

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

Diseño y construcción de un troquel para elaborar platos a base de hojas
de banano

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Edison Guillermo Briones Cardoso
Juan Andrés de la Cruz Menoscal

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, que con su amor, trabajo y esfuerzo me han permitido llegar hasta este momento.

A mis hermanas que me han apoyado en cada meta propuesta.

A mis amigos que me han acompañado durante este término académico.

Juan De La Cruz.

Este proyecto lo dedico a mis padres porque gracias a su apoyo incondicional he podido llegar tan lejos en mi vida universitaria.

A mis amigos por hacer de esta vida universitaria tan divertida y relajante.

Edison Briones.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al MSc. Rodolfo Paz y el PhD. Eduardo Castillo, que con sus experiencias académicas y profesionalismo han sido una guía durante el desarrollo de este proyecto.

Juan De La Cruz.

Agradezco al PhD Eduardo Castillo por sembrar su confianza en nosotros para realizar este proyecto, al MSc. Rodolfo Paz por formarnos a lo largo del semestre y a Robota y al laboratorio de Mecatrónica por brindarnos sus instalaciones para realizar las pruebas.

Edison Briones.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Edison Briones* y *Juan de la Cruz* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Edison Briones



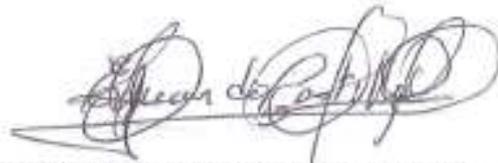
Juan de la Cruz

EVALUADORES



MSc. Rodolfo Paz Mora

PROFESOR DE LA MATERIA



Ph.D. Eduardo Castillo Orozco

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Este trabajo final de grado tiene como objetivo el diseño y la fabricación de un troquel para el estampado de platos hechos a base de hojas de banano. El troquel incluye el diseño de un sistema de control de temperatura que permite realizar el proceso en caliente. Este trabajo está motivado por la necesidad de investigar una alternativa sostenible que promueva la reducción del consumo de polímeros, e.g., poliestireno expandido, empleado en la elaboración de platos desechables.

El diseño del sistema de control de temperatura del troquel se basa en la acción de un relé de estado sólido (SSR) controlado por un microcontrolador (Arduino). Se emplearon simulaciones computacionales (software comercial Ansys) basadas en el método de volúmenes finitos para el modelaje del flujo de calor a través de la matriz y el punzón del troquel. El modelaje numérico tiene como objetivo optimizar una distribución uniforme de temperatura superficial según los requerimientos establecidos. Posteriormente, se validan los resultados experimentalmente mediante adquisición de datos de temperatura. Pruebas experimentales muestran que un incremento de temperatura reduce el tiempo de formado de la hoja de banano. Esto se debe a que la hoja se deshidrata a una razón más alta. Además, se concluye que la temperatura óptima de formado a una presión de 14 kPa es alrededor de 160°C en la superficie del troquel para la obtención de platos rígidos.

Palabras Clave: Platos biodegradable descartable, Control de temperatura, Análisis térmico

ABSTRACT

This capstone project describes the design and fabrication of a die for stamping and manufacturing plates made out of banana leaves. The die includes the design of a temperature control system that allows the process to be carried out at high temperatures.

This work is motivated by a need to find a sustainable alternative to reduce the consumption of plastics, e.g., expanded polystyrene, used in disposable plates.

The design of the die temperature control system uses a solid state relay (SSR) controlled by a microcontroller (Arduino). A computational model (Ansys commercial software) based on the finite volume method was used for simulating heat transfer through the draw cavity and draw punch of the die for optimizing a uniform distribution of surface temperature according to the established requirements. Subsequently, the experimental results are validated through data acquisition of temperature.

Experimental tests show that an increase in temperature reduces the formation time of plates made out of banana leaf. This is because the leaf is dehydrated at a higher rate. Moreover, it is concluded that the optimum temperature for stamping a plate at a pressure of 14 kPa is about 160 °C on the surface of the draw cavity and punch. Under these conditions rigid plates can be obtained consistently.

