior como la inferior. Perceptiblemente la matriz inferior se calentará con mayor rapidez pero al llegar al minuto las dos matrices rozan el valor programado.

En consecuencia, una vez encendido el sistema de calentamiento se debe esperar el tiempo que la figura 42 analiza según la temperatura que se quiere llegar con la resistencia eléctrica (valor concreto de 1 minuto) y a esto sumar el minuto de calentamiento de la superficie en contacto de la materia prima de los moldes; por lo que se debe esperar un valor ideal óptimo de 2 minutos hasta llegar al objetivo.

3.1.3 Análisis a compresión

Para el análisis en ANSYS, se analiza en condiciones extremas por lo que se toma la mayor fuerza que puede soportar el cilindro neumático que es de 3 117 [N]. Adicionalmente se idealiza que está en funcionamiento por lo que se coloca una carga térmica a todas las matrices (temperatura extrema de 170 °C). Para la placa de soporte inferior no es necesario poner una carga térmica ya que se supone que las resistencias eléctricas y las matrices se aíslan de los demás componentes mediante la mica de fibra de vidrio.

Se usa un análisis estructural transitorio debido a que la presión se puede regular lo que hace que el cilindro neumático ejerza diferente fuerza y por ende distintas presiones a lo largo del funcionamiento de la máquina. Como la máquina prensa varias veces con un comportamiento cíclico se analiza también a fatiga. Se prevé que el tiempo máximo que la máquina se quede prensando es de 10 minutos por lo que será otra condición extrema por tomar en cuenta.

- **Matrices unidas**

Se analiza a las matrices de esta manera (juntas) debido a que cuando se unen y prensan es cuando soportan la fuerza neumática establecida, siendo el punto de mayor análisis. Una vez unidos los componentes se incluye un soporte fijo en la matriz inferior, y se

coloca la fuerza del cilindro en forma de presión (Fuerza/Área), el área de interés se toma un aproximado del plano circular que tiene contacto con el vástago del cilindro, es decir, la superficie circular de la matriz superior (Diámetro de 23cm) teniendo un área de 415,48 cm². Por ende se tiene una presión extrema de 75 022,45 [Pa]. A esto se le suma la carga térmica extrema de 170 °C. El material de los moldes es aleación de aluminio 6063.

Deformación total

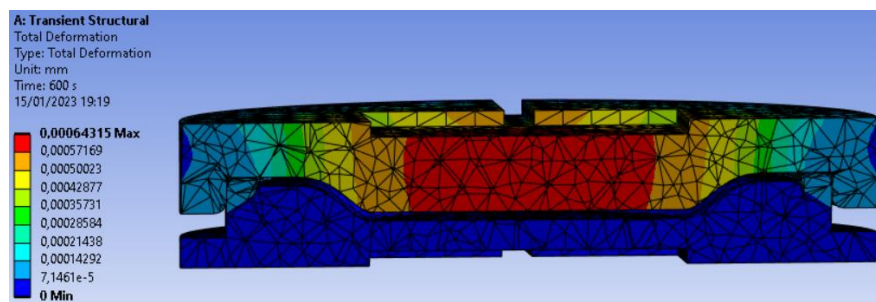


Figura 71. Deformación total de las matrices unidas sometidas a compresión.

Se observa en la figura 71 que la deformación total que presentan los moldes al momento de funcionar con la presión y el tiempo máximos, además de las otras condiciones, tiene un valor de 0,00064 mm como valor máximo, siendo un valor aceptado.

Deformación direccional (eje Y)

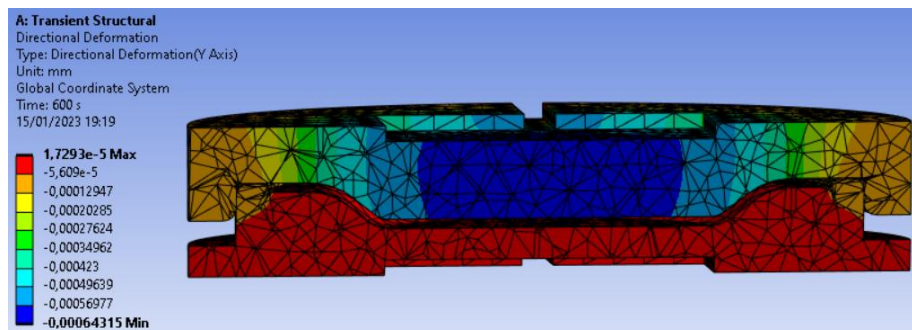


Figura 72. Deformación direccional (eje Y) de las matrices unidas sometidas a compresión.

Se observa en la figura 72 que la deformación en la dirección del eje Y (altura) que presentan los moldes al momento de funcionar con la presión y el tiempo máximos, además de las otras condiciones, tiene un valor crítico de $-0,00064$ mm, indicando que existe deformación hacia abajo siendo similar a la deformación total y aceptando el valor.

Esfuerzo equivalente (Von-Mises)

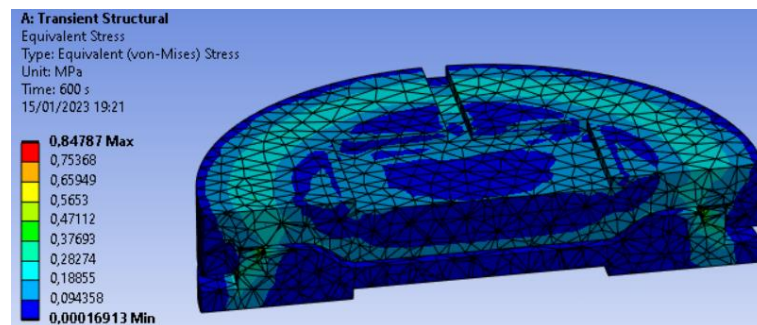


Figura 73. Esfuerzo equivalente de Von Mises de las matrices unidas sometidas a compresión.

Se observa en la figura 73 que el esfuerzo equivalente de Von Mises que presentan los moldes al momento de funcionar con la presión y el tiempo máximos, además de las otras condiciones, tiene un valor crítico de $0,85$ MPa siendo un valor aceptado.

Factor de seguridad

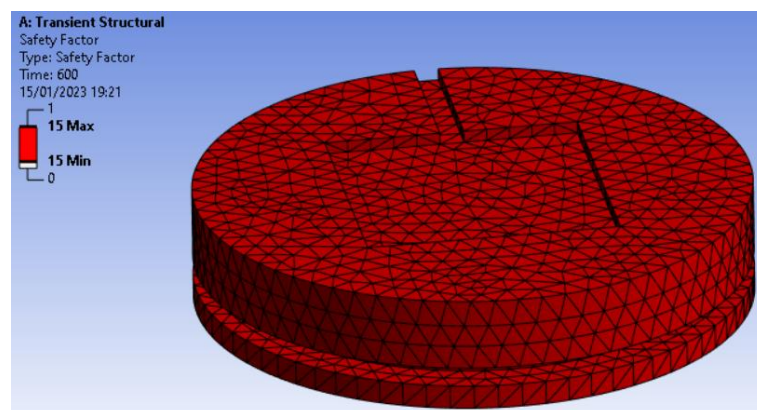


Figura 74. Factor de seguridad de las matrices unidas sometidas a compresión.

Se observa en la figura 74 que según el esfuerzo equivalente de Von Mises que presentan los moldes al momento de funcionar, se tendría un valor de factor de seguridad (resistencia a la fluencia / esfuerzo máximo) de 170,59 pero el software da como máximo valor un factor de seguridad de 15, siendo un valor aceptado.

Fatiga – Vida

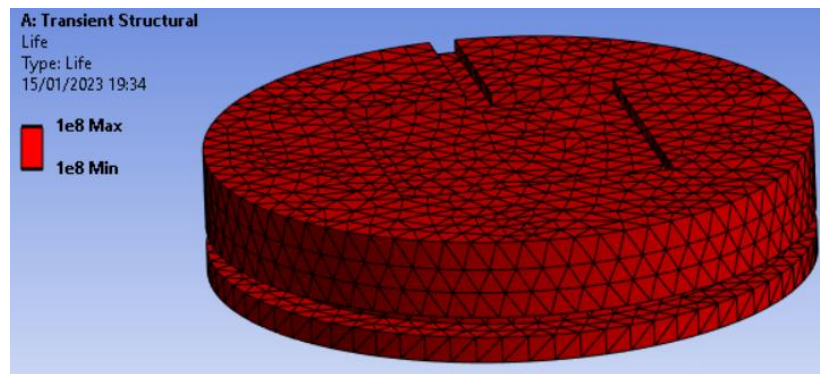


Figura 75. Análisis a fatiga (vida) de las matrices unidas sometidas a compresión.

Se observa en la figura 75 que la vida que proyecta el software para los moldes en funcionamiento y con las condiciones indicadas es de 100 millones de ciclos, que por lo general se atribuye la descripción de vida infinita.

Factor de seguridad a fatiga

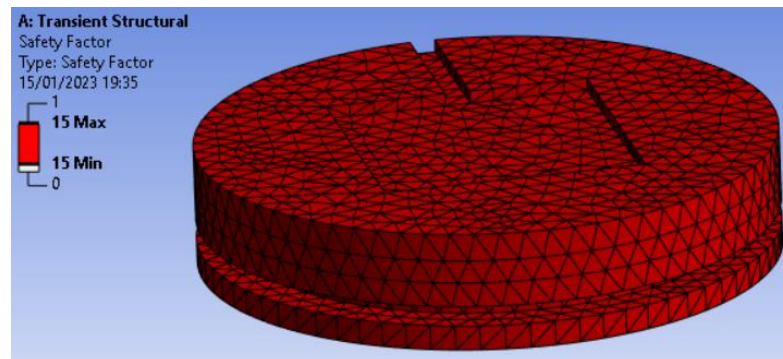


Figura 76. Factor de seguridad a fatiga de las matrices unidas sometidas a compresión.

Finalmente en la figura 76 el factor de seguridad a fatiga viene a ser la misma que el factor de seguridad normal, solo que en este caso se relaciona con la resistencia a la fatiga (tabla 4) que es de 55,20 MPa por lo que se tendría un valor de 64,94 pero de igual manera el software da como máximo valor un factor de seguridad a fatiga de 15, siendo un valor aceptado.

- **Placa de soporte inferior**

Se analiza la placa de soporte inferior debido a que también sufre la presión del cilindro neumático. Para el análisis también se coloca dos soportes fijos simulando los soportes de los canales en U donde se une con pernos a la placa (separación de 12 cm). Se coloca la fuerza del cilindro en forma de presión (Fuerza/Área), el área de interés se toma un aproximado de la cara que soporta la matriz inferior, es decir, la superficie de 43x30 cm teniendo un área de 1 290 cm². Por ende se tiene una presión extrema de 241,63 [Pa]. El material de la placa base es acero estructural (ASTM A-36).

Deformación total

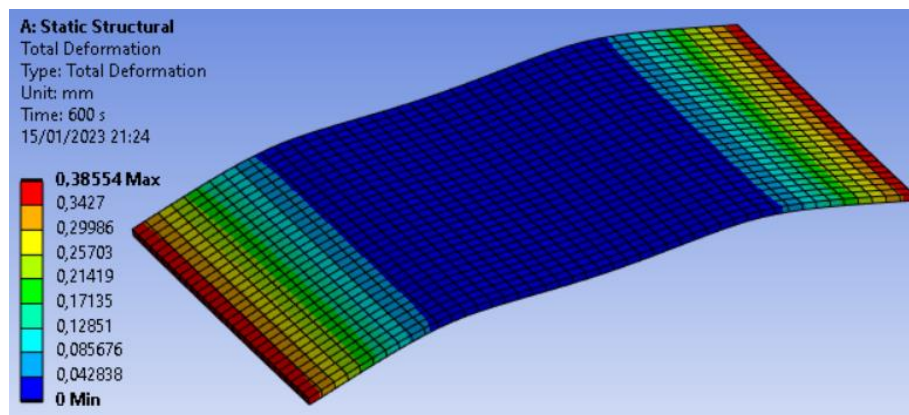


Figura 77. Deformación total de la placa de soporte inferior sometida a compresión.

Se observa en la figura 77 que la deformación total que presentan la placa al momento de funcionar con la presión y el tiempo máximos tiene un valor de 0,39 mm como valor máximo, siendo un valor aceptado.

Deformación direccional (eje Y)

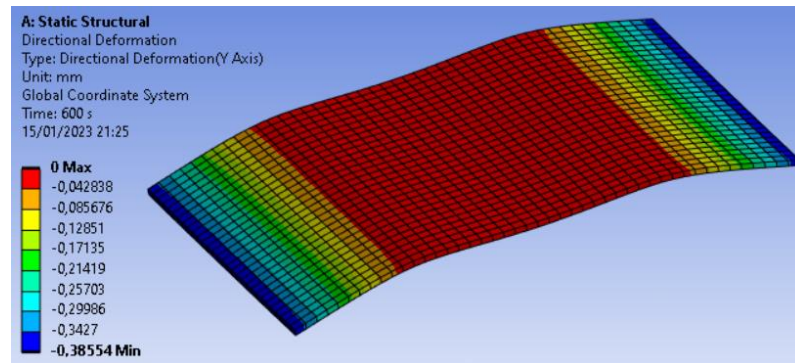


Figura 78. Deformación direccional (eje Y) de la placa de soporte inferior sometida a compresión.

Se observa en la figura 78 que la deformación en la dirección del eje Y (altura) que presentan la placa al momento de funcionar con la presión y el tiempo máximos, tiene un valor crítico de $-0,39$ mm, indicando que existe deformación hacia abajo siendo similar a la deformación total. Para saber si el valor es aceptado o no se tiene como referencia la NTP 298: Almacenamiento en estanterías y estructuras [114], donde indica que la deflexión máxima en los elementos relacionados a esta maquinaria debe ser menor a $L/200$ (para estructuras metálicas), por ende, L en este caso es de 430 mm por lo que la deflexión máxima no debe superar los $2,15$ mm. La deflexión máxima obtenida en condiciones críticas es de $0,39$ mm por lo que se da como válido el diseño.

Esfuerzo equivalente (Von-Mises)

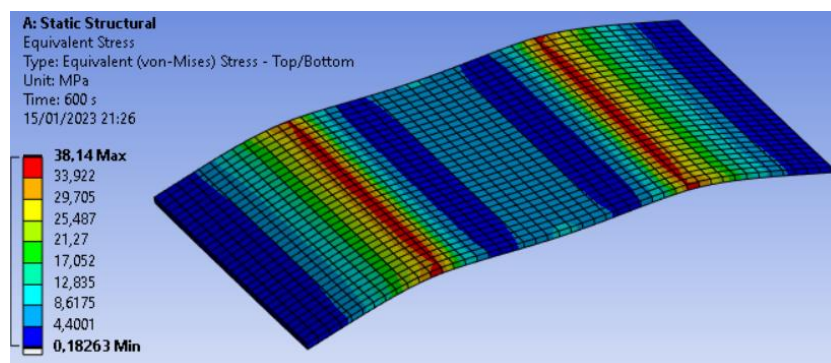


Figura 79. Esfuerzo equivalente de Von Mises de la placa de soporte inferior sometida a compresión.

Se observa en la figura 79 que el esfuerzo equivalente de Von Mises que presenta la placa al momento de funcionar con la presión y el tiempo máximos, tiene un valor crítico de 38,14 MPa siendo un valor aceptado.

Factor de seguridad

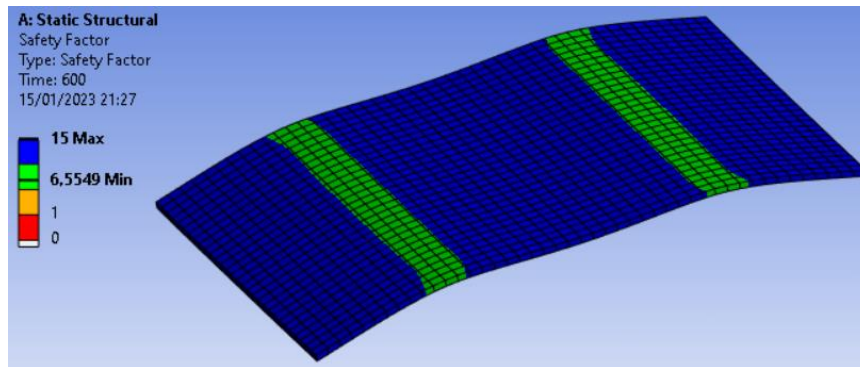


Figura 80. Factor de seguridad de la placa de soporte inferior sometida a compresión.

Se observa en la figura 80 que según el esfuerzo equivalente de Von Mises que presentan la placa al momento de funcionar, se tendría un valor de factor de seguridad (resistencia a la fluencia / esfuerzo máximo) de 6,55 siendo un valor similar al que el software da como resultado, siendo un valor aceptado.

Fatiga – Vida

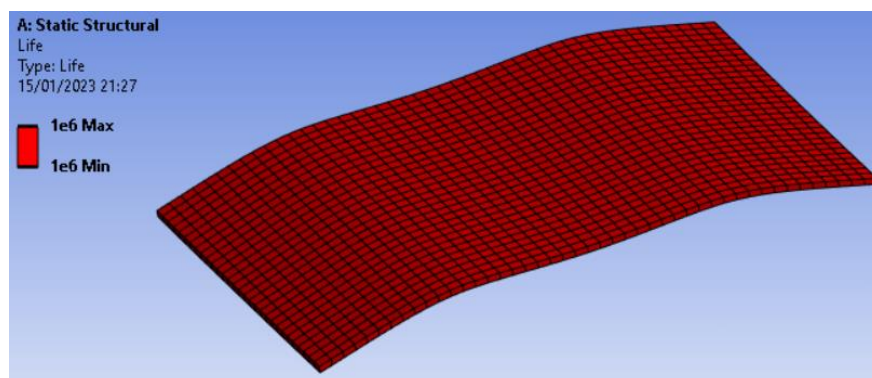


Figura 81. Análisis de fatiga (vida) de la placa de soporte inferior sometida a compresión.

Se observa en la figura 81 que la vida que proyecta el software para la placa en funcionamiento y con las condiciones indicadas es de 1 millón de ciclos, que por lo general se atribuye la descripción de vida infinita.

Factor de seguridad a fatiga

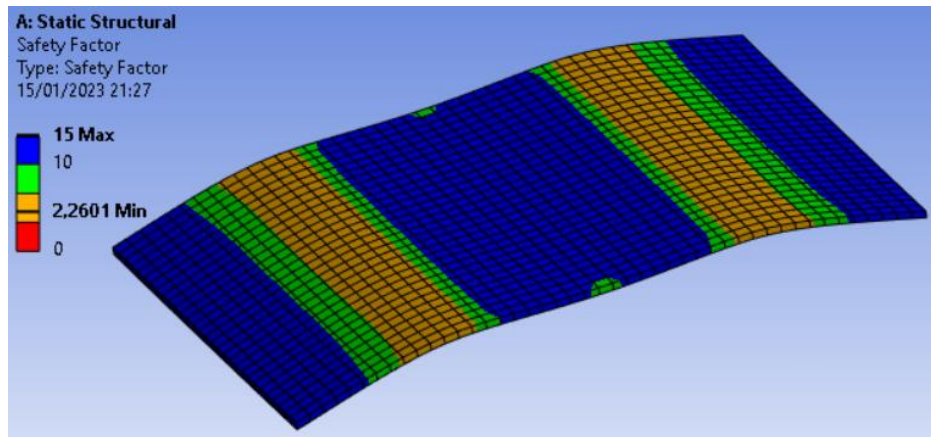


Figura 82. Factor de seguridad a fatiga de la placa de soporte inferior sometida a compresión.

Finalmente en la figura 82 el factor de seguridad a fatiga da como valor crítico 2,26 siendo un valor aceptado.

3.1.4 Análisis de la estructura

Para este análisis se toma en cuenta el cálculo de cargas y las combinaciones de cargas según el método LRFD ejecutado en el capítulo anterior. A toda la estructura prevista en la figura 39 se le coloca soportes fijos en cada base de las patas de la estructura. Con ayuda de un software especializado en análisis estructurales se colocan las cargas calculadas (muerta, viva instalación y ocupación) y los factores según la combinación que rige el diseño que en este caso es la combinación 3. Para comprobar que se realiza un análisis correcto se emplea el Excel y se tiene:

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	N	N	N
1	DEAD	LinStatic	0,52	-0,22	72,6
6	DEAD	LinStatic	-0,52	-0,22	72,6
11	DEAD	LinStatic	-0,52	0,22	72,6
12	DEAD	LinStatic	0,52	0,22	72,6
13	DEAD	LinStatic	-0,93	-2,72	134,76
14	DEAD	LinStatic	-0,93	2,72	134,76
15	DEAD	LinStatic	0,93	-2,72	134,76
16	DEAD	LinStatic	0,93	2,72	134,76
		TOTAL	0	0	829,44

Figura 83. Reacciones proporcionadas por software evaluando la carga muerta de la estructura.