Keywords: disposable biodegradable plate, control system of temperature, heat transfer

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Definición del Problema.....	2
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Elementos de un troquel.....	4
1.4.2 Proceso de Formado de envases.....	5
1.4.3 Fabricación de platos biodegradables.....	6
1.4.4 Resistencias eléctricas industriales.....	6
CAPÍTULO 2	9
2. Metodología.....	9
Especificaciones del diseño.....	10
2.1 Requerimientos y Criterios de diseño.....	10
2.1.1 Ponderación de criterios.....	11
2.1.2 Alternativas propuestas.....	15
2.1.3 Diseño Conceptual.....	18
2.1.4 Sistema Eléctrico.....	19

2.2	Análisis térmico	21
2.2.1	Flujo de calor	21
2.3	Análisis Mecánico.....	22
2.3.1	Esfuerzo normal.....	22
2.3.2	Esfuerzo de flexión	22
2.3.3	Esfuerzo de Von Misses	23
2.3.4	Factor de seguridad	23
2.3.5	Fatiga.....	23
2.3.6	Diseño por fatiga utilizando Goodman	25
2.4	Modelo computacional.....	25
2.5	Selección del Materiales.....	26
CAPÍTULO 3	27
3.	Resultados Y ANÁLISIS	27
3.1	Diseño de la Matriz y el Punzón	27
3.1.1	Fabricación del punzón y de la matriz.....	30
3.1.1	Análisis estructural del troquel	31
3.2	Selección de la Resistencia Eléctrica	32
3.3	Respuesta Transitoria de la Matriz	33
3.3.1	Comparación de los Resultados Obtenidos en ANSYS.....	34
3.4	Cálculos significativos	36
3.5	Efecto de la temperatura en el estampado de platos	36
3.6	Análisis de Costos.....	37
3.7	Análisis de impacto social	38
3.8	Análisis de impacto ambiental	38
CAPÍTULO 4	40
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
4.1	Conclusiones.....	40

4.2	Recomendaciones.....	42
	BIBLIOGRAFÍA.....	43

ABREVIATURAS

AISI	American Iron Steel Institute
AHP	Proceso de Análisis Jerárquico
ASTM	American Society for Testing and Materials
CNC	Control Numérico Computarizado
EPS	Poliestireno Expandido
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
SSR	Solid State Relay

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetros
cm	Centímetros
s	Segundos
min	Minutos
W	Watts
Q	Calor
V	Voltaje
I	Corriente
Pa	Pascal
N	Newton
Ton	Tonelada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Resistencia tipo abrazadera	7
Figura 1.2 Resistencia tipo tubular	8
Figura 2.1 Metodología de diseño	9
Figura 2.2 Árbol de funciones.....	11
Figura 2.3 Diseño conceptual del troquel	18
Figura 2.4 Esquema del circuito eléctrico para el control de temperatura	19
Figura 2.5 Sistema de control.....	20
Figura 2.6 Sistema de control esquemático.....	20
Figura 2.7 Tabla de factor de confiabilidad.....	24
Figura 2.8 Tabla de factor de superficie	24
Figura 2.9 Materiales usados para la elaboración del troquel	26
Figura 3.1 Matriz de acero 1018 ANSYS.....	27
Figura 3.2 Punzón de acero 1018 ANSYS	28
Figura 3.3 Simulación CNC del punzón.....	30
Figura 3.4 Simulación CNC de la matriz.....	30
Figura 3.5 Análisis de deformación y esfuerzos sobre el troquel en base a una fuerza aplicada sobre la base del punzón. Deformación y coeficiente de seguridad	31
Figura 3.6 Análisis de esfuerzos y deformación sobre el troquel en base a una fuerza aplicada sobre la base del punzón cuando está en contacto con la matriz. Coeficiente de seguridad y deformación.	32
Figura 3.7 Variación de la temperatura superficial de la matriz con respecto al tiempo	33
Figura 3.8 Distribución de temperatura a 100 segundos de iniciado el proceso de calentamiento	35
Figura 3.9 Distribución de temperatura a 200 segundos de iniciado el proceso de calentamiento	35
Figura 3.10 Distribución de temperatura a 400 segundos de iniciado el proceso de calentamiento	35
Figura 3.11 Distribución de temperatura a 800 segundos de iniciado el proceso de calentamiento	36
Figura 3.12 Sistema de control conectado a la resistencia.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones de diseño	10
Tabla 2.2 Criterios de diseño.....	11
Tabla 2.3 Criterio para comparación por pares de criterios de selección	12
Tabla 2.4 Ponderación de criterios para la selección del sistema de control de temperatura	13
Tabla 2.5 Ponderación de criterios para la selección de toma de temperatura	14
Tabla 2.6 Ponderación de criterios para selección del sistema de calentamiento de la matriz.....	15
Tabla 2.7 Criterio para evaluación de alternativas.....	16
Tabla 2.8 Tabla morfológica	16
Tabla 2.9 Matriz de decisión del sistema de regulación y control de temperatura.....	17
Tabla 2.10 Matriz de decisión del sistema de calentamiento de la matriz	18
Tabla 3.1 Tabla de distribución de temperatura para la matriz.....	28
Tabla 3.2 Tabla de distribución de temperatura para el punzón.....	29
Tabla 3.3 Comparación de resultados.....	34
Tabla 3.4 Costo de materiales.....	37
Tabla 3.5 Costo de materiales del sistema de control de temperatura.....	38

ÍNDICE DE PLANOS

Plano de ensamble.....	69
Plano de matriz.....	70
Plano de punzón.....	71
Plano de base matriz – punzón.....	72

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento se refiere a la construcción de un troquel, con temperatura regulable para investigar el rango de valores que puede tomar esta variable en la elaboración de platos desechables hechos con hojas de banano. Para analizar este problema es necesario mencionar el creciente uso de plásticos en diversas aplicaciones de nuestra vida cotidiana y laboral; tales como, recipientes o envolturas para alimentos. Además del daño causado a la naturaleza por los procesos requeridos para obtener la materia prima y la incorrecta deposición de residuos, los cuales llegan hasta los océanos formando islas de basura. De acuerdo a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) el tiempo de degradación es de 450 años para las botellas de plásticos, y 150 años para las bolsas de plásticos, mientras que platos extendidos toman 50 años en degradarse (El Tiempo, 2009). El tiempo de degradación es alto para los polímeros debido a que, solo absorben la radiación de los rayos UV solares de forma natural.

El impacto negativo no es solo a nivel ecológico, sino también a nivel social; al acumularse agua en los desechos provocan la afluencia de mosquitos en las comunidades lo que conlleva a la aparición de enfermedades como el dengue. Otro efecto es el estancamiento de basura en las alcantarillas, lo que produce inundaciones y acumulación de aguas negras alrededor de las comunidades: por estas y otras razones más es necesario investigar medios alternativos para disminuir el consumo de los plásticos. Este proyecto además busca cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, como conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible, además de fomentar la innovación.

El interés en utilizar las hojas de banano radica en que esta fruta constituye uno de los principales productos que exporta Ecuador; debido a las condiciones climáticas y de suelo del país. Dado que solo se usa la fruta, las hojas quedan disponibles para cualquier uso, por ejemplo, se las usa como envoltorio para comidas típicas ecuatorianas como el bollo de pescado, hayacas, tongas, etc.(Echazarra Envases, 2012)

1.1 Definición del Problema

En la actualidad, la mayor parte de los platos desechables son hechos a partir de polímeros como el Poliestireno Expandido (EPS). Dado que este tipo de material es hecho por el hombre, no se descompone fácilmente en el medio ambiente; el tiempo promedio para su completa degradación se encuentra entre los 500 y 1000 años. Esto causa que se encuentre ocupando espacio en los botaderos de basura, mientras que en el mar se encuentra formando parte de islas de basuras, contaminando el medio donde se desarrolla la vida marina. Adicionalmente, existe preocupación en el ámbito de la salud, debido a que ciertos polímeros pueden desprender sustancias dañinas para el ser humano, como el Bisfenol A (BPA).