El software determina los valores de las reacciones que son producto de la carga muerta como se muestra en la figura 83, los mismos se comparan con el cálculo realizado en el capítulo 2 y se tiene una variación de 0,24 [N] que representa un error del 0,03%, validando el valor proporcionado en este ítem.

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	N	N	N
11	Lr	LinStatic	-1,85	4,67	106,34
12	Lr	LinStatic	1,85	4,67	106,34
13	Lr	LinStatic	-2,09	-4,53	212,94
14	Lr	LinStatic	-2,09	4,53	212,94
15	Lr	LinStatic	2,09	-4,53	212,94
16	Lr	LinStatic	2,09	4,53	212,94
		TOTAL	0	0	1277,12

Figura 84. Reacciones proporcionadas por software evaluando la carga viva de instalación de la estructura.

El software determina los valores de las reacciones que son producto de la carga viva de instalación como se muestra en la figura 84, los mismos se comparan con el cálculo realizado en el capítulo 2 y se tiene una variación de 1,82 [N] que representa un error del 0,14%, validando el valor proporcionado en este ítem.

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	N	N	N
11	L	LinStatic	5,66	5,76	-136,21
12	L	LinStatic	-5,66	5,76	-136,21
13	L	LinStatic	-47,5	-38,5	915,39
14	L	LinStatic	-47,5	38,5	915,39
15	L	LinStatic	47,5	-38,5	915,39
16	L	LinStatic	47,5	38,5	915,39
		TOTAL	0	0	3116,72

Figura 85. Reacciones proporcionadas por software evaluando la carga viva debido a la ocupación de la estructura.

El software determina los valores de las reacciones que son producto de la carga viva debido a la ocupación como se muestra en la figura 85, los mismos se comparan con el cálculo realizado en el capítulo 2 y se tiene una variación de 0,28 [N] que representa un error del 0,009%, validando el valor proporcionado en este ítem.

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3
Text	Text	Text	N	N	N
1	COMB3	Combination	-6,58	-14,15	-24,49
6	COMB3	Combination	6,58	-14,15	-24,49
11	COMB3	Combination	6,58	14,15	-24,49
12	COMB3	Combination	-6,58	14,15	-24,49
13	COMB3	Combination	-79,2	-69,4	1839,28
14	COMB3	Combination	-79,2	69,4	1839,28
15	COMB3	Combination	79,2	-69,4	1839,28
16	COMB3	Combination	79,2	69,4	1839,28
		TOTAL	0	0	7259,16

Figura 86. Sumatoria de las cargas en la combinación 3 del método LRFD de la estructura en software.

El software determina también los valores de las reacciones que son producto de la combinación 3 del método LRFD que es la carga que rige el diseño, como se muestra en la figura 86, los mismos se comparan con el cálculo realizado en el capítulo 2 y se tiene una variación de 1,04 [N] que representa un error del 0,014%, validando el valor proporcionado en este ítem.

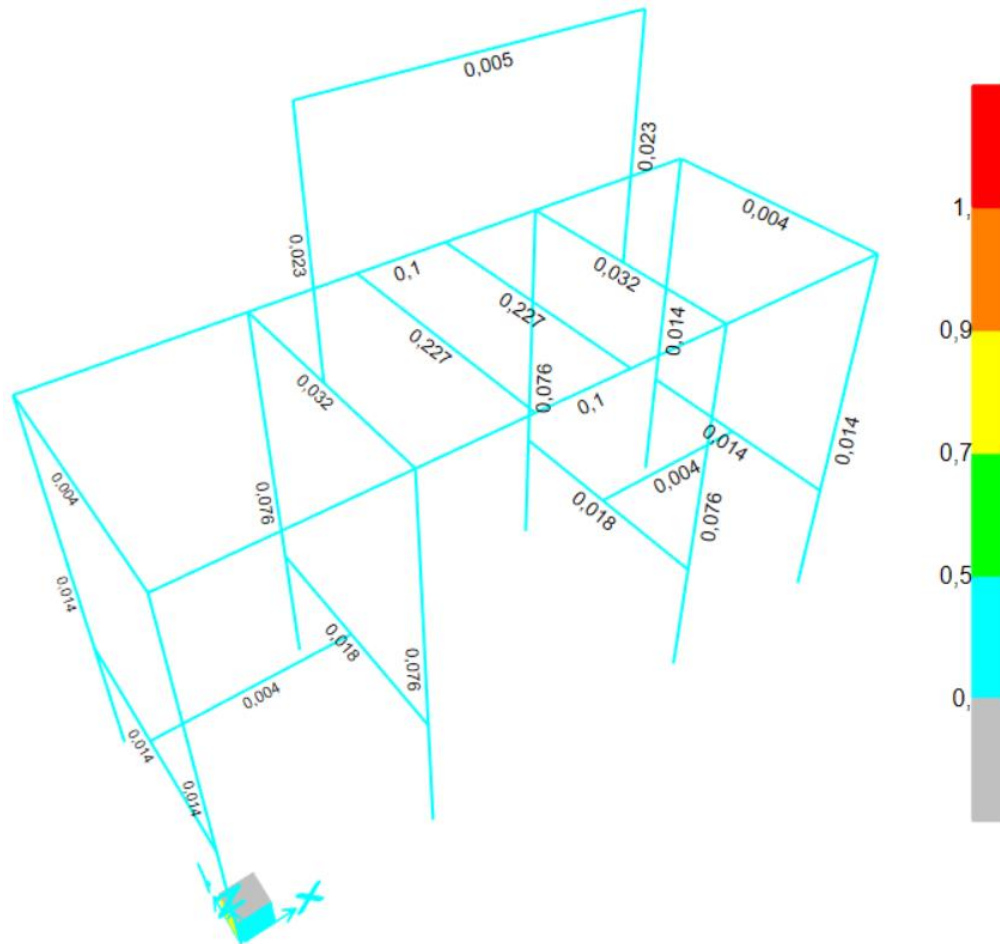


Figura 87. Resultados y verificación de la resistencia de la estructura conforme al código AISC-LRFD.

Los resultados que manifiesta el software vienen dados en una escala con códigos en colores como se manifiesta en la figura 87, esta escala de colores se describe a continuación: el color celeste representa un valor de 0 a 50% de la relación de esfuerzo para la resistencia admisible, el color verde representa este mismo indicador para un valor de 50 a 70%, el color amarillo contiene un rango de 70 a 90%, el color naranja contiene un rango de 90 a 100% y finalmente el color rojo representa a los elementos que sobrepasan los límites de la resistencia permisible.

Como se manifiesta en la figura 87 la totalidad de los elementos se presentan en coloración celeste obteniendo cifras de un valor máximo de 0,227 lo que atestigua un margen de seguridad del 77,30%. Según los resultados de los componentes más críticos simulados y evaluados se puede dar como aceptado el diseño de la máquina.

Por otra parte, también se realiza un estudio de la estructura mediante en software ANSYS. Para eso de igual manera se colocan soportes fijos en la base de las patas de la estructura, para simular el factor de mayoración de la carga muerta se coloca una aceleración que se asemeje a la gravedad, en dirección al piso, es decir, el factor de mayoración es de 1,82 por lo que la aceleración es de $17,85 \text{ m/s}^2$. La carga viva de ocupación se coloca como carga distribuida en los elementos donde tiene efecto, es decir, en los dos canales en U que actúan como soporte de la placa base inferior. De igual manera la carga viva de instalación se la coloca como carga distribuida en los elementos que soporten a las dos personas, siendo todos los elementos del mesón de la estructura.

Para el análisis se trabaja con perfiles asignados como se tiene en el diseño para mejores resultados, por lo que se tiene:

Deformación total

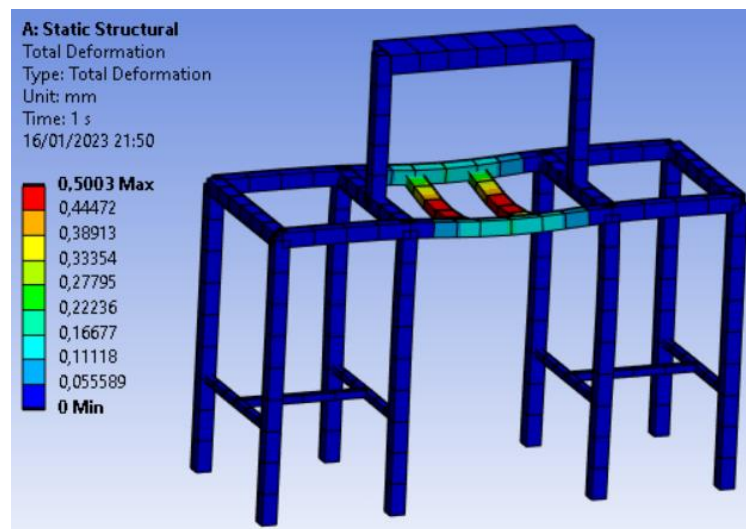


Figura 88. Deformación total de la estructura.

Como se evidencia en la figura 88 se tiene una deformación total más crítica en la zona donde se ejerce la presión del pistón, sin embargo es un valor aceptado ya que en condiciones extremas llega a deformarse un máximo de 0,50 mm.

Deformación direccional (eje Y)

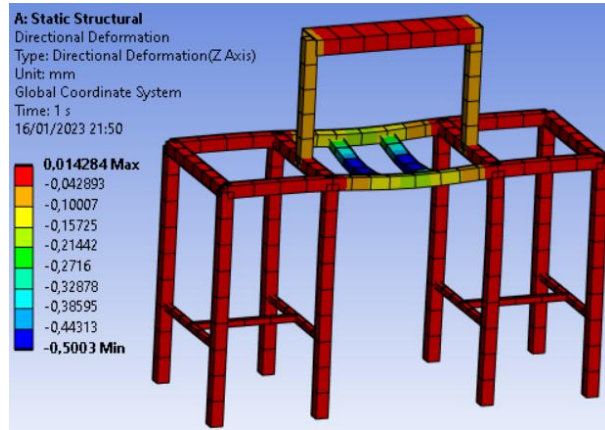


Figura 89. Deformación direccional (eje Y) de la estructura.

Se observa en la figura 89 que la deformación en la dirección del eje Y (altura) que presentan la estructura en su zona más crítica, tiene un valor de -0,50 mm, indicando que existe deformación hacia abajo siendo similar a la deformación total. Para saber si el valor es aceptado o no se tiene como referencia la NTP 298: Almacenamiento en estanterías y estructuras [114], donde indica que la deflexión máxima en los elementos relacionados a esta maquinaria debe ser menor a $L/200$ (para estructuras metálicas), por ende, L en este caso es de 450 mm (largo del canal en U) por lo que la deflexión máxima no debe superar los 2,25 mm. La deflexión máxima obtenida en condiciones críticas es de 0,50 mm por lo que se da como válido el diseño.

Esfuerzo directo

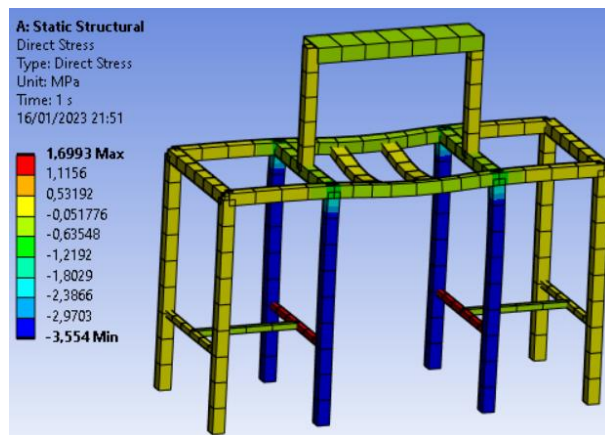


Figura 90. Esfuerzos directos que soporta la estructura.

Según la figura 90 se tiene un valor crítico del esfuerzo directo de 3,554 MPa que aunque tenga el signo negativo es el valor crítico.

Mínimo esfuerzo combinado

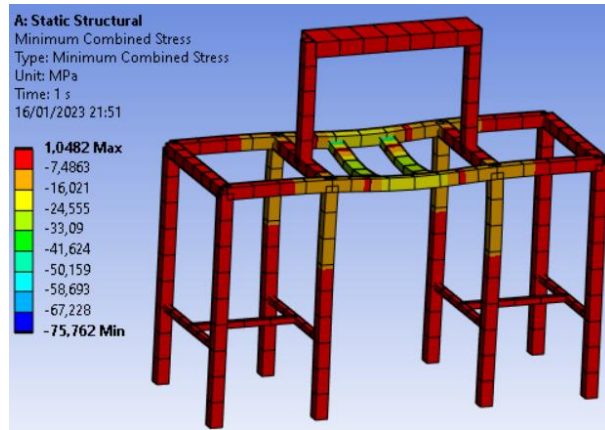


Figura 91. Esfuerzo combinado mínimo que soporta la estructura.

Según la figura 91 se tiene un valor crítico del esfuerzo mínimo combinado de 75,762 MPa.

Máximo esfuerzo combinado

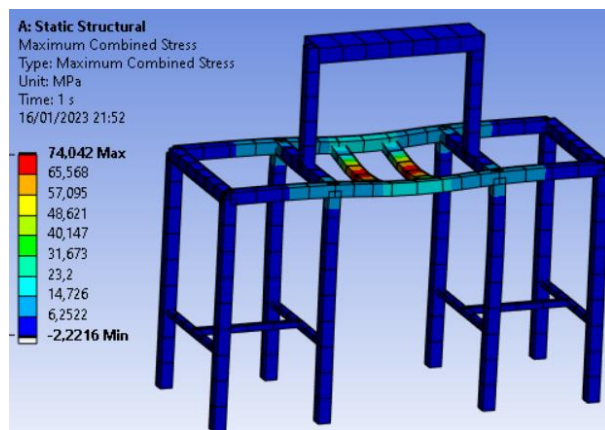


Figura 92. Esfuerzo combinado máximo que soporta la estructura.

Según la figura 92 se tiene un valor crítico del esfuerzo máximo combinado de 74,042 MPa.

Factor de seguridad

Para el factor de seguridad se toma el mayor esfuerzo que la estructura soporta, siendo de 75,762 MPa. El material con el que se fabrica la estructura es de Acero ASTM A-36 por lo que el valor de la resistencia a fluencia se divide para el esfuerzo anteriormente mencionado teniendo un valor de seguridad de 3,30.

Factor de seguridad del diseño (maquinaria)

Para poder seleccionar el factor de seguridad que rige en toda la maquinaria se hace un recuento de los factores de seguridad obtenidos en los componentes más críticos del diseño como se observa en la tabla 35. Dando como resultado un factor de seguridad del proyecto de 2,2601 siendo un valor aceptado.

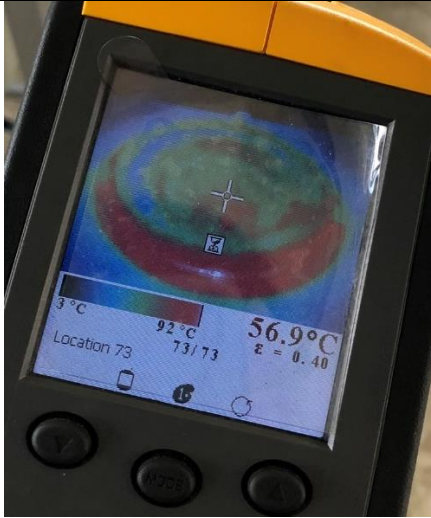
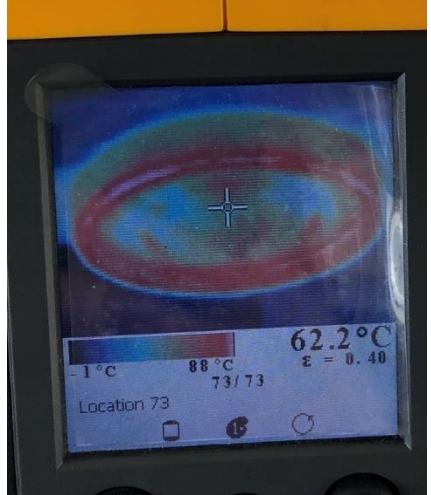

Tabla 35. Factor de seguridad general de la maquinaria.

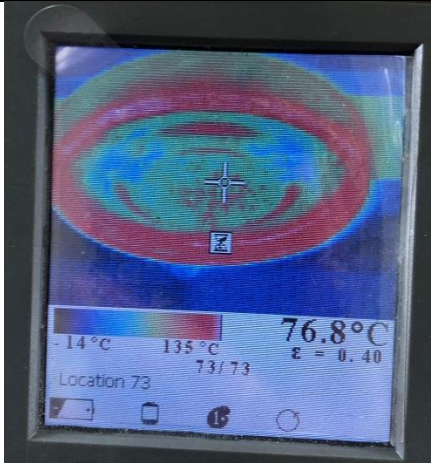


Elemento	Factor de seguridad	Factor de seguridad a fatiga	Factor de seguridad mínimo
Matrices unidas	15,0000	15,0000	15,0000
Placa de soporte inferior	6,5549	2,2601	2,2601
Estructura	3,3000	N.A.	3,3000
FACTOR DE SEGURIDAD DE LA MÁQUINA			2,2601

3.1.5 Dispersión térmica real

Con ayuda de una cámara termográfica y de un pirómetro se puede medir el valor de la temperatura luego de cierto tiempo. La cámara termográfica además de dar el valor térmico ayuda a visualizar como se distribuye la temperatura a lo largo de toda la matriz. En la tabla 36 se evidencian las pruebas que se realizaron a los moldes para analizar el comportamiento térmico.

Tabla 36. Pruebas de dispersión térmica en la práctica.

Matriz	Tiempo	Temperatura programada	Evidencia
Inferior	10 minutos	100 °C	
Superior	10 minutos	100 °C	
Inferior	10 minutos	160 °C	

Matriz	Tiempo	Temperatura programada	Evidencia
Superior	10 minutos	160 °C	
Inferior	Luego de fabricar varios platos (al final de la jornada)	130 °C	
Superior	Luego de fabricar varios platos (al final de la jornada)	130 °C	

Como se observa luego de los 10 minutos se acerca bastante al valor de temperatura programado, sin embargo en la superficie de interés la temperatura se aleja demasiado al valor deseado. Los motivos se sospechan que es debido a la ineficiencia de transferencia térmica ya que al no estar totalmente aislado, gran parte de la energía en

forma de calor se dispersa en el medio o se dirige en otras direcciones, no llegando toda a las matrices.

También se evidencia que la matriz inferior se calienta con mayor velocidad que la superior, esto debido a que el volumen de la matriz superior es mayor por lo que la temperatura debe traspasar mayor material, es decir, una mayor resistencia térmica.

Otro análisis es que la distribución de la temperatura no es uniforme a lo largo del molde, como se observa en las imágenes de la tabla 36, la sección que tiene contacto directo con la fuente de calor tiende a calentarse más rápido mientras que la superficie de interés expone valores menores de temperatura.





Al final de algunos platos fabricados, también se mide la temperatura de la zona de interés dando así un valor muy aproximado al programado, que en este caso fue de 130 °C, suponiendo que con el pasar del tiempo la temperatura llega a la sección y valor deseados.





3.1.6 Pruebas para obtener el plato biodegradable óptimo





Para realizar los ensayos con la materia prima y conocer los mejores parámetros (temperatura, presión, tiempo) con los cuales la máquina debe funcionar se realiza una serie de pruebas empezando con pequeñas cantidades para saber cómo se comporta la materia prima. Una vez que se ha obtenido un resultado satisfactorio con las muestras, se procede a fabricar un plato por completo para conocer el producto final.





Cabe recalcar que la materia prima que se emplea es una mezcla de salvado de trigo con almidón (puede ser de yuca o de maíz) a la cual se le agrega agua. Se puede agregar germen de trigo para obtener otra textura y acabado superficial.





Tabla 37. Pruebas para la fabricación del plato biodegradable.

N°	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Tiempo (minutos)	Observaciones	Imagen
1	80	4,50	5,00	Materia prima con poca humedad. Se realiza una pequeña muestra. El salvado de trigo se tosta haciendo que pequeñas partículas se desintegren.	
2	90	4,50	10,00	Materia prima con poca humedad. Se realiza una pequeña muestra, donde se une de mejor manera creando un film del almidón pero en los bordes se desintegra	
3	100	5,00	7,50	Materia prima con poca humedad. Se realiza una pequeña muestra, donde se obtiene un mejor resultado que las pruebas anteriores.	
4	100	5,00	7,50	Se procede a hacer el plato completo. Se realiza con 60 gramos de materia prima pero faltó material ya que no llega a los bordes y se crea un agujero en el centro del plato.	

N°	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Tiempo (minutos)	Observaciones	Imagen
5	110	5,00	10,00	Se procede a hacer el plato completo. En esta prueba no se colocó el antiadherente. El plato se pega arriba y abajo por lo que se partió por la mitad. Sin embargo, se observa un film del almidón y proyecta un buen resultado.	
6	120	5,00	10,00	Se procede a hacer el plato completo. Hasta el momento el mejor resultado, en los filos presenta desintegración de partículas y falta de material.	
7	110	6,00	1,00	Materia prima con humedad media. Se realiza una pequeña muestra, donde al finalizar su textura es blanda pero se despega con facilidad. Se demora mucho tiempo en secar.	
8	120	6,00	1,00	Materia prima con humedad baja. Se realiza una pequeña muestra, donde al finalizar se despega con facilidad pero se demora menos tiempo en secar que la prueba 7, aproximadamente 10 minutos.	

N°	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Tiempo (minutos)	Observaciones	Imagen
9	120	7,00	1,00	Materia prima con menor humedad (casi seco). Se realiza una pequeña muestra, de igual manera se despega con facilidad y se demora menos en secar (aproximadamente 5 minutos)	
10	120	7,00	2,00	Se procede a hacer el plato completo. Se despega con dificultad solo en los bordes. Presenta pequeñas fallas y se endurece en aproximadamente 3 minutos. Se tiene que recortar el excedente en los bordes. Se empleó 100 gramos de materia prima.	
11	120	7,00	1,00	Se procede a hacer el plato completo. Se despega con facilidad. Excelente resultado y se recorta los bordes	
12	120	7,00	4,00	Se procede a hacer el plato completo. Se despega con facilidad. Excelente resultado, se emplea una materia prima un poco más húmeda y al salir del prensado presenta una resistencia mayor.	

N°	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Tiempo (minutos)	Observaciones	Imagen
13	130	7,00	1,00	Se procede a hacer el plato completo con 75 gramos de materia prima. Es un buen resultado pero la textura es tostada y se desprenden partículas como migajas.	
14	140	7,00	1,00	Se procede a hacer el plato completo con 80 gramos de materia prima un poco más húmeda. Es un buen resultado pero en los bordes se desprende material y es frágil.	
16	140	7,00	3,50	A la materia prima se agrega salvado de trigo para quedar como masa y se encontraba medio húmedo. Es una buena prueba pero no se formó completamente el plato.	
17	140	7,00	3,50	Se procede a hacer el plato completo incluyendo germen de trigo y se coloca el material por partes por lo que presentó fisuras pero se tiene una excelente textura o acabado.	

N°	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Tiempo (minutos)	Observaciones	Imagen
18	140	7,00	7,00	Se procede a hacer el plato completo incluyendo germen de trigo y se coloca el material unificado. Presento fisuras en los bordes y falta material.	
20	140	7,00	3,00	Se procede a hacer el plato completo incluyendo germen de trigo. El plato se encuentra blando pero muy compacto y se seca en tres minutos. Además se tiene que recortar los bordes.	
21	140	7,00	1,00	Plato completo final: Solo con salvado de trigo y materia prima con poca humedad (seca) con 90 gramos de la mezcla y el plato final tiene un excelente resultado (el mejor) dando una masa final de 70 gramos.	
22	140	7,00	1,00	Plato completo final: Solo con salvado de trigo y materia prima con poca humedad (se dejó reposar la materia prima) con 90 gramos de la mezcla y el plato final tiene un excelente resultado dando una masa final de 73 gramos. No se evidencia muestras de desprendimiento de pequeñas partículas.	


Como se observa, hasta la prueba 9 se conjetura que la materia prima se comporta de buena manera con los parámetros seleccionados, por lo que se procede a realizar el plato completo. Después de varias pruebas se llega a la prueba 21 que al pensamiento de los integrantes se cree que es el mejor plato obtenido y a esto se le suma que la prueba 22 con los mismos parámetros de funcionamiento y mismo tratamiento de la materia prima se tiene un plato biodegradable aceptado. La prueba 20 también deduce en un excelente resultado pero con el componente adicional del germen de trigo.




Por tanto se deduce que se puede tomar como referencia a las pruebas 20, 21 y 22 ya que tienen la temperatura y presión adecuadas y muestran un lapso corto de tiempo de termoformado.



3.1.7 Verificación de las dimensiones del plato biodegradable obtenido

En la tabla 38 se observa las medidas del plato biodegradable conseguido, cabe recalcar que los moldes se diseñaron para obtener un espesor de 3 mm y un diámetro del plato de 7 pulgadas o 18 cm.

Tabla 38. Verificación de dimensiones del plato.

Dimensión	Valor	Evidencia
Espesor	3,00 mm	

Dimensión	Valor	Evidencia
	3,60 mm	
Diámetro	7 pulgadas (18 cm)	
	7 pulgadas (18 cm)	

Dimensión	Valor	Evidencia
	70,00 gramos	
Peso	73,00 gramos	

Como se evidencia, se realizan las pruebas a dos platos conseguidos, uno tiene un espesor de 3 mm y otro de 3,60 mm, esta variedad se da debido a que el plato más grueso está incluido germen de trigo que agranda el espesor. Sin embargo, los platos biodegradables que se fabrican únicamente con salvado de trigo y almidón tienen un grosor de 3 mm.


En cuanto a su diámetro total, se obtiene que todos los ejemplares logran el dimensionamiento planeado que es de 7 pulgadas o 18 centímetros.


El peso de los platos varía dependiendo de la cantidad de materia prima que se emplea ya que para conformar un plato se debe colocar de 80 a 90 gramos de materia prima, por ende en los dos ejemplares evidenciados se tiene un peso final del plato de 70 a 73 gramos.

3.1.8 Pruebas de funcionamiento del plato biodegradable

Estas pruebas hacen referencia a cómo responde el plato biodegradable elaborado a las diversas actividades que un desechable está expuesto. Generalmente se emplean para la comida rápida o bocaditos para fiestas, compromisos, entre otros. Para esto se hace pruebas con alimentos secos fríos y calientes y su análisis se evidencia en la tabla 39.

Tabla 39. Pruebas de funcionamiento del plato biodegradable.

Descripción	Peso [g]	Temperatura [°C]	Evidencia
Alimentos secos fríos			
Frutas (variedad)	429,00	19,00	

Descripción	Peso [g]	Temperatura [°C]	Evidencia
Galletas	108,00	19,00	
Confitería (caramelos y paletas)	127,00	19,00	
Dulce (nucita)	92,00	19,00	
Frutas (claudias)	269,00	19,00	

Descripción	Peso [g]	Temperatura [°C]	Evidencia
Alimentos secos calientes			
Hamburguesa	256,00	56,20	
Salchipapa	289,00	60,70	
Mote con chicharrón	225,00	56,80	
Pizza	176,00	56,20	

Como se observa el plato biodegradable del presente proyecto fue expuesto a varios alimentos secos, tanto fríos como calientes. Se mide el peso de cada alimento ya que en el siguiente apartado se realizan pruebas para tener una idea sobre si resiste el plato

o no. En la figura 93 se observa la configuración de todos los alimentos expuestos simulando un ejemplo práctico de cómo se emplearán los platos biodegradables normalmente.



Figura 93. Platos biodegradables en uso.

Los alimentos secos fríos no tienen mayor análisis debido a que la temperatura no afecta la composición del plato, en cambio los alimentos secos calientes sí merecen un análisis luego de comer el alimento por lo que se tiene la figura 94.



Figura 94. Análisis de platos con alimentos secos calientes posterior al uso.

Un dato importante de mencionar es que la prueba se realizó con el alimento recién adquirido, luego de una media hora el plato seguía en condiciones óptimas de funcionamiento, para servirse la comida se ingresó al microondas con todo plato biodegradable por un minuto y también resistió dicho calor.


Se evidencia, que los platos que más cambios en cuanto a su textura sufrieron son el de mote con chicharrón y la salchipapa debido a que al estar calientes, el almidón de los platos comienza a reaccionar formando una película gelatinosa. Sin embargo, esta partícula de almidón no traspasa olores ni sabores al alimento.









Por la elevada temperatura del alimento la base del plato se ablanda pero es casi imperceptible si se encuentra en una base sólida como la mesa. Además el ablandamiento presentado no es crítico ya que soporta tranquilamente el alimento que más peso contiene que en este caso es la salchipapa.

3.1.9 Pruebas con relación a las propiedades mecánicas

Para este apartado es importante conocer el peso de cada alimento para tener una idea de posiblemente cuánta resistencia y deflexión posee el plato biodegradable. Para las pruebas se emplea dos soportes a los extremos del plato simulando cómo una persona puede transportar el alimento y cómo el plato presenta la deflexión máxima. En la tabla 40 se muestran los resultados.

Tabla 40. Pruebas con relación a la deflexión.










Descripción	Peso [g]	Análisis	Evidencia
Alimentos secos fríos			
Frutas (variedad)	429,00	No presenta una deflexión evidente	



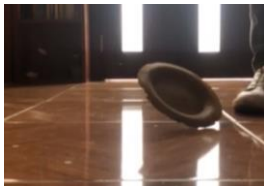
Descripción	Peso [g]	Análisis	Evidencia
Galletas	108,00	No presenta una deflexión evidente	
Confitería (caramelos y paletas)	127,00	No presenta una deflexión evidente	
Dulce (nucita)	92,00	No presenta una deflexión evidente	
Frutas (claudias)	269,00	No presenta una deflexión evidente	
Alimentos secos calientes			
Hamburguesa	256,00	No presenta una deflexión evidente	
Salchipapa	289,00	Presenta una pequeña deflexión casi imperceptible	
Mote con chicharrón	225,00	Presenta una pequeña deflexión casi imperceptible	
Pizza	176,00	Presenta una pequeña deflexión casi imperceptible	

Como se evidencia los platos que presentan una mayor deflexión en la base son los más pesados en cuanto a los alimentos secos calientes, sin embargo, la deflexión presentada es aceptada ya que no es totalmente notoria.

A continuación se presentan pruebas de impacto tratando de relacionar otro tipo de platos del mercado con el conseguido en el presente proyecto.

Tabla 41. Pruebas de impacto.

Plato	Peso [g]	Antes del impacto	Después del impacto
Plato de porcelana	 294,00		
Plato desechable de plástico 7 pulgadas	 3,00		
Plato biodegradable de caña de azúcar 7 pulgadas	 11,00		





Plato	Peso [g]	Antes del impacto	Después del impacto
Plato biodegradable del proyecto 7 pulgadas	 70,00		

Los diversos tipos de platos fueron lanzados desde una altura de 1,20 metros en un ángulo completamente recto, se observa que el plato que se destruye completamente es el de porcelana, debido a la fragilidad de su material, el plato de plástico al ser liviano crea un tipo de resistencia con el aire que amortigua su caída y no sufre daños, el plato biodegradable de caña de azúcar absorbe de mejor manera la energía del impacto ya que al caer no rebota ni sufre daños, finalmente el plato biodegradable de salvado de trigo al caer sufre daños especialmente en la parte de los filos donde se nota que algunas partículas de salvado de trigo salen disparadas con dirección aleatoria.

Además también se realiza una comparativa con los platos que generan competencia en el mercado como lo es el de plástico y el otro tipo de plato biodegradable hecho con caña de azúcar. La comparativa se realiza con el alimento más pesado de los ensayos anteriores como lo es la variedad de frutas. También se realiza la comparación mediante el tipo de soporte crítico al que el plato está expuesto cuando una persona transporta la comida, es decir sujetando solo desde el borde y sujetando el borde y la base del plato.

Tabla 42. Comparativa con otro tipo de platos.



Plato	Análisis	Soporte desde el filo (primer soporte)	Soporte del filo y la base (segundo soporte)
Plato desechable de plástico 7 pulgadas	Con el primer soporte no aguanta y con el segundo sufre una deformación crítica.		



Plato	Análisis	Soporte desde el filo (primer soporte)	Soporte del filo y la base (segundo soporte)
Plato biodegradable de caña de azúcar 7 pulgadas	Con el primer soporte no aguanta y con el segundo sufre una deformación crítica.		
Plato biodegradable del proyecto 7 pulgadas	Con el primer soporte se produce una deflexión solo en el filo y con el segundo no sufre cambios.		

Como se observa el plato más resistente ante posibles alimentos comunes y pesados es el plato fabricado en el proyecto (plato biodegradable de salvado de trigo), este sufre una pequeña deformación cuando solo se lo sujeta del filo sin embargo ante funcionamiento real se supone que no se someta a dicho soporte.

Finalmente se realiza una última comparativa con un peso en extremo (botella llena de líquido) con los otros platos.

Tabla 43. Comparativa de platos con peso crítico.

Peso crítico (1,07 kg)	Plato de plástico (7")
	

Plato biodegradable de caña de azúcar (7")	Plato biodegradable del proyecto (7")
	

Con un peso extremo e incluso irreal, ya que hay muy poca posibilidad de que una comida pese más de un kilogramo, el plato biodegradable del proyecto refleja una deflexión máxima de 2,71 centímetros mientras que los demás platos no resisten y se acoplan a la figura de la botella deformándose completamente.

3.1.10 Recursos financieros de la maquinaria para producir platos con material biodegradable

En este apartado se plantea desglosar los costos que se relacionan con la maquinaria obteniendo los costos directos e indirectos, a los cuales se le suma la mano de obra y un supuesto de los costos del diseño.

Costos directos

En este caso los costos directos van relacionados con todos los materiales que se emplean para construir la máquina del proyecto. Los precios presentados pueden variar debido a que su precio corresponde al mercado local.

Tabla 44. Costos de los materiales para la fabricación de la maquinaria.

MATERIAL	Cantidad	Precio unitario (\$ USD)	Precio total (\$ USD)
Sistema Neumático			
Cilindro neumático ISO 15 552 doble efecto DNC- 63*250mm-S	1	159,12	159,12
Electroválvula 5/2 monoestable	1	30,40	30,40
Electroválvula 3/2 biestable	1	61,75	61,75
Unidad de mantenimiento	1	71,60	71,60
Ventosa plana de silicona	1	27,13	27,13
Conector codo hembra 8mm x 1/8" (para ventosa)	1	2,38	2,38
Reguladores de caudal	2	9,27	18,54
Sensor magnético	1	23,94	23,94
Generador de vacío	1	41,70	41,70
Racores neumáticos	9	1,45	13,05
Silenciadores neumáticos	4	2,14	8,56
Manguera neumática	10	1,45	14,50
Conector T	1	3,54	3,54
Compresor	1	100,00	100,00
Sistema Eléctrico			
Contactador 120 V	2	10,00	20,00
Bloque auxiliar N.A. y N.C.	2	2,60	5,20
Pulsador 22mm verde	3	1,85	5,55
Paro de emergencia 22 tipo hongo	1	2,90	2,90
Temporizador	1	23,00	23,00
Breaker	1	3,10	3,10
Cable de conexión flexible	20	0,20	4,00

MATERIAL	Cantidad	Precio unitario (\$ USD)	Precio total (\$ USD)
Enchufes	2	1,00	2,00
Sistema de Calentamiento			
Resistencias eléctricas	2	30,00	60,00
Controlador de temperatura PID	1	28,88	28,88
Relé de estado sólido	1	13,70	13,70
Termocupla	1	9,80	9,80
Cable de alta temperatura 15 AWG	7	1,07	8,39
Mica de fibra de vidrio 23 cm de diámetro	2	10,00	20,00
Moldes			
Aleación de aluminio 6063 (lingote de 23cm de diámetro x 32mm)	2	48,72	97,44
Fresas	3	6,00	18,00
Estructura			
Placa Acero ASTM A-36 430x60x30mm	1	13,13	13,13
Placa Acero ASTM A-36 430x300x6mm	1	12,47	12,47
Placa Acero ASTM A-36 20x150x15mm	1	0,95	0,95
Placa Acero ASTM A-36 50x50x15mm	2	0,92	1,84
Eje de acero inoxidable AISI 304	2	8,98	17,96

MATERIAL	Cantidad	Precio unitario (\$ USD)	Precio total (\$ USD)
Cuarto de plancha acero inoxidable AISI 304 Brillante 0,7 mm	1	17,44	17,44
Tubo cuadrado 40x3mm Acero estructural	11	6,25	68,75
Canal U 125x50x4mm Acero estructural	1	10,50	10,50
Canal U 50x25x3mm Acero estructural	1	3,68	3,68
Tubo Cuadrado 20x1.2 mm Acero estructural	3	1,75	5,25
Disco de corte 4 ½”	1	1,75	1,75
Disco Flap 4 ½”	1	4,80	4,80
Fondo anticorrosivo 1 lt GRIS	1	4,63	4,63
Pintura plateada 1 lt	1	9,63	9,63
Thinner 1 lt	2	5,59	11,18
Spray dorado	1	3,86	3,86
Pernos	28	0,20	5,60
Tuercas	23	0,08	1,84
Canaleta 15x10x2000 mm	2	1,50	3,00
Varilla lisa 6 mm	6	0,44	2,64
Materia Prima			
Salvado de trigo	5	0,95	4,75
Almidón de yuca	3	0,97	2,91
Germen de trigo	1	1,70	1,70
Adicionales			
Whipe de algodón	6	0,48	2,88

MATERIAL	Cantidad	Precio unitario (\$ USD)	Precio total (\$ USD)
Desmoldante de repostería 1 lt	1	3,69	3,69
Dispensador	1	5,00	5,00
Rodamiento lineal 20 mm	2	13,00	26,00
Caja de control IP 65 metálico 30x20x15 cm	1	29,00	29,00
TOTAL (\$ USD)			1 175,00

El total de los costos directos o de los materiales es de \$1 175,00 dólares, cabe recalcar que para estos precios ya incluye IVA del 12%.

Mano de obra

Para este apartado se toma en cuenta los servicios que la universidad tiene y otros servicios externos, los cuales son de ayuda para fabricar algunos componentes del proyecto.

Tabla 45. Costos de la mano de obra.

Descripción	Días / horas	Precio por día / hora (\$ USD)	Precio Total (\$ USD)
Servicio de construcción (Maestro)	7 días	25,00	175,00
Servicio de mecanizado con fresado CNC	8 horas	20,00	160,00
Servicio de mecanizado con torno manual	3 horas	15,00	45,00
TOTAL (\$ USD)			380,00

La suma total de los costos de mano de obra da un valor de \$380,00 dólares.

Costos indirectos

Con relación a estos costos se tiene el precio del diseño que lo realiza un ingeniero mecánico. El salario promedio mensual de un ingeniero mecánico en el Ecuador es de \$1 839,00 dólares lo que genera al día un valor de \$61,30 dólares.

El tiempo del diseño de la maquinaria del proyecto fue de 3 semanas, es decir 15 días por lo que se tendría un valor de \$919,50 dólares del costo de diseño o costos indirectos. Cabe recalcar que el diseño y otras actividades relacionadas fue elaborada por los integrantes por lo que no se toma en cuenta este monto, no obstante, se puede tener en cuenta para tener una referencia del precio de la maquinaria.

Costo total

El costo total es la suma de los costos presentados previamente, a esto se le adiciona un 10% del total debido a que puede haber contratiempos o variación de los costos.

Tabla 46. Cálculo del costo total.

Descripción	Valor (\$ USD)
Costos directos	1175,00
Mano de obra	380,00
SUBTOTAL	1555,00
10% Adicionales	155,50
TOTAL	1710,50

Sin tomar en cuenta los costos indirectos debido a las razones expuestas anteriormente, se tiene que el valor total del proyecto o de la construcción de la maquinaria para fabricar platos con material biodegradable es de \$1 710,50 dólares.

Costo estimado del plato biodegradable

Se toma en cuenta principalmente la materia prima para calcular los costos aproximados.

Tabla 47. Cantidad de materia prima para la elaboración del paquete de 12 unidades.

Materia prima	Cantidad (1 Plato)	Paquetes de 12 unidades
Salvado de trigo	0,04 kg	0,48
Almidón de maíz	0,02 kg	0,24
Agua	25,00 ml	300,00 ml

En la tabla 47 se detallan los costos de la materia prima que serán necesario para la producción del paquete de 12 unidades, además se puede observar que no se toma en cuenta el valor del agua ya que es difícil conocer su valor exacto que se refleja en la planilla. Además cabe recalcar que también se debe tomar en cuenta el valor de la electricidad y el costo de la maquinaria.

Se toma en cuenta que la maquina fabrica un plato en lapso de 1 minuto por tanto a la hora se tiene 60 platos, al día se tiene 480 platos y al mes 9600 platos biodegradables.

Tabla 48. Costo del paquete de 12 unidades (Materia prima).

Materia prima	Cantidad	Costo (\$)	Costo por paquete de 12 unidades (\$)
Salvado de trigo	1,00 kg	1,00	0,48
Almidón de maíz	1,00 kg	0,60	0,14
		Costo total	0,62

Para tener una idea e incluir el precio del agua al total se le puede sacar un 5% destinado para el mismo, de igual manera con la electricidad. Por lo que da un total de \$0,69 dólares por cada paquete de 12 unidades.

Para incluir el valor de la maquinaria se conoce que esta se deprecia en un lapso de 10 años, se tiene un costo de \$1 710,50 dólares lo que significa que al año se valora a \$171,05 dólares y al mes \$14,25 dólares. En la tabla 49 se calcula el precio incluyendo la maquinaria teniendo en cuenta que el costo total de producción se calcula con la ecuación 15.

$$C_T = C_F + (C_{Vu} * Q)$$

Ec. (15)

Donde:

- C_T corresponde al costo total de producción en dólares [\$].
- C_F corresponde al costo fijo (maquinaria) en dólares [\$].
- C_{Vu} corresponde al costo variable unitario (materia prima) en dólares [\$].
- Q corresponde a las unidades producidas en un mes [adimensional].