1.2 Justificación del proyecto

En la ciudad de Quito, en el patio de comida del centro comercial Mall El Jardín, se producen por año 3285 metros cúbicos de desechos aproximadamente; este volumen de desechos está formado por platos desechables, vasos y cubiertos (Hora, 2018), mientras que en el Ecuador cada mes se procesan 4493 ton de Poliestireno Expandido; de este número, el 79% de estos productos termina en los basureros o en el medio ambiente, contaminando nuestro hábitat. Adicionalmente, existe preocupación en el sector de salud; según datos estadísticos el 33% de las muertes de niños menores de 5 años se deben a causas medioambientales (El Telégrafo, 2018). Adicionalmente, es necesario recalcar que el proceso para fabricar envases de polímeros descarga 30000 ton de CO₂ al año, lo que es el equivalente a emisiones de 15000 autos. Por estas razones, es importante estudiar la implementación de alternativas a materiales utilizados en la producción de productos desechables que no contaminen al medio ambiente y que puedan ser fuente de empleo para pequeñas empresas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un troquel para fabricar platos biodegradables con hojas de banano para reducir la contaminación ambiental producida por el dióxido de carbono.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Elaborar el diseño conceptual del sistema para fabricar platos biodegradables.
2. Diseñar y fabricar un troquel con regulación y control de temperatura, que pueda ser empleado como alternativa de solución en troqueles ya existentes.
3. Optimizar el diseño del troquel desde un punto de vista térmico utilizando simulaciones computacionales basada en el método de volúmenes finitos.
4. Elaborar planos de fabricación de los elementos mecánicos
5. Realizar pruebas del sistema de regulación y control de temperatura del troquel.
6. Obtener la temperatura adecuada para fabricar platos desechables con hojas de banano.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Elementos de un troquel

Base superior

También conocido como porta punzón, este elemento es el encargado de contener en su superficie todas las partes del punzón y sus elementos de sujeción. Es uno de los encargados de guiar el camino del punzón para que realice el proceso de corte y extracción sobre la materia prima a trabajar.

Base inferior

También conocido como porta matriz, cumple una función similar a la base superior, la cual es la de dar soporte y fijar la matriz en lugar del punzón. Además, permite absorber el impacto producto de la presión ejercida por el punzón cuando este último desciende, por esta razón se colocan resortes en el punzón o en los postes guías para que sirvan a manera de amortiguadores.

Punzón

También llamado macho, es el elemento principal que produce el corte a la lámina dándole la forma de la geometría requerida. El mecanizado del punzón debe ser bastante preciso ya que debe coincidir con la matriz o hembra para obtener el producto final. Es recomendable que el punzón reciba tratamientos térmicos y superficiales posteriores a su manufactura para otorgarle al material mayor resistencia al desgaste, dureza superficial, resistencia en caliente, entre otras propiedades.

Matriz

También llamado hembra, es uno de los elementos principales del troquel porque junto al punzón son los encargados de estampar el material para que adquiera la forma requerida. El proceso de corte es producido principalmente por el macho, el cual ejerce una presión sobre la materia prima provocando un esfuerzo cortante entre las paredes de la cavidad de la matriz y la lámina.

Postes guías

Estos elementos son los responsables del movimiento longitudinal y transversal para que se mantenga concéntrico el punzón con respecto a la matriz durante la subida y bajada del proceso de punzonamiento.

Placa guía

Es la encargada de guiar a los punzones durante el proceso de corte, teniendo en la entrada chaflanes para facilitar la instalación del punzón y como almacén para guardar el lubricante. Otra función que desempeña es el proceso contrario al primero, el proceso de extracción, el cual es guiado por la placa y aguantado por los resortes. (Archundia, 2015)

1.4.2 Proceso de Formado de envases

El proceso de fabricación de envases se debe a la deformación del material debido a la acción de una fuerza de tensión. Para lograr esto, el material se calienta, hasta alcanzar la temperatura de termoformado, la cual es la temperatura de la lámina para deformarse y poder adaptarse a la forma del molde (matriz). Para formar el material la fuerza puede ser de origen mecánico, neumático, hidráulico o una combinación de fuerzas.

Formado Mecánico

En este proceso se utiliza un punzón accionado por un pistón hidráulico o una prensa para deformar la lámina calentada. Mediante este proceso se obtienen los vasos, platos y otros envases desechables.

Formado Neumático

Este proceso utiliza aire para deformar la lámina. A medida que se produce un flujo de aire, la lámina es empujada sobre un punzón que

actúa como molde. Luego se aplica un vacío entre el punzón y la lámina para que esta última grave los detalles del molde.

1.4.3 Fabricación de platos biodegradables

El proceso de fabricación de los platos biodegradables requiere de procesos como lavado, punzonado y recorte de la hoja. El primer proceso consiste en desinfectar las hojas durante 1 minuto, al aplicar un rocío de vapor de agua sobre las hojas; el rocío se realiza a una presión de 1 Kg/cm². Para el proceso de punzonado, se recibe la hoja esterilizada y es ubicada sobre la matriz para luego mediante la acción de un punzón, esta sea empujada contra la matriz para que la hoja adquiera la forma de plato por la concavidad de la matriz. La hoja se mantiene en esta posición entre 25 y 30 segundos. Para este proceso, la matriz es calentada mediante una resistencia eléctrica hasta alcanzar una temperatura entre 130 °C y 150°C. El punzonado se realiza una vez que la matriz alcanza esta temperatura.

Una vez que se ha realizado el punzonado, el siguiente proceso es el corte del material restante de la hoja. Esta acción ocurre por una acción combinada entre la presión del punzón y la temperatura de la matriz. Esto ocurre a la par con el proceso de punzonado, para que al retirar el producto el material restante pueda ser retirado manualmente.

Finalmente, el producto debe pasar a una cámara de radiación con rayos ultravioleta (UV), durante un tiempo de 3 minutos para esterilizar la superficie del producto (Murthy et al., s. f.).

1.4.4 Resistencias eléctricas industriales

El proceso de fabricación de los platos biodegradables requiere de procesos como lavado, punzonado y recorte de la hoja. El primer proceso consiste en desinfectar las hojas durante 1 minuto, al aplicar un rocío de vapor de agua sobre las hojas; el rocío se realiza a una presión de 1 Kg/cm². Para el proceso de punzonado, se recibe la hoja esterilizada y es ubicada sobre la matriz para luego mediante la acción de un punzón, esta sea empujada contra la matriz para que la hoja

adquiera la forma de plato; debido a la concavidad de la matriz. La hoja se mantiene en esta posición entre 25 y 30 segundos. Para este proceso, la matriz es calentada mediante una resistencia térmica hasta alcanzar una temperatura entre 130 °C y 150°C; para el caso de las hojas secas de las palmeras. El punzonado se realiza una vez que la matriz alcanza esta temperatura.

Resistencias abrazaderas

También llamadas resistencias tipo banda, se las usa mayormente en la industria del plástico donde su función es calentar los usillos de la inyectora (máquina de inyección). Para que la pérdida de calor sea eficiente se recomienda que esté acopladas al usillo lo más cerca posible. Existe otro tipo de abrazadera llamada boquilla blindada, la cual tiene cavidades para la colocación de termopares.



Figura 1.1 Resistencia tipo abrazadera [Elaboración propia]

Resistencias espirales

Se las usa para el calentamiento de hornos industriales alcanzando temperaturas elevadas (mayores a 1000 °C). Dependiendo de las aleaciones que se usen y su aplicación, se puede alcanzar diferentes rangos de temperaturas llegando a un máximo de 1400 °C. Como protección y como aislador se las recubren de cerámica para mantener el calor en el interior.

Resistencias tubulares

También conocidas como resistencias blindadas especiales, se las fabrica según los requerimientos del cliente, por lo que pueden tener diversas formas, longitudes y diámetros. Su principal aplicación es en

el calentamiento de líquidos tales como aceites, agua, y demás; otro beneficio de este tipo de resistencia es la resistencia a la corrosión e impacto de los calentadores. (Trullas, 2018)



Figura 1.2 Resistencia tipo tubular [Elaboración propia]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA.

La metodología de diseño utilizada en este documento se puede observar en la Figura 2.1. El paso inicial de esta metodología es identificar la necesidad, la cual consiste en el planteamiento del problema, el siguiente paso consiste en la búsqueda de información que se realizó en la sección previa. El siguiente paso requiere detallar las especificaciones del funcionamiento, el cual permite delimitar el problema. Luego se generan alternativas de solución y se analizan las posibles soluciones para seleccionar la más viable y poder elaborar un diseño de forma