Tabla 49. Cálculo de precio de producción unitario para el paquete de 12 unidades de platos biodegradables del proyecto.

Término	Valor	Unidades
C_F	14,25	[\$]
C_{vu}	0,69	[\$]
Q	800,00	[adimensional]
C_T	563,37	[\$]
C_{Tu}	0,70	[\$]

Anteriormente se menciona que se produce 9600 platos mensuales lo que significa que se generan 800 paquetes de 12 unidades mensuales por lo que el costo total de producción mensual es de \$563,37 dólares lo que significa que el costo total de producción por paquete para el presente proyecto es de \$0,70 dólares.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Al culminar el presente proyecto, se concluye que existe demasiada información académica y útil con relación a la materia prima para elaborar platos biodegradables, también para la maquinaria que se emplea para la fabricación de los mismos. Fuentes científicas extranjeras basan el material de los platos en granos como trigo, avena o centeno, mientras que proyectos nacionales se basan en tallos u hojas como es el caso de la hoja de plátano, la corteza de la caña de azúcar o yagua de palma.
- Los parámetros esenciales que se debe tener en cuenta para diseñar la máquina son la temperatura, presión y tiempo. Estos tres parámetros se relacionan entre sí y la mejor combinación de estos, origina un mejor producto final. Adicionalmente existen criterios de diseño en cuanto al prototipo, los cuales, a criterio de los integrantes tienen el siguiente orden de importancia: seguimiento de la norma NTE INEN-EN 1672-2, el costo, la facilidad de mantenimiento de la máquina, la automatización, la capacidad y la eficiencia, la seguridad y el consumo energético.
- Gracias a diversos softwares de elementos finitos se llega a diseñar y analizar la máquina capaz de fabricar platos con material biodegradable, obteniendo principalmente el comportamiento del prototipo (térmico, estructural y neumático) y el factor de seguridad para conocer si resiste o no el diseño planteado.
- Para la construcción del prototipo es importante seguir indicaciones o planos del diseño, puesto que la parte mecánica de la máquina tiende a ser muy precisa. Sobrepasarse con las medidas indicadas incluyendo las tolerancias, puede generar problemas críticos al momento de ensamblar los componentes.
- Al momento de realizar la primera prueba de la máquina, en realidad no actúa tan preciso como análisis o diseños realizados. Se tiene que realizar ajustes (no tan severos) al prototipo, una vez realizados los ajustes respectivos como alineaciones, temperatura o presión, la máquina trabaja con mayor eficiencia.

- Mediante simulaciones se estima que el tiempo de espera hasta que la sección de interés de las matrices llegue a la temperatura programada es de dos minutos, no obstante, el tiempo que se debe esperar en la práctica es de al menos 10 minutos. Esto sucede debido a que existe pérdidas de calor con el entorno, ya que la fuente de calor con las matrices no se encuentran completamente aisladas.
- En cuanto a la resistencia de la maquinaria, se realizan simulaciones en varios de los componentes que están sometidos a grandes fuerzas. Se realizan análisis tanto estáticos como a fatiga obteniendo un factor de seguridad de toda la maquinaria de 2,26 y una deformación máxima de la estructura de 0,50 mm siendo valores satisfactorios y aceptados.
- Con relación a los platos biodegradables conseguidos, se estima que la materia prima sugerida por el proyecto debe ingresar al termoformado con un peso de 80 a 90 gramos, teniendo una consistencia un poco húmeda. Se programa el prototipo para que caliente a 140 °C, con presión de 7 bares y en un lapso de un minuto se consigue un excelente resultado del plato biodegradable.
- El plato biodegradable obtenido es capaz de competir e incluso superar los aspectos mecánicos de otros platos del mercado, como lo son el de plástico y otro tipo de plato biodegradable. En cuanto a la resistencia llega a soportar pesos críticos como 1,07 kilogramos teniendo una deflexión de 2,71 cm. Al impactarse con el suelo por una posible caída, el plato biodegradable del proyecto suelta pequeñas partículas sin que afecte totalmente a su composición; y actúa de excelente manera en caso de un funcionamiento cotidiano como es el servirse alimentos secos fríos y calientes. Además de tener un plus que es el soportar tranquilamente las cargas térmicas de un microondas sin que estas afecten a su capacidad de carga.
- Existen pocos proyectos nacionales similares al que se propone, a nivel internacional existen más ejemplares, sin embargo, una vez analizada la información se conjetura que el presupuesto de dichas maquinarias es mucho más elevado que el del actual proyecto. Esto se debe a sobredimensionamientos o empleo de hidráulica en vez de neumática y sus resultados son similares al del presente proyecto, logrando ser una gran alternativa en el mercado nacional de los desechables.

4.2 Recomendaciones

- Para la práctica se recomienda seguir las indicaciones tanto del manual de funcionamiento, como del manual de seguridad (presentados en los anexos) para evitar problemas y obtener un producto eficaz.
- Debido al corto lapso de tiempo que se tiene para realizar el presente proyecto, no se puede profundizar en el tema de la materia prima, por lo que se recomienda un estudio a futuro que indague diversos materiales para obtener así una combinación de materia prima óptima para fabricar platos. Estos materiales deben contar principalmente con la característica de ser biodegradables.
- Se recomienda también realizar un estudio a futuro sobre eficiencia energética térmica, debido a que las pérdidas que el prototipo presenta son de alto interés. Al mejorar las pérdidas de temperatura con el entorno, la maquinaria estaría lista en menor tiempo para su funcionamiento.
- Otro estudio que se puede realizar es en cuanto al tipo y diseño de los recipientes de un solo uso que existen, con el fin de expandir el alcance de la temática de los desechables y presentar un producto eficaz, innovador y biodegradable.
- La máquina al ser un prototipo se recomienda que para un trabajo a escala industrial se mejoren los criterios anteriormente mencionados y además se mejore la calidad de algunos componentes empleados.
- Si bien no existe una normativa nacional específica para construir maquinarias que fabriquen desechables biodegradables, se recomienda seguir normativas relacionadas a la industria de los recipientes plásticos de un solo uso, o incluso normativas extranjeras que tienen normas adecuadas para materiales biodegradables mas no para la maquinaria. Relacionando estos dos temas se puede construir una maquinaria con mejor calidad evitando hacer daño a la salud de los seres humanos ya que los platos biodegradables se crean con la finalidad de albergar alimentos que se consumirán.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Zhang and S. Sablani, “Biodegradable packaging reinforced with plant-based food waste and by-products,” *Curr Opin Food Sci*, vol. 42, pp. 61–68, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.COFS.2021.05.003.
- [2] B. M. G. Miglioranza, F. R. Spinelli, F. Stoffel, and L. T. Piemolini-Barreto, “Biodegradable film for raisins packaging application: Evaluation of physico-chemical characteristics and antioxidant potential,” *Food Chem*, vol. 365, p. 130538, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2021.130538.
- [3] J. S. C. Viera, M. R. C. Marques, M. C. Nazareth, P. C. Jimenez, and Í. B. Castro, “On replacing single-use plastic with so-called biodegradable ones: The case with straws,” *Environ Sci Policy*, vol. 106, pp. 177–181, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.ENVSCI.2020.02.007.
- [4] S. A. A. Conya, M. J. G. Veloz, and S. M. V. Abarca, “Diseño y elaboración de utensilios biodegradables a partir de la fibra del tallo de banano (*Musa paradisiaca*) como alternativa de uso para mitigar impactos ambientales causados por el plástico,” *Ciencia Digital*, vol. 4, no. 1, pp. 373–384, Jan. 2020, doi: 10.33262/cienciadigital.v4i1.1118.
- [5] Plastic Soup Foundation, “Production of plastic,” *Plastic Soup Foundation*, Aug. 2022, Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.plasticsoupfoundation.org/en/plastic-facts-and-figures/>
- [6] V. Naranjo, “Lo cotidiano está ligado a los plásticos,” *EL telégrafo*, Ecuador, Dec. 31, 2019. Último acceso: May 02, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/plasticos-contaminacion-ecuador>
- [7] L. Ortiz, “10 cifras de la ONU para mostrar el daño que los plásticos le hacen al planeta,” *Expansión*, Jul. 2019, Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://expansion.mx/vida-arte/2019/07/03/10-cifras-de-la-onu-para-mostrar-el-dano-que-los-plasticos-le-hacen-al-planeta>

- [8] J. Rosciano, “¿Comer en platos plásticos atenta contra tu salud?,” Apr. 08, 2022. <https://mejorconsalud.as.com/comer-en-platos-plasticos-atenta-contra-tu-salud/> (Último acceso May 03, 2022).
- [9] C. F. Wu, T. J. Hsieh, B. H. Chen, C. C. Liu, and M. T. Wu, “A Crossover Study of Noodle Soup Consumption in Melamine Bowls and Total Melamine Excretion in Urine,” *JAMA Intern Med*, vol. 173, no. 4, pp. 317–319, Feb. 2013, doi: 10.1001/JAMAINTERNMED.2013.1569.
- [10] Asociación de productores ecuatorianos de lubricantes, “Ecuador se fija un plazo de tres meses para lograr acuerdos y eliminar el plástico de un solo uso ,” *APEL*, 2019, Último acceso: May 02, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://apel.ec/2019/07/09/ecuador-se-fija-un-plazo-de-tres-meses-para-lograr-acuerdos-y-eliminar-el-plastico-de-un-solo-uso/>
- [11] J. Machado, “Ecuador es el tercer país de la región que más basura plástica importa,” *Primicias*, Apr. 2022, Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/desechos-residuos-plasticos-basura-ecuador/>
- [12] R. Benavides and K. Guallasamin, “Módulo de Información Ambiental en Hogares,” Ecuador, 2018.
- [13] A. Bustos and P. Mora, “Plásticos y Desechables: Uso y Consumo en La Restauración De Santo Domingo ,” Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Santo Domingo, 2021. Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: https://issuu.com/pucesd/docs/1357_tt__bustos_mora_23_3_2021
- [14] Diario La Hora, “Ambato desecha más de lo que recicla ,” Ambato, Sep. 05, 2021. Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/tungurahua/ambato-desecha-mas-de-lo-que-recicla/>
- [15] M. Mena, “¿Qué países generan más residuos de plástico de un solo uso? ,” Jun. 2021. Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en:

<https://es.statista.com/grafico/25010/paises-con-la-mayor-cantidad-de-residuos-plasticos-de-un-solo-uso-generados/>

- [16] Earth Day, “How Much Disposable Plastic We Use ,” *Earth Day*, Apr. 2022, Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.earthday.org/fact-sheet-how-much-disposable-plastic-we-use/>
- [17] Monouso Academy, “Guía de platos desechables y reutilizables,” Sep. 15, 2021. <https://www.monouso.es/academy/tipos-de-platos> (Último acceso May 03, 2022).
- [18] A. Sas, “How often do you use disposable dishes, cups, or cutlery?,” Nov. 2019. Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1065807/poland-use-of-disposable-plates-and-cutlery/>
- [19] T. Ozbun, “Private label share of non-edible product categories in the United States in 2021,” Oct. 2021, Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/1327244/us-non-edible-private-label-product-share-by-category/>
- [20] V. Costales, “La industria del plástico se mueve al ritmo de unas 600 empresas,” *Líderes*, Sep. 2018, Último acceso: Oct. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-plastico-inversion-innovacion-ritmo.html>
- [21] H. Velasco, “Proyecto De Factibilidad Para La Instalación de una Planta Industrial Para Elaborar y Comercializar Productos Desechables en Poliestireno Expandible Foam (Vajilla Desechable) en la Ciudad De Quito,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2012.
- [22] Amazon, “Los más vendidos en Platos, Tazones y Cubiertos Desechables,” May 04, 2022. https://www.amazon.com/-/es/Los-ms-vendidos-Salud-y-Hogar-Platos-Tazones-y-Cubiertos-Desechables/zgbs/hpc/15342991/ref=zg_bs_unv_hpc_4_15750751_2 (Último acceso May 03, 2022).

- [23] D. Yucub, “Platos desechables: ¿Cuáles son los mejores del 2022?,” *Sweetesthome*, Apr. 29, 2020. https://www.sweetesthome.mx/platos-desechables/#1er_Lugar_-_CaterEco_Round_Palm_Leaf_7_Salad_Plates (Último acceso May 03, 2022).
- [24] Nestle, “Productos biodegradables ¿Cuáles son y para qué sirven? ,” 2020. <https://www.nestleagustoconlavida.com/re/productos-biodegradables> (Último acceso Oct. 15, 2022).
- [25] J. Sánchez, “Cómo hacer plástico biodegradable con maicena - receta casera,” Sep. 2018, Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-plastico-biodegradable-con-maicena-1535.html>
- [26] G. Portillo, “Materiales biodegradables: características, usos y ventajas | Renovables Verdes,” 2021. <https://www.renovablesverdes.com/materiales-biodegradables/> (Último acceso Oct. 15, 2022).
- [27] C. I. Riofrio Álvarez, C. M. Oviedo Navarrete, and D. M. Navarro Cedeño, “Importancia de productos biodegradables en Ecuador,” *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, no. junio, Jun. 2019.
- [28] L. Francisco *et al.*, “Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz,” 2019.
- [29] Leaf Republic, “Platos biodegradables hechos con hojas naturales que se descomponen en 28 días,” Oct. 22, 2019. <https://ecoinventos.com/platos-biodegradables-hechos-con-hojas-naturales/> (Último acceso Oct. 15, 2022).
- [30] Eco Friendly, “Biodegradable eco-friendly disposable plates for wedding party,” May 10, 2020. <https://www.greenolives.com.cn/product/high-quality-10-eco-friendly-3-compartment-biodegradable-disposable-corn-starch-plate-fancy-disposable-plates-for-wedding/> (Último acceso Oct. 15, 2022).
- [31] C. Liu *et al.*, “Biodegradable, Hygienic, and Compostable Tableware from Hybrid Sugarcane and Bamboo Fibers as Plastic Alternative,” *Matter*, vol. 3, no. 6, pp. 2066–2079, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.MATT.2020.10.004.

- [32] R. M. Harrison and R. E. Hester, “Biodegradable Plastics - Knovel,” in *Plastics and the Environment - 1.3.1.1 Light as a Feather. Royal Society of Chemistry (RSC)*, 2019. Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpPE00004B/cid:kt011U0NV4/viewerType:khtml//root_slug:plastics-environment/url_slug:biodegradable-plastics?q=biodegradable%20tableware&include_synonyms=no&sort_on=default&page=10&view=collapsed&zoom=1&q=biodegradable%20tableware
- [33] Sunflex, “Fécula de maíz | Productos | Empaques y Desechables,” 2018, Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.sunflexcol.com/productos/linea-ecologica/32/fecula-de-maiz>
- [34] C. Carlin, “Innovation Takes Root in California,” pp. 8–13, Dec. 2018.
- [35] S. M. Chisenga, G. N. Tolesa, and T. S. Workneh, “Biodegradable food packaging materials and prospects of the fourth industrial revolution for tomato fruit and product handling,” *Int J Food Sci*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8879101.
- [36] L. Tamara, A. Arboleda, N. Stick, and A. Alvarado, “Diseño de una Máquina Para Fabricar Envases Biodegradables a Partir De Especies Vegetales,” Guayaquil, 2017.
- [37] S. Quishpillo and L. Moreta, “Diseño y Construcción de una Máquina Prototipo Para Fabricación de Platos Biodegradables a Partir De Biomasa,” Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, 2020.
- [38] L. Avérous, C. Fringant, and L. Moro, “Starch-Based Biodegradable Thermoforming,” 2021.
- [39] “Tipos de prensas,” 2018. <https://www.tipos.co/tipos-de-prensas/> (Último acceso Oct. 15, 2022).
- [40] Solpress, “Conoce todos los tipos de prensas,” *SolPressBCN*, Mar. 2021, Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://solpressbcn.com/tipos-de-prensas-industriales/>

- [41] R. San Juan, “Prensa neumática vs prensa manual,” *San Juan Reciclados y Demoliciones*, Jul. 2019, Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.rdsanjuan.com/prensa-neumatica-vs-prensa-manual/>
- [42] AGME, “Prensas eléctricas ,” 2022. Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.agme.net/es/prensas/prensas-electricas-agme>
- [43] PRM, “Máquina para fabricar bolsas de plástico biodegradables ,” *PRM-Taiwan Marketplace*, 2022. <https://spanish.prm-taiwan.com/category/Biodegradable-Plastic-Bag-Making-Machine.php> (Último acceso Oct. 15, 2022).
- [44] C. A. Parikh, P. M. Kadam, R. K. Malani, and A. M. Siddhapura, “A review on Development of Pneumatically Operated Biodegradable Dish Making Machine,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2021, Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: www.irjet.net
- [45] G. Goyal, G. Srivastava, R. Singh, and N. Singh, “Review on Pneumatic Punching Machine and Modification in Punch Tool to Reduce Punching Force Requirement,” 2015. [En línea]. Disponible en: www.ijetsr.com
- [46] W. Tucker, “Definición de los sistemas hidráulicos y neumáticos,” *Puro Motores*. Jul. 21, 2018. Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.puromotores.com/13098980/definicion-de-los-sistemas-hidraulicos-y-neumaticos>
- [47] BIRT LH, “Válvulas reguladoras de caudal,” *Tecnología neumática*. PSAFM02, 2022. Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/PSAFM/PSAFM02/es_PPFM_PSAFM02_Contenidos/website_23_vlvulas_reguladoras_de_caudal.html
- [48] Plastiglas de México, “Manual Técnico Termoformado,” *Manual de termoformado*, 2015.
- [49] J. Olt, V. Maksarov, K. Soots, and T. Leemet, “Technology for the Production of Environment Friendly Tableware,” *Environmental and Climate Technologies*, vol. 24, pp. 57–66, Sep. 2020, doi: 10.2478/rtuect-2020-0054.

- [50] J. Iewkittayakorn, P. Khunthongkaew, Y. Wongnoipla, K. Kaewtatip, P. Suybangdum, and A. Sopajarn, “Biodegradable plates made of pineapple leaf pulp with biocoatings to improve water resistance,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 5056–5066, 2020, doi: 10.1016/J.JMRT.2020.03.023.
- [51] P. Kalita, U. Dixit, P. Mahanta, and U. Saha, “A novel energy efficient machine for plate manufacturing from areca palm leaf sheath,” *J Sci Ind Res (India)*, vol. 67, pp. 807–811, May 2008.
- [52] D. Pandya and P. Unnati, “Preparation of Biodegradable Plates from Natural Resources,” *IJCRT*, vol. 9, Nov. 2021, Último acceso: Oct. 16, 2022. [En línea]. Disponible en: www.ijcrt.org
- [53] F. Incropera and D. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Seventh Edition. Jefferson City: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- [54] C. Maheswari *et al.*, “Analysis and optimization on the biodegradable plate making process parameters using RSM-based Box–Behnken Design method,” *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 23, no. 6, pp. 2255–2265, 2021, doi: 10.1007/s10163-021-01290-9.
- [55] CETAL, “Resistencias Eléctricas y Equipos Calefactores,” *CRN Tecnopart*, S.A., 2020, Último acceso: Oct. 16, 2022. [En línea]. Disponible en: www.crn-tecnopart.com
- [56] Termolaser, “Resistencias de Calefacción Tipo Plana,” *Resistencias Laser*, 2021. <http://www.resistenciaslaser.com/resistencias/resistencias-planas/> (Último acceso Oct. 16, 2022).
- [57] C. Márquez, “Control Automático De Temperatura en el Proceso de Termo Formado de Láminas, en la Planta ‘Techoluz’ de Tubasec C.A,” Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, 2012.
- [58] International Standard, “Road vehicles — Degrees of protection (IP code) — Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access,” 2017.

- [59] Auersignal, “Grados de protección ,” May 12, 2018. <https://www.auersignal.com/es/datos-tecnicos/normas/grados-de-proteccion-ip/> (Último acceso Dec. 05, 2022).
- [60] BSi British Standards, “Food processing machinery — Basic concepts ,” Gran Bretaña, 2009. Último acceso: Oct. 17, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://images02.cdn86.net/kps01/M00/74/0D/wKiAiVINcO3mEEA6ACAkIFxyY8E890.pdf>
- [61] Normalización Española, “UNE-EN 1672-2:2020 (Ratificada) Maquinaria para procesado de alimentos. Conceptos básicos. Parte 2: Requisitos de higiene y de limpieza,” Barcelona, 2020. Último acceso: Oct. 17, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065067>
- [62] INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN-EN 1672-2: Maquinaria Para Procesado De Alimentos. Conceptos Básicos. PARTE 2: Requisitos De Higiene (EN 1672- 2:2005+A1:2009, IDT),” Quito, 2017.
- [63] INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización, “RTE INEN 131 ‘Seguridad E Higiene De Maquinaria Para Procesamiento De Alimentos,’” Quito, 2019.
- [64] INEN Servicio Ecuatoriano de Normalización, “RTE-100 ‘Materiales y Artículos Plásticos Destinados a Estar En Contacto Con Los Alimentos,’” Quito, 2019.
- [65] European Bioplastics, “EN 13432 Certified Bioplastics Performance in Industrial Composting,” Apr. 2015. Último acceso: Oct. 17, 2022. [En línea]. Disponible en: https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_En_13432.pdf
- [66] Constitución de la República del Ecuador, “Reglamento General Para la Aplicación De La Ley Orgánica Para La Racionalización, Reutilización y Reducción De Plásticos De Un Solo Uso ,” Quito, 2018. Último acceso: Oct. 17, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://extranet.comunidadandina.org/sirt/sirtDocumentos/ECOTCP21031.PDF>

- [67] Elika, “Ficha Aluminio,” Feb. 2018. [En línea]. Disponible en: www.elika.net
- [68] Reliance Foundry, “Acero Inoxidable 304 ,” 2018, Último acceso: Dec. 05, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.reliance-foundry.com/blog/acero-inoxidable-304-vs-316-es>
- [69] Matweb, “304 Stainless Steel”.
- [70] Gasparini, “¿Cuál es el mejor acero inoxidable para la alimentación? | Gasparini Industries,” Oct. 2018, Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.gasparini.com/es/blog/cual-es-mejor-acero-para-industria-alimentaria/>
- [71] MatWeb, “430 Stainless Steel annealed sheet,” 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=1306bb472ffc40dea7b5acab1ee2f5a0&n=1
- [72] Teknika4, “Aluminio 6063,” Jun. 12, 2019. <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063> (Último acceso Nov. 20, 2022).
- [73] Matweb, “Aluminum 6063-T5,” 2022.
- [74] Course Hero, “Carga estática,” Nov. 12, 2019. <https://www.coursehero.com/file/39085471/A1docx/> (Último acceso Oct. 15, 2022).
- [75] Infaimon, “Coeficiente de seguridad: Toda una filosofía de diseño.,” 2019.
- [76] J. Salazar, *Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería*. 2007. Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/15012460/Resistencia_de_materiales_basica_para_estudiantes_de_ingenieria
- [77] R. Singh, “Applied Welding Engineering - Processes, Codes, and Standards,” *Elsevier*, vol. 3rd Edition, no. 10.2 Plastic Deformation, 2020, Último acceso: Oct. 17, 2022. [En línea]. Disponible en: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpAWEPCSE3/cid:kt012M13V1/viewerType:khtml//root_slug:applied-welding-

engineering/url_slug:plastic-deformation?b-
q=plastic%20deformation&include_synonyms=no&sort_on=default&page=1
&view=collapsed&zoom=1&q=plastic%20deformation

- [78] A. Jacobson, “Measuring Flexibility: New Thickness-dependent Metric Compares Materials ,” *News - Northwestern Engineering*, Nov. 08, 2019. Último acceso: Oct. 17, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.mccormick.northwestern.edu/news/articles/2019/11/measuring-flexibility-new-thickness-dependent-metric-compares-materials-snyder.html>
- [79] Z. Olgierd, *El método de los elementos finitos* . Barcelona: Editorial Reverté, 2010. Último acceso: Oct. 15, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xdzeDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=m%C3%A9todo+de+elementos+finitos&ots=-eLqp97oa7&sig=CJDskAg13eRsryho2HVdY4JoC8I#v=onepage&q=m%C3%A9todo%20de%20elementos%20finitos&f=false>
- [80] I. Ricardo Stalin Borja Robalino Ing. Paul Santiago Morocho Rojas Dirigido por and I. Jonatan Pozo Palacios, “Análisis Estructural Mediante El Método De Elementos Finitos,” Cuenca, 2018.
- [81] T. Torres-Miranda and T. Torres-Miranda, “En defensa del método histórico-lógico desde la Lógica como ciencia,” *Revista Cubana de Educación Superior*, vol. 39, no. 2, 2020, Último acceso: May 08, 2022. [En línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142020000200016&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [82] Y. Matos and E. Pasek, “La Observación, Discusión y Demostración: Técnicas de Investigación en el Aula,” *Laurus*, vol. 14, no. 27, pp. 33–52, 2008, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=76111892003>
- [83] J. Díaz Novás, B. R. Gallego Machado, and A. Calles Calviño, “Bases y aplicación del método hipotético-deductivo en el diagnóstico,” *Revista Cubana de Medicina General Integral*, vol. 27, no. 3, pp. 378–387, 2011, Último acceso: May 08, 2022. [En línea]. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252011000300008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- [84] Dassault Systemes, “SolidWorks 2021.” 2020.
- [85] J. Cabrera, E. Campos, S. Escalante, D. García, F. Navarro, and A. Quesada, “Manual de Introducción a Ansys Workbench,” *Escuela De Ciencia e Ingeniería De Los Materiales*. Escuela De Ciencia e Ingeniería De Los Materiales, Costa Rica, 2020. Último acceso: Oct. 19, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/latam/document/instituto-tecnologico-de-costa-rica/resistencia-de-materiales/manual-ansys/9273318>
- [86] G. Mirlisenna, “Método de los elementos finitos: ¿qué es?,” *ESSS*, Jan. 22, 2016. <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/> (Último acceso May 08, 2022).
- [87] R. Budynas and K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, 8va ed. México: McGraw-Hill/Interamericana, 2008.
- [88] G. Reyes, *Cálculo y selección del equipo hidráulico para máquina de compactación de material reciclable*. México D.F: Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- [89] Anónimo, “Matricería y Moldes,” *Perfection Spring & Stamping Corp*. https://www.matriceriaymoldes.es/recursos/Materias_especificas/Matricer%C3%ADa/Leccion_1.php (Último acceso May 08, 2022).
- [90] C. Riba, *Diseño concurrente*, 84th-8301st-598th–6th ed. Barcelona, 2002.
- [91] C. Bonifaz and M. Pallasco, “Diseño y construcción de una máquina clasificadora de fresas a razón de 100 kg/hora.,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2017. Último acceso: May 08, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6955>
- [92] Dassault Systemes, “SolidWorks 2021.” 2020.
- [93] Microsoft Office Excel, “Manual-Microsoft-Office-Excel-2019,” 2019.

- [94] A. Molina, “Diseño y Construcción de una Envasadora Para Salsa de Tomate Y Diferentes Aderezos en Presentación de 4 Kg, para La Empresa Rikokom Alimentos S.A.,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022. Último acceso: Oct. 25, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36488/1/Tesis%20I.M.%20711%20-%20Molina%20Molina%20Alexander%20Andr%c3%a9s.pdf>
- [95] M. Rodríguez and L. Ávila, “Evaluación de la resistencia tensil de un plástico biodegradable obtenido a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*),” Universidad Nacional del centro del Perú, Huancayo, 2020. Último acceso: Nov. 07, 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6327>
- [96] D. P. Navia P., H. S. Villada C., And A. A. Ayala A., “Evaluación Mecánica De Bioplásticos Semirrígidos Elaborados Con Harina De Yuca,” *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 11, pp. 77–84, 2013.
- [97] S. R. Majumdar, *Sistemas neumáticos: Principios y mantenimiento*. México: McGraw Hill, 1997.
- [98] International Standard, “ISO 8778 Pneumatic fluid power — Standard reference atmosphere,” 2003. [En línea]. Disponible en: www.iso.org
- [99] Festo, “Condiciones de utilización generales,” 2022, pp. 16–17.
- [100] S. Ing. Cabrera, “Guía Módulo Neumática y Oleohidráulica,” pp. 47–49, 2021.
- [101] SCHMALZ, “Técnica de vacío para la industria alimentaria,” 2019. <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/materiales-ade cuados-para-la-manipualcion-de-alimentos/> (Último acceso Nov. 07, 2022).
- [102] COVAL, “Criterios de selección de una ventosa ,” 2020. <https://www.coval-iberica.com/la-tecnologia-de-vacio/los-criterios-de-seleccion-de-una-ventosa/> (Último acceso Nov. 07, 2022).
- [103] R. Sánchez, *Tecnología Vacío-neumática* , (2018). Último acceso: Nov. 07, 2022. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=dW2T-vqYB4I&t=291s>

- [104] J. Olt, V. Maksarov, K. Soots, and T. Leemet, “Technology for the Production of Environment Friendly Tableware,” *Environmental and Climate Technologies*, vol. 24, pp. 57–66, Sep. 2020, doi: 10.2478/rtuct-2020-0054.
- [105] N. Techeira, L. Sívoli, B. Perdomo, A. Ramírez, and F. Sosa, “Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela,” Mar. 2014.
- [106] C. Villajulca, “¿Que valores iniciales usar en un PID?,” *Instrumentación y Automatización Industrial*, Dec. 20, 2019. <https://instrumentacionycontrol.net/que-valores-iniciales-usar-en-un-pid/> (Último acceso Nov. 19, 2022).
- [107] N. Botta, “Temperatura de Fusión de Metales,” in *Red Proteger*, 2018. Último acceso: Nov. 19, 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.redproteger.com.ar/temp_fusion.htm
- [108] J. P. Patel and P. H. Parsania, “Characterization, testing, and reinforcing materials of biodegradable composites,” *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites: Processing, Properties and Applications*, pp. 55–79, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-08-100970-3.00003-1.
- [109] H. Zapana, “Factores de corte en el fresado,” Mar. 2014. Último acceso: Nov. 20, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos104/factores-corte-fresado/factores-corte-fresado2>
- [110] J. Oliver, “Implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio,” Universidad Politécnica de Catalunya , Barcelona, 2005. Último acceso: Nov. 21, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/2833>
- [111] O. Rodríguez, “Máquinas, Métodos y Control Dimensional del Procesamiento,” Rosario, 2018.
- [112] Bosch Rexroth AG, “Rodamientos lineales,” España, 2018.

- [113] Norma Técnica Ecuatoriana, “NTE INEN 1641 Muebles De Oficina. Escritorios y Mesas. Requisitos,” Quito, Jun. 2016.
- [114] T. D. P. José, “NTP 298: Almacenamiento en estanterías y estructuras.”, Madrid, 2018

ANEXOS

Anexo 1. Proceso constructivo

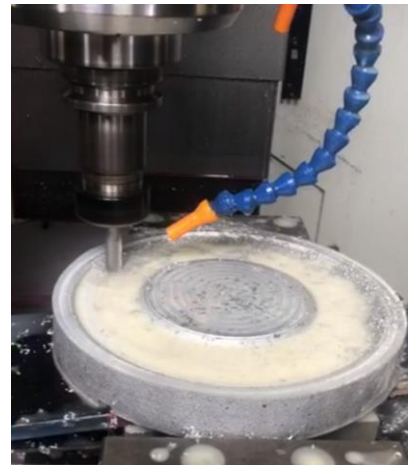
PROCESO CONTRUCCTIVO

Una vez seleccionados y adquiridos los materiales se procede a construir el prototipo.

1. Se realiza la fundición de toda la aleación de aluminio 6063 conseguida para obtener los bloques para las matrices superiores e inferiores (bloques cilíndricos de 23 cm de diámetro y 32 mm de altura).



2. Se procede a realizar el mecanizado de las matrices (superior e inferior) en los laboratorios de la universidad con ayuda del ayudante de laboratorio.



3. En caso de que las matrices presenten porosidad (por una inadecuada fundición) se realiza una especie de ensayo de tintas penetrantes coloreadas para corroborar que no existan grietas en los moldes, que puede llegar a ser crítico.





Se evidencia que existe una notable porosidad por esto mismo se generan los círculos rojos pero se comprueba además que no existen grietas debido a que no se grafican líneas, más bien solo manchas circulares por la porosidad.

4. Adicionalmente se realiza una prueba de rugosidad con los equipos de la universidad para confirmar un buen acabado superficial.



Se observa que se tiene un promedio de rugosidad de 0,80 micrones por lo que corresponde a un acabado superficial N6.

5. Se realiza la conexión eléctrica con el objetivo de lograr controlar el sistema neumático para comprobar su correcto funcionamiento.



6. A continuación se construye la estructura de la máquina.







7. Para evitar que la estructura se oxide, se la pinta con una capa de fondo antioxidante.



8. Se realizan perforaciones en todos los componentes que emplearán pernos para su sujeción o unión, es decir se taladra agujeros en la placa de soporte superior e inferior, en la base de los ejes guías, en los soportes de sujeción, en los soportes de los rodamientos y en el canal en U superior de la estructura donde va a posicionarse el cilindro neumático. Se siguen las indicaciones de los planos técnicos para perforar.





9. Se acopla el cilindro neumático al canal en U superior de la estructura.



10. Se acoplan los soportes de los rodamientos a la placa de soporte superior.



11. Se acopla la placa de soporte superior al vástago del cilindro neumático y a los ejes guía acoplando de igual manera en la base, es decir a la placa de soporte inferior.





12. Se acoplan los moldes (matriz superior e inferior) y los soportes de sujeción. Una vez acoplados es necesario realizar una prueba de funcionamiento manual para verificar roces y que el vástago eleve y prenda sin inconvenientes.



13. Una vez comprobado el funcionamiento mecánico y resuelto cualquier problema si se llegará a presentar, se procede a limpiar y proteger los componentes para pintar.





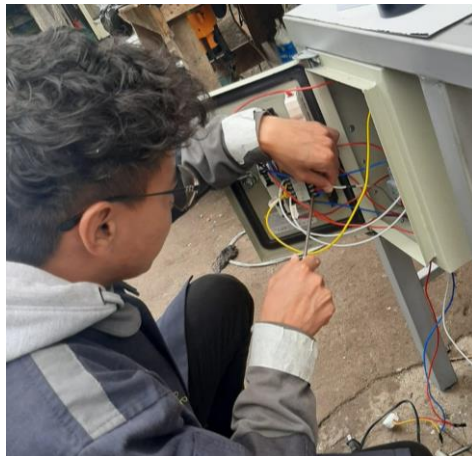
14. Se espera a que los componentes pintados se sequen y se vuelve a ensamblar todo el prototipo.



15. Se corta las planchas de acero inoxidable y se las acopla en los laterales de la estructura para que actúe como una especie de mesa.



16. Se instala el sistema eléctrico (caja de control y sistema de calentamiento) y el sistema neumático. En adición a esto, se realiza al final una última prueba de funcionamiento para corroborar su correcta labor.



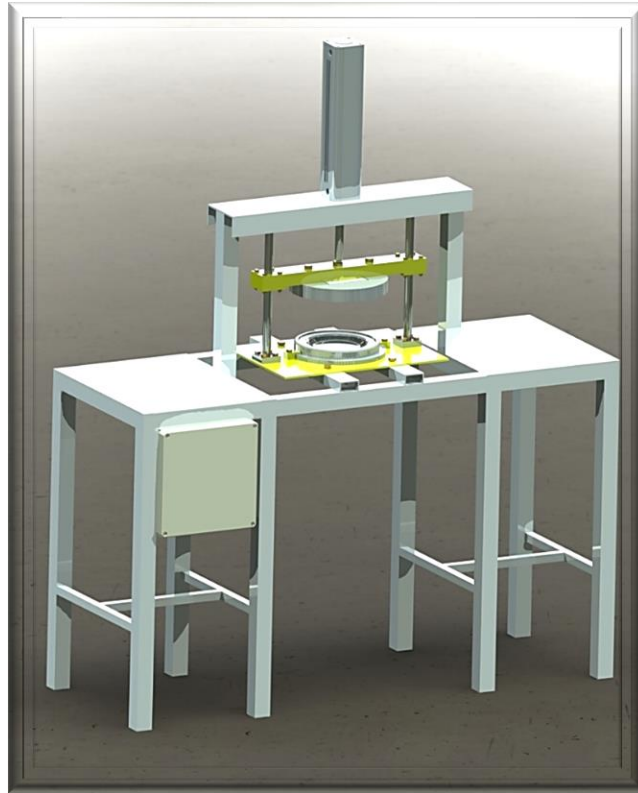


17. Finalmente se traslada a los laboratorios de la universidad.



Anexo 2. Manual de funcionamiento y de seguridad.

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO



Antes de poner en marcha la máquina se debe comprobar los siguientes parámetros:

- Comprobar que no exista algún tipo de obstrucción al momento de levantarse la matriz superior de la máquina.
- Comprobar que todos los componentes de la maquina se encuentren correctamente ajustados.
- Comprobar que todas las conexiones de los componentes eléctricos se encuentren correctamente conectados.
- Comprobar que los interruptores tanto del sistema de calentamiento de matrices como el encendido de la máquina estén apagados.

Finalizado la comprobación de los parámetros mencionados anteriormente, se inicial con el proceso de la fabricación de los platos biodegradables.

1. Se debe conectar la máquina a una red de corriente eléctrica de 110 voltios.
2. Se debe conectar el compresor a una red de corriente eléctrica de 110 voltios.
3. Se conecta el compresor a la unidad de mantenimiento del sistema neumático de la máquina.
4. Se debe encender el compresor, tomando en cuenta la presión requerida por el sistema neumático.
5. Regular la presión a 7 bares, en la unidad de mantenimiento, presión recomendada para el termoformado del plato.

6. Encender la máquina levantando el **SWITCH ON/OFF** de la caja de control.



7. Encender el sistema de calentamiento de las resistencias levantando el **SWITCH ON/OFF** de la caja de control.



8. Configurar la temperatura deseada en el **CONTROL DE TEMPERATURA (PID)**. Para seleccionar el valor adecuado, se emplea el botón (↑) para aumentar la temperatura y el botón (↓) para bajar la temperatura, el valor deseado titila, por lo cual hay que aplastar el botón SET para aceptar el valor y empezar el cambio térmico.



9. Esperar unos 10 minutos hasta que las matrices lleguen a la temperatura establecida (140 °C).

10. Configurar el tiempo de 1 minuto que se tarda en realizar el proceso de termoformado, en el temporizador (**TIMER**) que se encuentra en la caja de control. Este dispositivo permite regular el tiempo tanto en segundos como en minutos siendo el máximo de 1 hora. Para el control se emplean las dos perillas superiores.



11. Colocar el antiadherente en las matrices superior e inferior.



12. Colocar materia prima en la matriz inferior para el proceso de termoformado.



13. Pulsar el botón **STAR** color verde para el inicio del recorrido del cilindro neumático del proceso de termoformado.



14. Retirar el plato del molde inferior por medio de la ventosa, pulsar el botón **SUCCIÓN** para el levantamiento del plato.



15. Pulsar el botón **EXPULSIÓN** para colocar el plato en la mesa de trabajo.





16. Se debe esperar unos segundos hasta que el plato biodegradable se seque por completo y se procede a recortar el exceso de los bordes.
17. Finalmente se obtiene el producto deseado.
18. Para continuar con la producción de platos biodegradables se repite desde el paso número 11.

19. Si existe algún problema inmediatamente pulsar el botón de **EMERGENCIA**.



20. Una vez terminado el proceso y la producción se procede a apagar el equipo. Apagar bajando el **SWITCH ON/OFF** de la caja de control.



21. Apagar el sistema de calentamiento de las resistencias bajando el **SWITCH ON/OFF** de la caja de control.



22. Apagar el compresor.
23. Desconectar las fuentes de energía, tanto la eléctrica como la neumática (compresor)
24. Finalmente el plato está listo para utilizarse.



INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD



Es muy importante recordar que existe riesgo de accidentes al utilizar la máquina, por lo que se ha decidido tener en cuenta los siguientes parámetros para garantizar su seguridad.

- La presión máxima del sistema neumático de algunos componentes soporta hasta los 10 bares, pero se recomienda no exceder la presión máxima de 8 bares, ya que es suficiente para el termoformado del plato.
- Evitar colocar las manos en la zona de las matrices cuando la máquina se encuentra en funcionamiento, ya que se emplea mucha fuerza para el prensado llegando a ocasionar una lesión grave e irreversible en las extremidades del usuario.
- No colocar las manos sobre las matrices o en la zona de las resistencias eléctricas mientras se encuentra encendidas, ya que al estar a temperaturas altas es una zona de mucho peligro para el operario debido a que, puede sufrir una quemadura grave.
- Cuando la máquina se encuentra en funcionamiento se debe mantener cualquier parte del cuerpo lejos de la zona de calentamiento es decir en un límite lejano de las placas de soporte superior e inferior que tienen un color dorado.
- El peso recomendado para fabricar un plato biodegradable con la materia prima propuesta es de 80 a 90 gramos, si se excede el valor es muy posible que la presión acumulada por los vapores haga que el plato reviente y el material salga con dirección aleatoria por lo que puede impactar al operario y al estar en una temperatura elevada puede llegar a dejar un golpe leve pero una quemadura grave.
- Se debe tener la indumentaria correcta para manejar la máquina, en especial guantes ya que la materia prima no debe ser contaminada y ayuda a evitar quemaduras.
- Si existe algún inconveniente o problema con la máquina es recomendable pulsar el paro de emergencia, de esta manera el sistema neumático de la máquina regresara a su estado inicial.