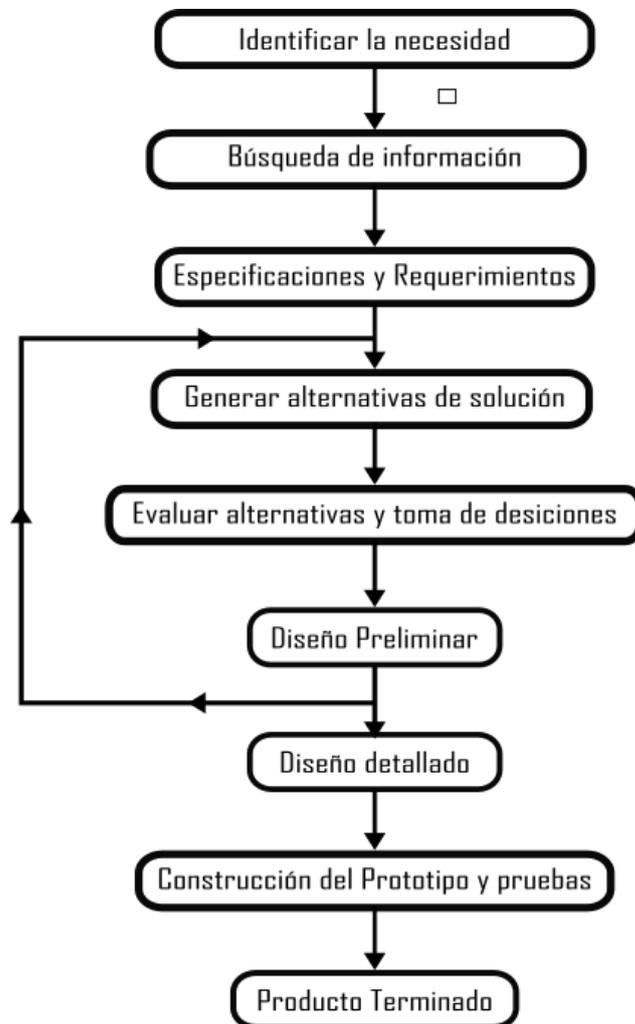


Figura 2.1 Metodología de diseño [Elaboración propia]

Especificaciones del diseño

Las especificaciones indicadas por el cliente se detallan en la tabla 2.1. Entre la información que se encuentra en esta tabla se tiene, el tipo de acción del punzón, el rango de temperatura que debe alcanzar la matriz y la dimensión del plato.

Tabla 2.1 Especificaciones de diseño **[Elaboración propia]**

Materia Prima		Hojas de Banano
Espesor	[mm]	0.6
Diámetro del plato	[mm]	120
Rangos de Temperatura	[°C]	100 - 200
Voltaje Alimentación	[V]	110/220
Tipo de Acción		Neumática - Hidráulica

Una vez detalladas las especificaciones por el cliente, se identificaron las funciones del dispositivo; estas funciones son el de calentamiento y el formado de las hojas. La primera función consiste en el calentamiento de la matriz, para otorgarle maleabilidad al material a formar, mientras que la segunda función consiste en otorgarle a la hoja de banano la forma de plato requerida.

2.1 Requerimientos y Criterios de diseño

Los requerimientos de diseño para el sistema que tiene como función calentar la matriz son los siguientes:

- I. No debe ocupar mucho espacio.
- II. Fácil de instalar.
- III. Fácil de dar mantenimiento.
- IV. Los costos no deben ser elevados
- V. Debe calentar uniformemente.

Los requerimientos de diseño para el control de temperatura son los siguientes:

- I. El operador debe ser capaz de variar la temperatura de forma sencilla.
- II. Se requiere precisión en el control de temperatura.
- III. Los componentes no deben ser costosos

IV. Fácil de reparar.

Para determinar la alternativa correcta es necesario elaborar un árbol de funciones para conocer las diferentes combinaciones que se pueden obtener y de esta forma escoger la que mejor se ajuste a nuestros requerimientos.