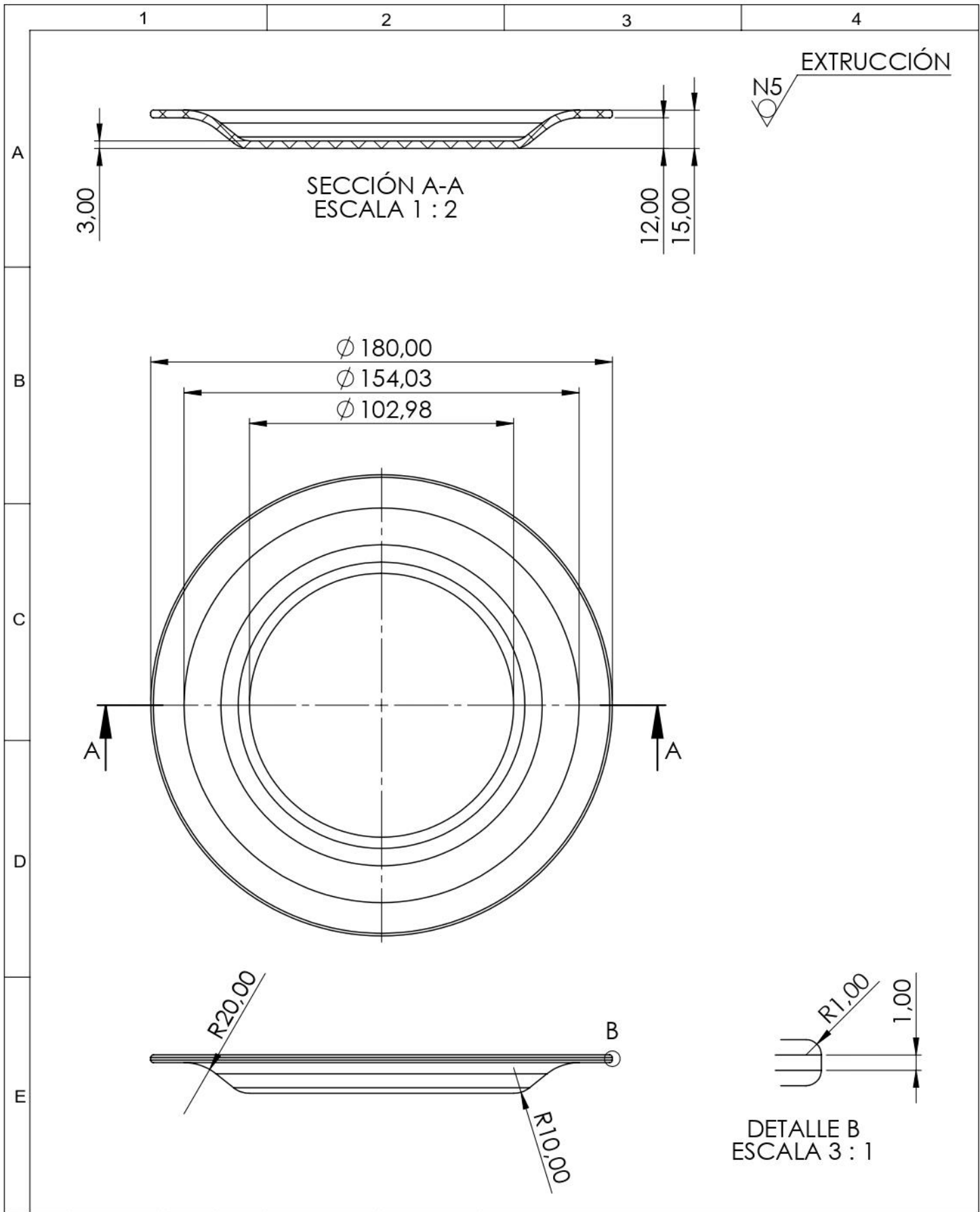
Anexo 3. Manual de mantenimiento

**MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA PARA FABRICAR
PLATOS CON MATERIAL BIODEGRADABLE**

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA		
	CARRERA DE MECÁNICA		
Máquina:	Prototipo para elaborar platos biodegradables.	Presión Max:	8 bar
Sistema:	Sistema mecánico, eléctrico, neumático.	Temperatura Max:	400 °C
Función:	Máquina utilizada para elaborar platos de 7 pulgadas a partir de material biodegradable.	Fecha:	21/01/2023
Actividad	Regularidad	Duración	Recomendaciones
Limpiar matriz superior e inferior	Diario	5 minutos	Limpiar matriz superior e inferior, ya que se acumula desechos del material y aceite antiadherente.
Lubricar ejes de las columnas guías	Semanal	10 minutos	Limpiar previamente los ejes de las columnas guías, además utilizar el mismo tipo de lubricante.
Comprobar y ajustar todos los pernos de las placas de soporte y moldes (superior e inferior)	Semanal	20 minutos	Utilizar las herramientas y la fuerza adecuada para evitar que el perno se aislé.
Comprobar y ajustar los racores del sistema neumático	Mensual	15 minutos	Utilizar las herramientas adecuadas al momento de ajustar los racores para evitar la salida del aire.
Cambiar las mangueras de aire del sistema neumático	Cada 3 años	30 minutos	Desacoplar cuidadosamente la manguera de aire, evitando dañar los racores del sistema neumático.
Cambio del lubricante de la unidad de mantenimiento	Semestral	10 minutos	Utilizar el mismo tipo de lubricante.
Cambio de la fibra de vidrio aislante de las matrices	Mensual	45 minutos	Utilizar el mismo las mismas dimensiones de la fibra de vidrio aislante.

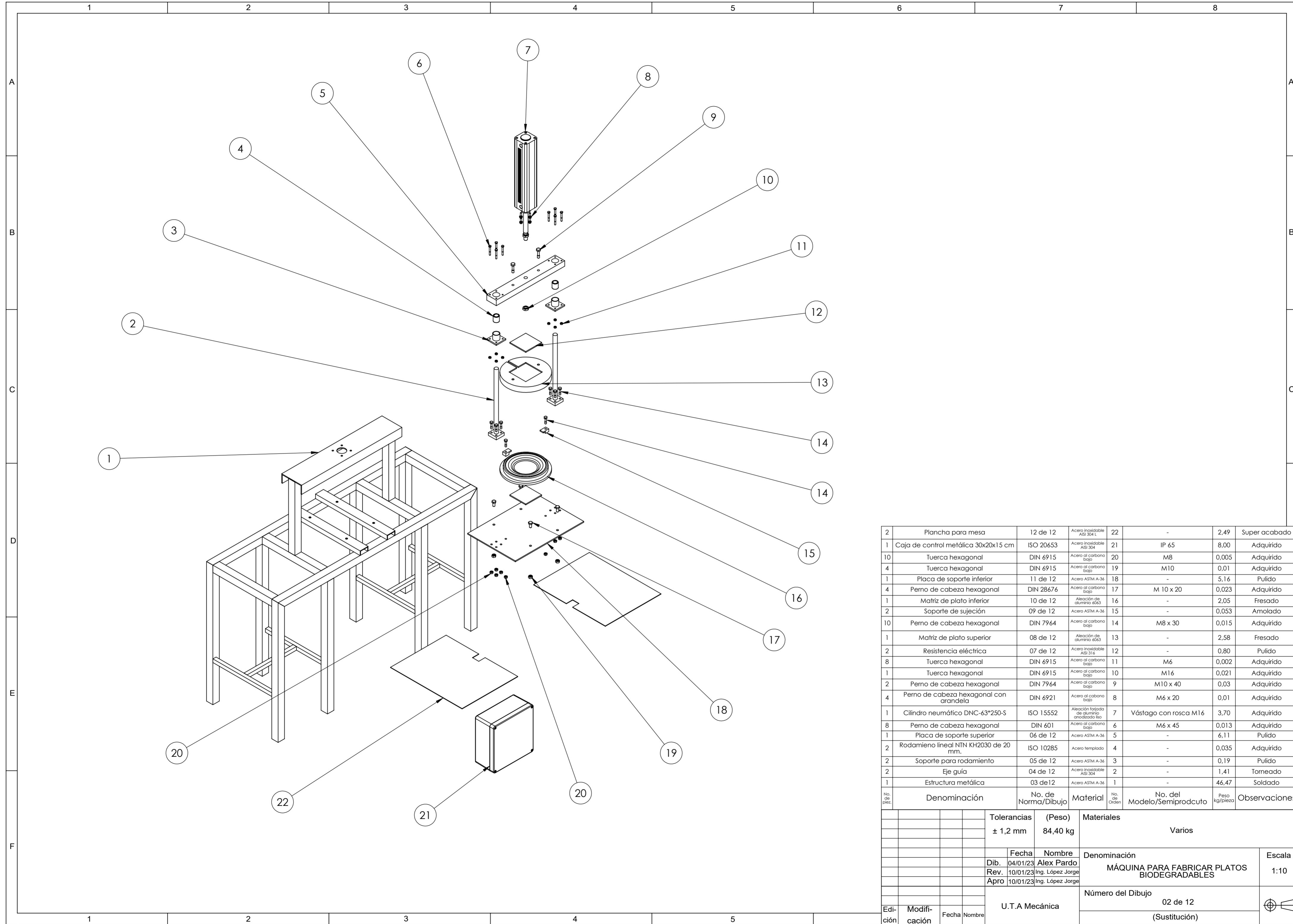
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
		FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA		
		CARRERA DE MECÁNICA		
Máquina:	Prototipo para elaborar platos biodegradables.	Presión Max:	8 bar	
Sistema:	Sistema mecánico, eléctrico, neumático.	Temperatura Max:	400 °C	
Función:	Máquina utilizada para elaborar platos de 7 pulgadas a partir de material biodegradable.	Fecha:	21/01/2023	
Actividad	Regularidad	Duración	Recomendaciones	
Limpeza de la placa de soporte inferior	Diario	30 minutos	Limpiar la placa de soporte inferior, ya que se acumula desechos del material.	
Cambio de la ventosa	Cada 3 años	10 minutos	Utilizar el mismo tipo de ventosa.	
Limpiar las planchas de la estructura	Diario	5 minutos	Limpiar correctamente las planchas, para evitar contaminación al momento de acomodar los platos.	
Limpiar el sistema de control eléctrico	Semestral	30 minutos	Limpiar de manera cuidadosa el sistema de control eléctrico evitando que los cables se enreden.	
Comprobar los cables de boninas de las electroválvulas	Anual	45 minutos	Verificar el que se encuentren en buen estado de los cables de las bobinas de las electroválvulas	
Comprobar la sujeción de la canaleta de cables eléctricos	Semestral	10 minutos	Verificar que la canaleta de cables eléctricos se encuentre correctamente sujeta a la estructura.	
Limpiar canaletas de cables	Semestral	20 minutos	Limpiar cuidadosamente la canaleta de cables eléctricos, evitando que se desajuste de la estructura.	
Comprobar y ajustar los pernos del cilindro neumático	Mensual	10 minutos	Utilizar las herramientas y la fuerza adecuada para evitar que el perno se aislé.	
Pintar las placas de soporte superior e inferior	Mensual	45 minutos	Pintar correctamente las placas de soporte superior e inferior, ya que al estar expuestas a temperaturas altas y al contacto con aceite, la pintura se desprende.	

Anexo 4. Dimensiones del plato a fabricar



				Tolerancias ± 2,5 mm	(Peso) 0,086 kg	Materiales Poliestireno	
						Denominación	Escala
				Dib.	04/01/23	Alex Pardo	1:2
				Rev.	10/01/23	Ing. López Jorge	
				Apro	10/01/23	Ing. López Jorge	
				U.T.A Mecánica		Número del Dibujo	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			01 (Sustitución)	

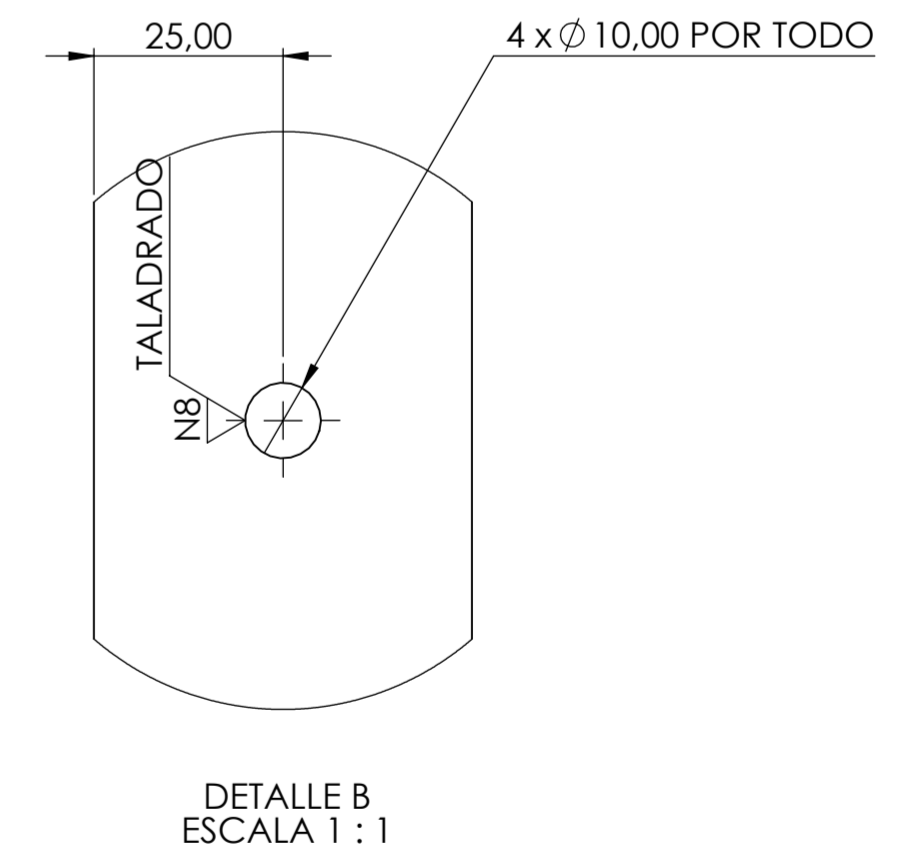
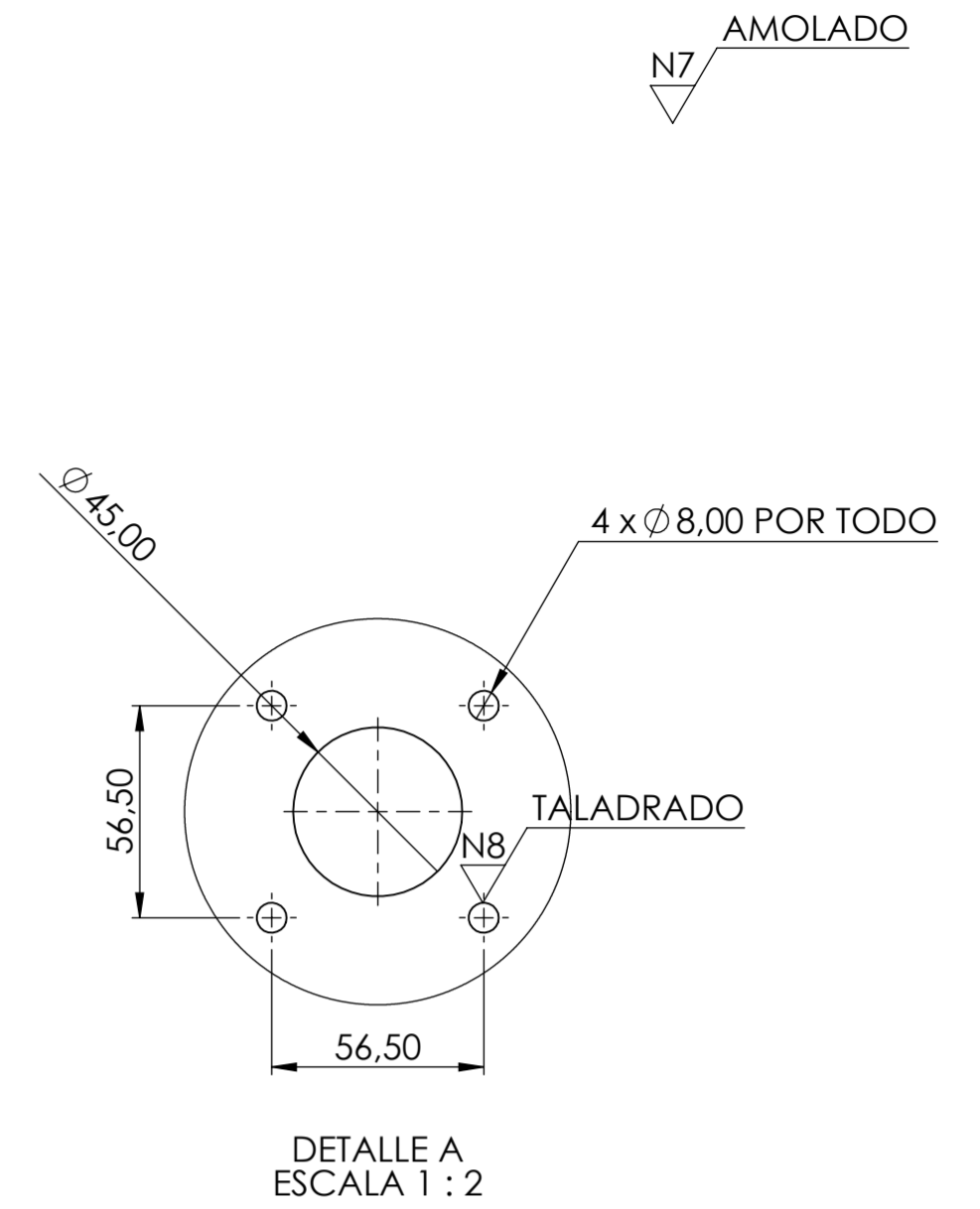
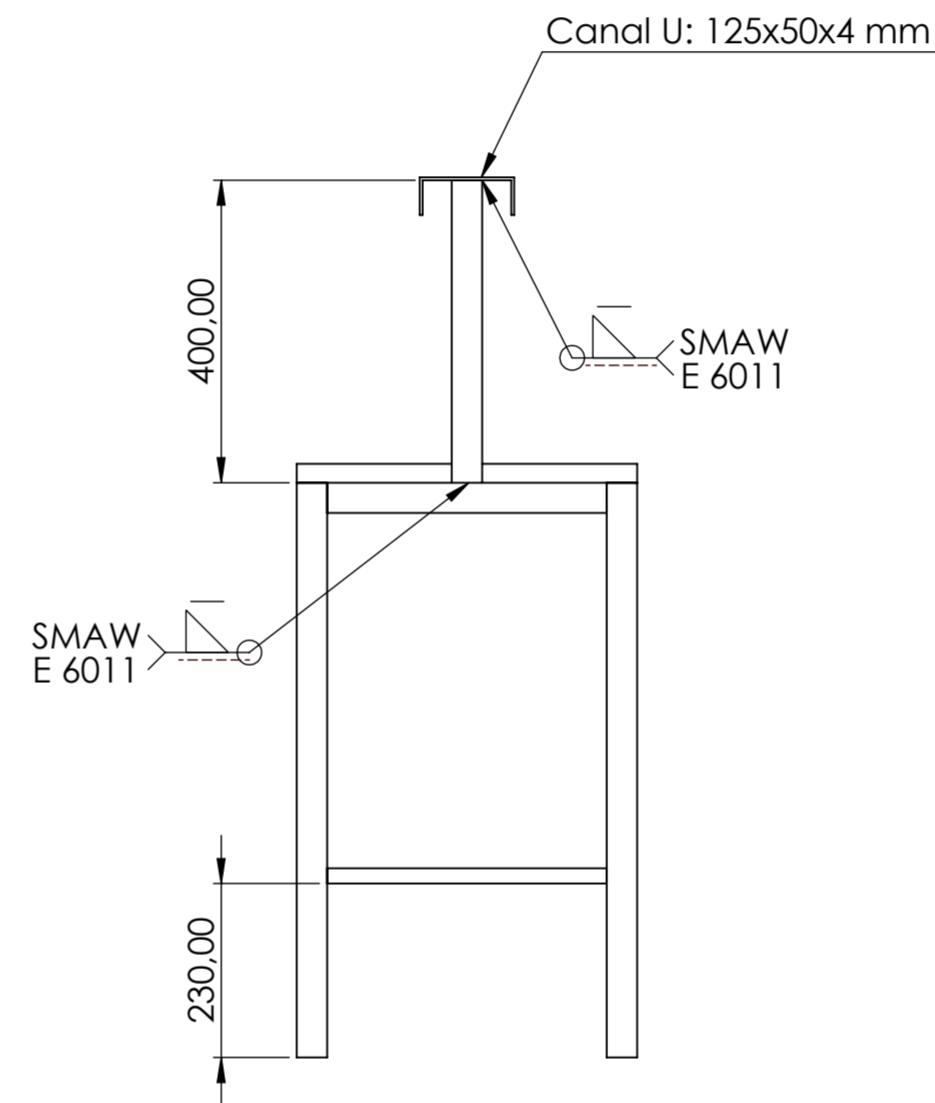
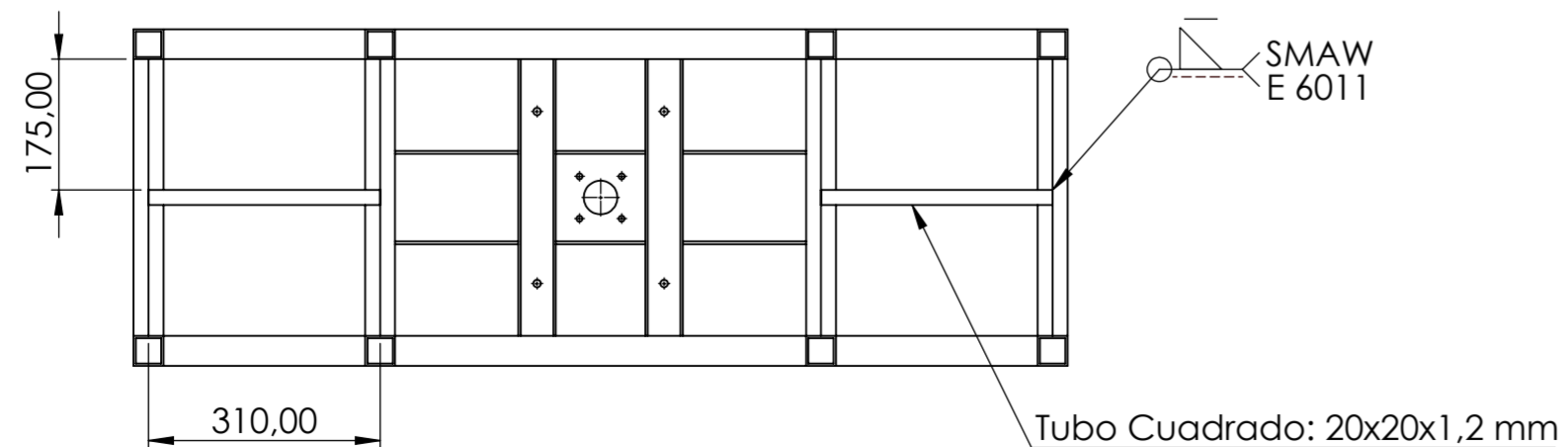
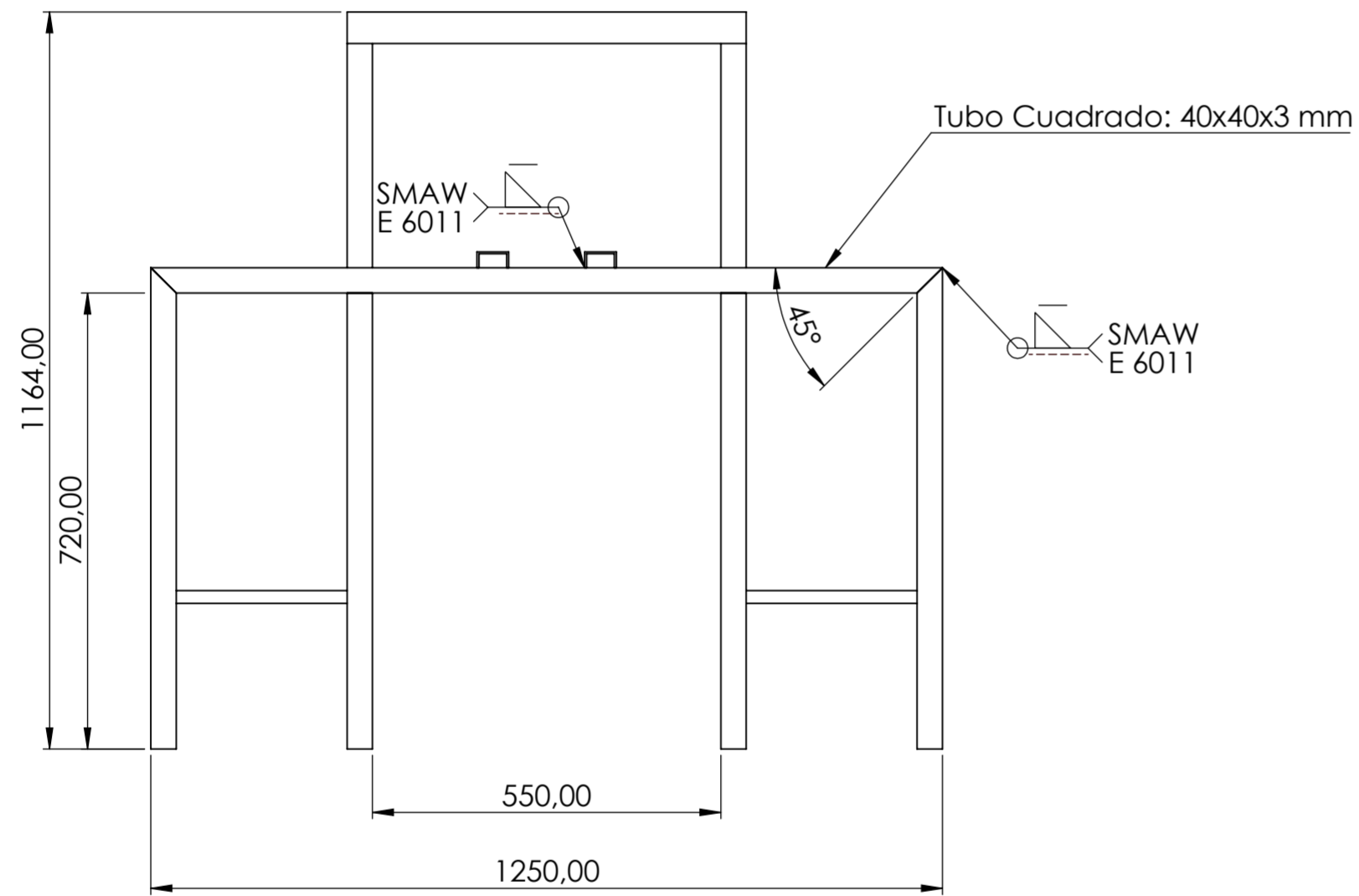
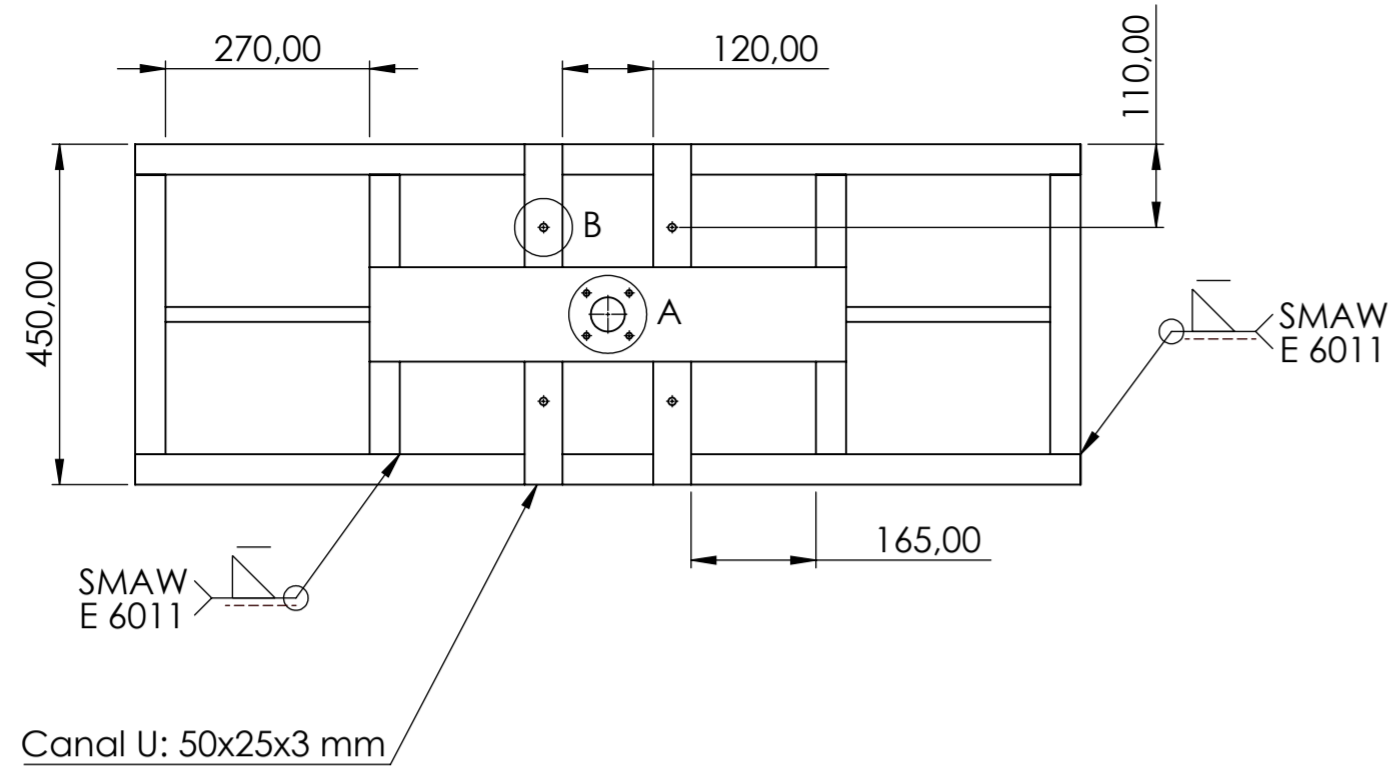
Anexo 5. Planos técnicos de la máquina para elaborar platos con material biodegradable.



No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de Orden	No. del Modelo/Semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
2	Plancha para mesa	12 de 12	Acero inoxidable AISI 304 L	22	-	2,49	Super acabado
1	Caja de control metálica 30x20x15 cm	ISO 20653	Acero inoxidable AISI 304	21	IP 65	8,00	Adquirido
10	Tuerca hexagonal	DIN 6915	Acero al carbono bajo	20	M8	0,005	Adquirido
4	Tuerca hexagonal	DIN 6915	Acero al carbono bajo	19	M10	0,01	Adquirido
1	Placa de soporte inferior	11 de 12	Acero ASTM A-36	18	-	5,16	Pulido
4	Perno de cabeza hexagonal	DIN 28676	Acero al carbono bajo	17	M 10 x 20	0,023	Adquirido
1	Matriz de plato inferior	10 de 12	Aleación de aluminio 6063	16	-	2,05	Fresado
2	Soporte de sujeción	09 de 12	Acero ASTM A-36	15	-	0,053	Amolado
10	Perno de cabeza hexagonal	DIN 7964	Acero al carbono bajo	14	M8 x 30	0,015	Adquirido
1	Matriz de plato superior	08 de 12	Aleación de aluminio 6063	13	-	2,58	Fresado
2	Resistencia eléctrica	07 de 12	Acero inoxidable AISI 316	12	-	0,80	Pulido
8	Tuerca hexagonal	DIN 6915	Acero al carbono bajo	11	M6	0,002	Adquirido
1	Tuerca hexagonal	DIN 6915	Acero al carbono bajo	10	M16	0,021	Adquirido
2	Perno de cabeza hexagonal	DIN 7964	Acero al carbono bajo	9	M10 x 40	0,03	Adquirido
4	Perno de cabeza hexagonal con arandela	DIN 6921	Acero al carbono bajo	8	M6 x 20	0,01	Adquirido
1	Cilindro neumático DNC-63*250-S	ISO 15552	Aleación forjada de aluminio anodizado iso	7	Vástago con rosca M16	3,70	Adquirido
8	Perno de cabeza hexagonal	DIN 601	Acero al carbono bajo	6	M6 x 45	0,013	Adquirido
1	Placa de soporte superior	06 de 12	Acero ASTM A-36	5	-	6,11	Pulido
2	Rodamiento lineal NTN KH2030 de 20 mm.	ISO 10285	Acero templado	4	-	0,035	Adquirido
2	Soporte para rodamiento	05 de 12	Acero ASTM A-36	3	-	0,19	Pulido
2	Eje guía	04 de 12	Acero inoxidable AISI 304	2	-	1,41	Torneado
1	Estructura metálica	03 de 12	Acero ASTM A-36	1	-	46,47	Soldado

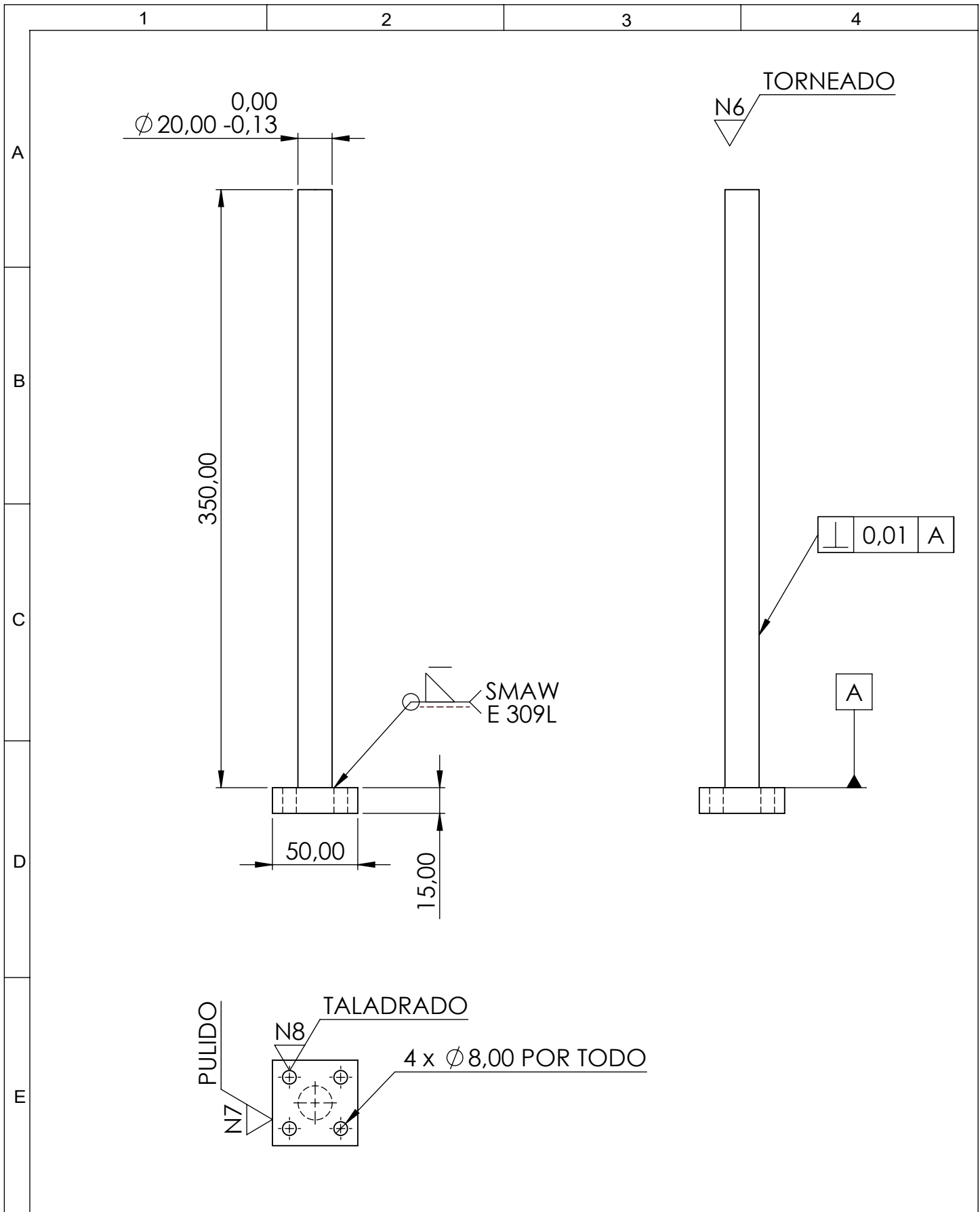
Tolerancias		(Peso)		Materiales		
± 1,2 mm		84,40 kg		Varios		
Fecha		Nombre		Denominación		
Dib. 04/01/23		Alex Pardo		MÁQUINA PARA FABRICAR PLATOS BIODEGRADABLES		
Rev. 10/01/23		Ing. López Jorge		Escala		
Apro. 10/01/23		Ing. López Jorge		1:10		
Número del Dibujo				02 de 12		
				(Sustitución)		

Edición	Modificación	Fecha	Nombre	U.T.A Mecánica		

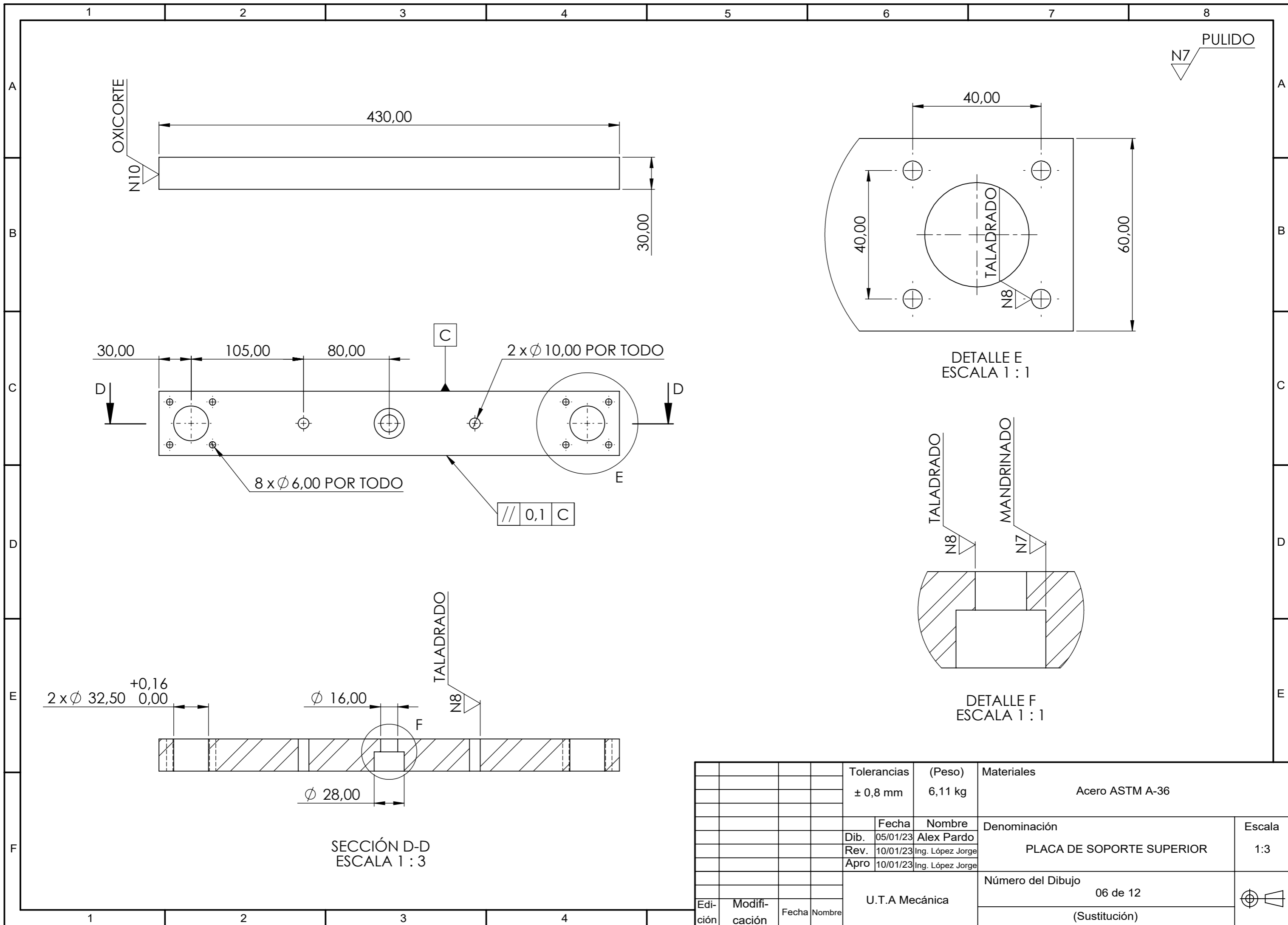


NOTA: Toda la soldadura se realiza mediante proceso SMAW con electrodo 6011 y debe tener acabado enrasado.

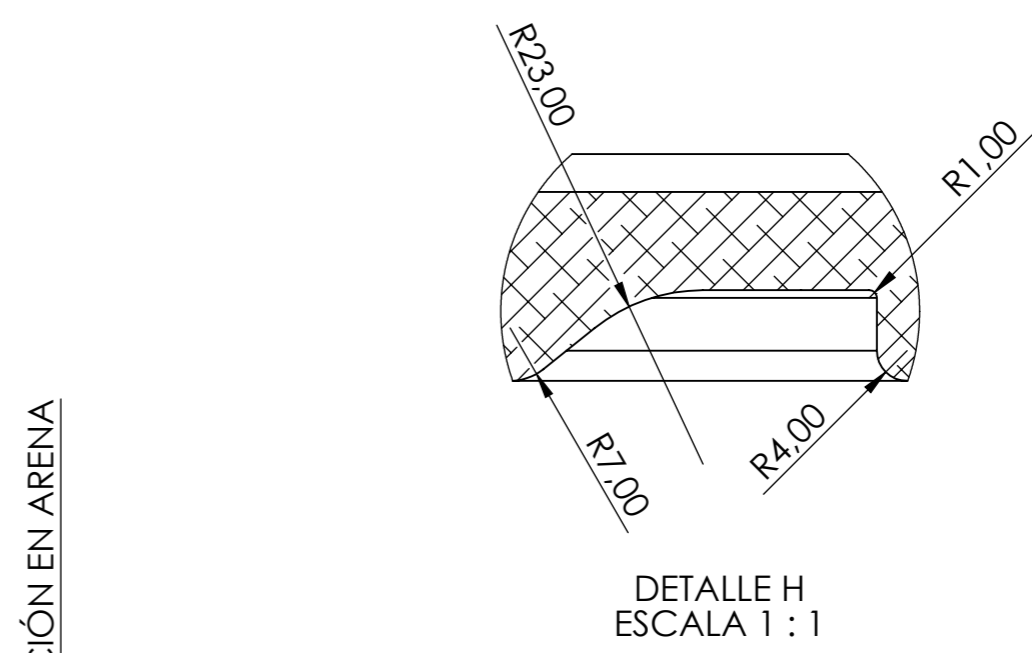
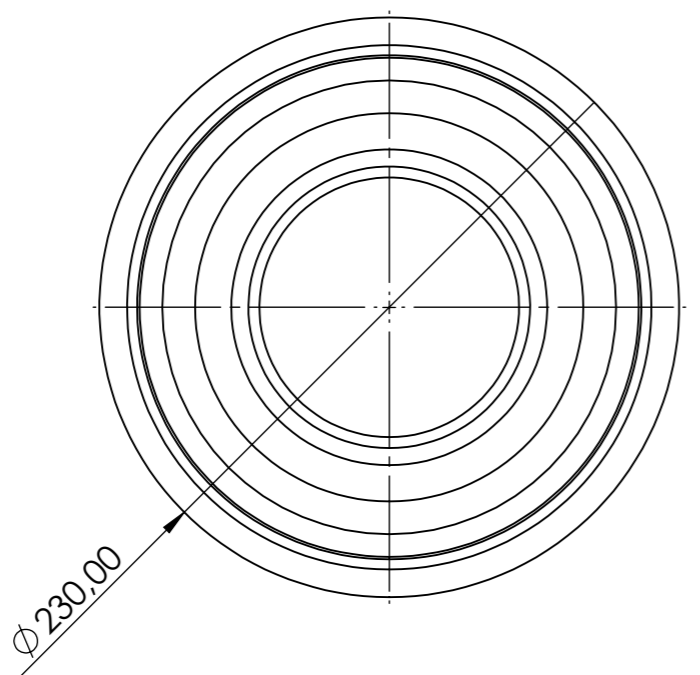
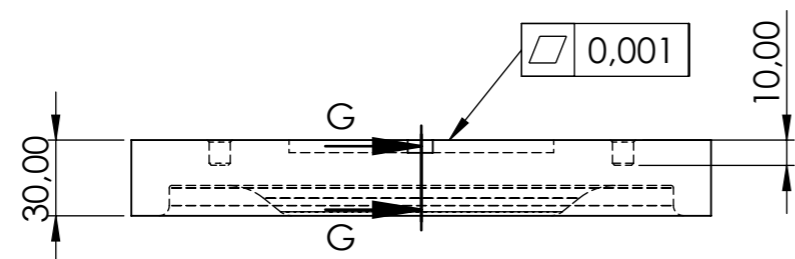
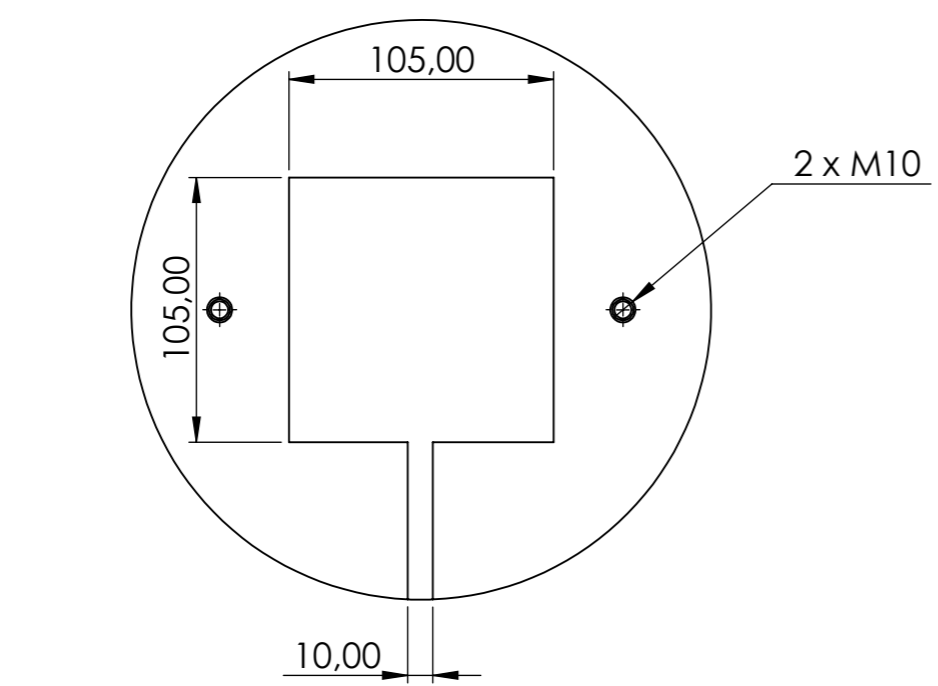
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				± 1,2 mm	46,47 kg	Acero ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib. 05/01/23	Alex Pardo	ESTRUCTURA METÁLICA	
				Rev. 10/01/23	Ing. López Jorge	Escala	
				Apro. 10/01/23	Ing. López Jorge	1:10	
						Número del Dibujo	
						03 de 12	
						(Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	U.T.A Mecánica			



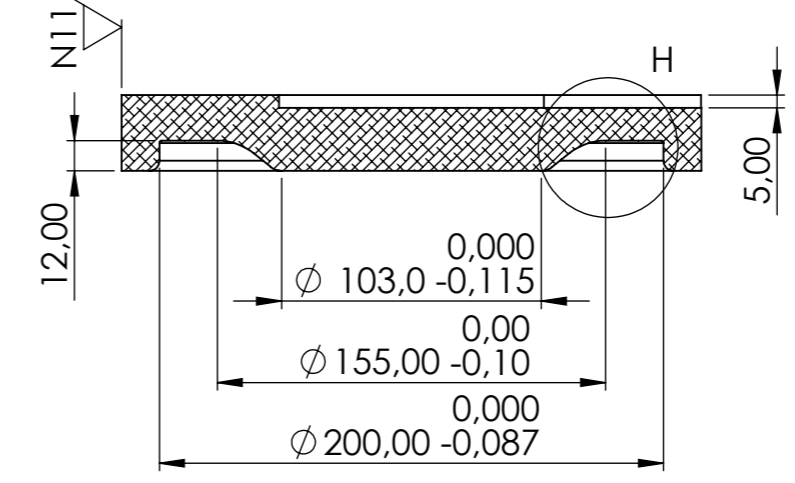
				Tolerancias $\pm 0,1$ mm	(Peso) 1,41 kg	Materiales Acero inoxidable AISI 304		
						Denominación EJE GUÍA	Escala 1:3	
				Dib.	05/01/23			Paúl Guamanquispe
				Rev.	10/01/23			Ing. López Jorge
				Apro	10/01/23	Ing. López Jorge		
				U.T.A Mecánica		Número del Dibujo 04 de 12		
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



N6 FRESADO

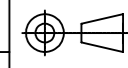


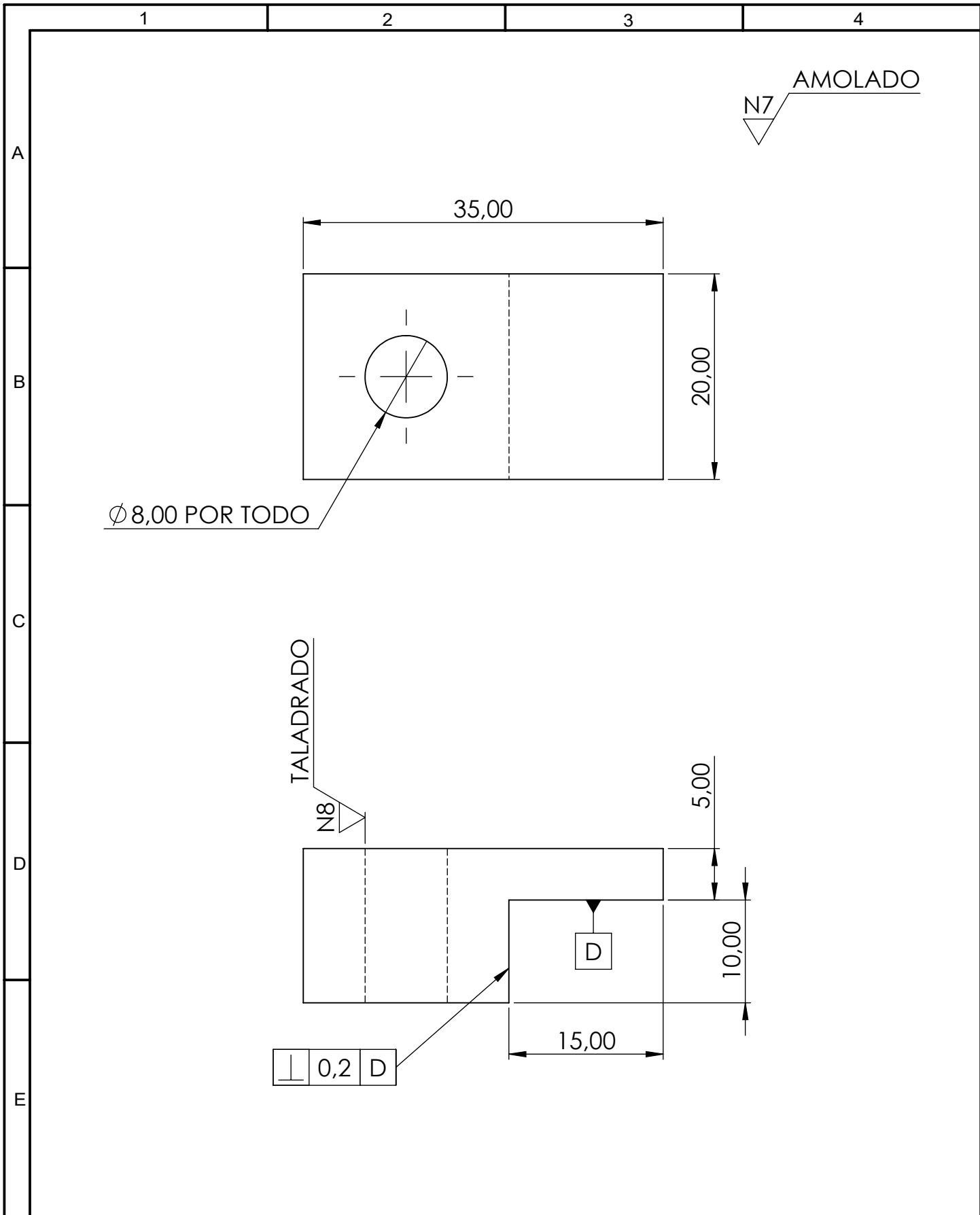
FUNDICIÓN EN ARENA



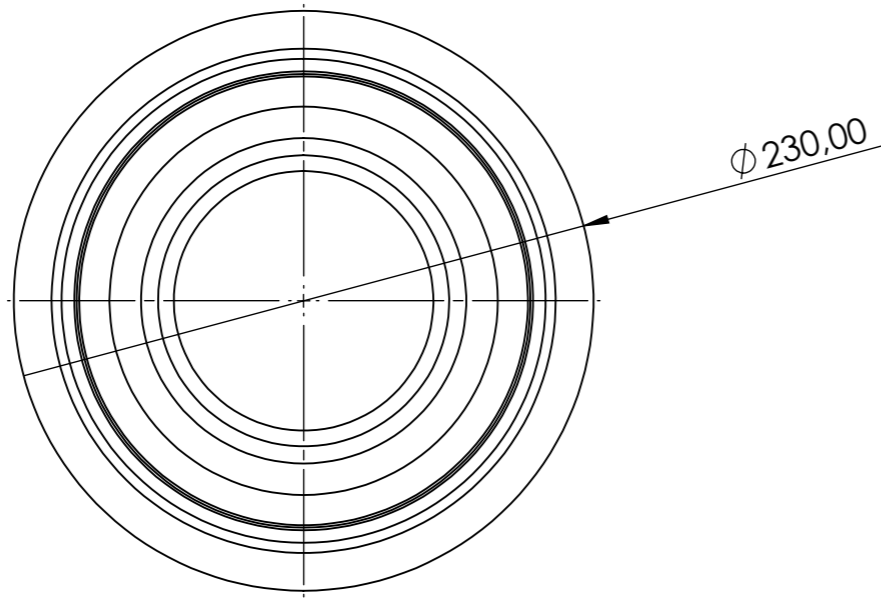
SECCIÓN G-G
ESCALA 1 : 3

				Tolerancias ± 0,2 mm	(Peso) 2,58 kg	Materiales Aleación de aluminio 6063	
						Fecha	Nombre
						Dib. 07/01/23	Alex Pardo
						Rev. 10/01/23	Ing. López Jorge
						Apro. 10/01/23	Ing. López Jorge
						Denominación MATRIZ DE PLATO SUPERIOR	
						Escala 1:3	
						Número del Dibujo 08 de 12	
						(Sustitución)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	U.T.A Mecánica			

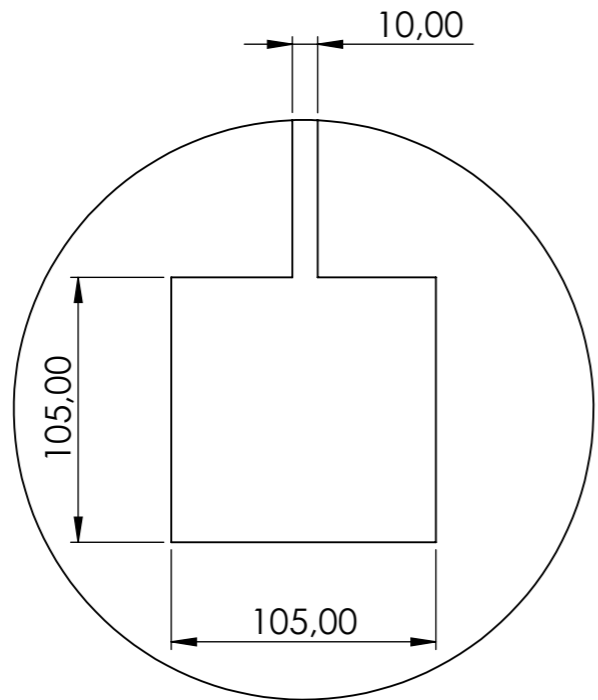
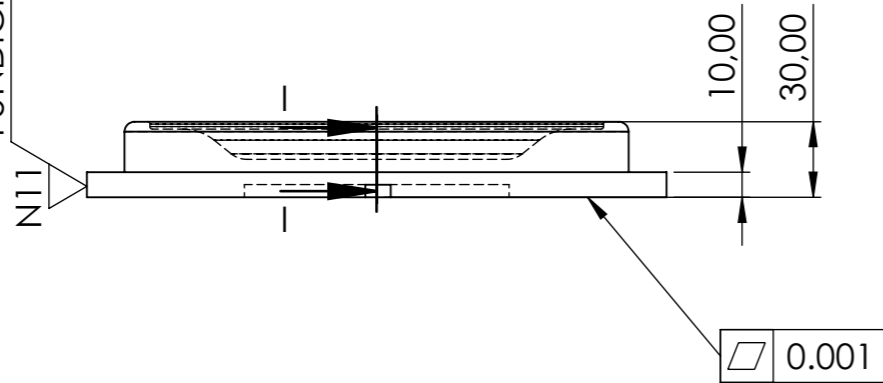




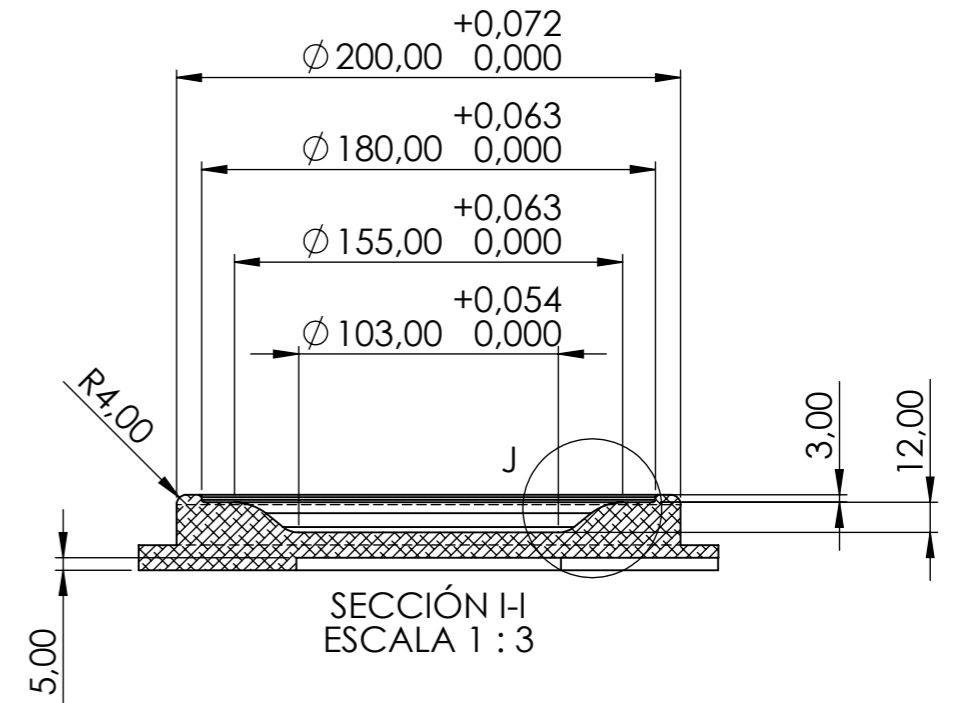
				Tolerancias $\pm 0,3$ mm	(Peso) 0,053 kg	Materiales Acero ASTM A-36	
						Denominación SOPORTE DE SUJECIÓN	Escala 2:1
				Fecha	Nombre		
				Dib. 06/01/23	Alex Pardo		
				Rev. 10/01/23	Ing. López Jorge		
				Apro 10/01/23	Ing. López Jorge		
				U.T.A Mecánica		Número del Dibujo 09 de 12	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



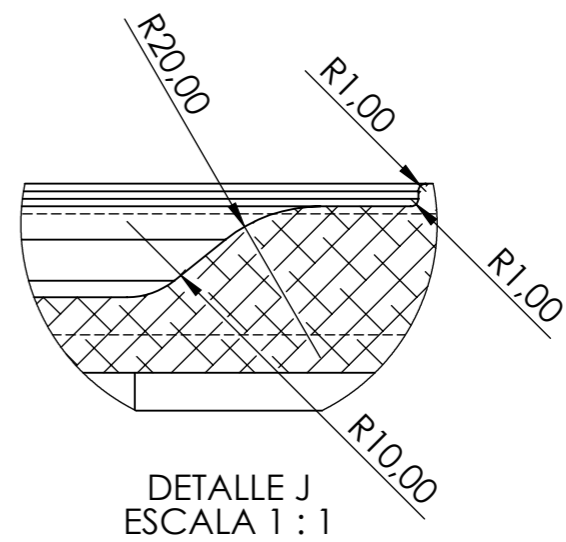
FUNDICIÓN EN ARENA



N6 FRESADO



SECCIÓN I-I
ESCALA 1 : 3



DETALLE J
ESCALA 1 : 1

				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				$\pm 0,2 \text{ mm}$	2.05kg	Aleación de aluminio 6063	
					Fecha	Nombre	Denominación
					Dib. 07/01/23	Paúl Guamanquispe	MATRIZ DE PLATO INFERIOR
					Rev. 10/01/23	Ing. López Jorge	
					Apro. 10/01/23	Ing. López Jorge	
							Número del Dibujo
							10 de 12
							(Sustitución)
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	U.T.A Mecánica			