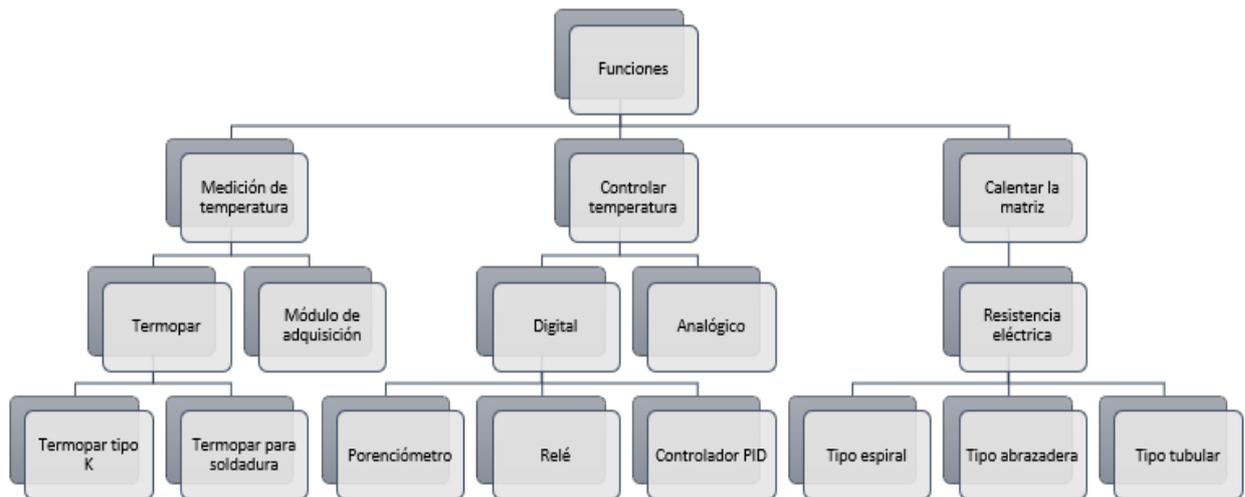


Figura 2.2 Árbol de funciones [Elaboración propia]

No se especifican requerimientos de diseño para el tipo de acción de punzón ya que este sistema puede ser montado en la máquina propuesta por (Albán & Alvia, 2017). A partir de los requerimientos dados se obtienen los criterios que se encuentran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Criterios de diseño [Elaboración propia]

Criterios de diseño para calentar la matriz	Criterios de diseño para el control de temperatura
Forma	Ergonómico
Instalación	Precisión
Mantenibilidad	Costo
Costo	Mantenibilidad
Eficiencia	

2.1.1 Ponderación de criterios

Para asignar el peso de importancia relativa a cada criterio, se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), el cual consiste en realizar una comparación entre un criterio de diseño con cada uno de los restantes.

Para asignar un valor a la importancia de un criterio respecto a otro se utilizaron los criterios de la tabla 2.3. Tomando como ejemplo la tabla 2.5, donde se tienen 5 criterios de diseño, al comparar el criterio eficiencia respecto al criterio costo, se le asignó un puntaje de 9, puesto que, para que el producto tenga éxito es de mayor importancia una transferencia de calor uniforme que costos mínimos en la construcción. Por otro lado, al comparar el costo respecto a la eficiencia, su puntaje sería 0.11 que es el inverso de 9.

Una vez se realizó la comparación de pares, se procedió a calcular la ponderación que representa cada criterio respecto a la suma total de todos ellos.

Tabla 2.3 Criterio para comparación por pares de criterios de selección

Rating	Criterio de selección entre A y B	Descripción
1	A es igual de importante que B	Para el éxito del producto, A es igual de importante que B
3	A es ligeramente superior a B	Para el éxito del producto, A es ligeramente más importante que B
5	A aparentemente es superior a B	Para el éxito del producto, A es mucho más importante que B
7	A es superior a B	Ha sido demostrado que A es más importante que B
9	A es absolutamente superior a B	Existe un mayor grado de evidencia que demuestra que A es más importante que B para el éxito del producto

Fuente: (George E. Dieter, 2011)

De igual manera, se procedió con la ponderación de criterios para el sistema de control de temperatura, obteniendo como resultado, que el criterio de mayor relevancia es la precisión, luego el factor ergonómico y finalmente la mantenibilidad y costo cuyos valores son similares, estos valores pueden ser apreciados en la tabla 2.4. La precisión tuvo

un mayor peso en comparación a los demás criterios (0.69) debido a que es primordial tener la temperatura correcta para lograr el termoformado requerido. La ergonomía, a pesar de que su peso es aproximadamente la cuarta parte (0.18), adicionalmente es necesario que el proceso de control no sea complicado. Finalmente, la mantenibilidad y el costo tuvieron un peso similar 0.08 y 0.06 respectivamente porque eran factores que no tenían un impacto significativo en el control y regulación de la temperatura.

Tabla 2.4 Ponderación de criterios para la selección del sistema de control de temperatura **[Elaboración propia]**

Criterio	Precisión	Ergonómico	Costo	Mantenibilidad	Total	Ponderación
Precisión	1	9	9	9	28.00	0.69
Ergonómico	0.11	1	5	1	7.11	0.18
Costo	0.11	0.20	1	1	2.31	0.06
Mantenibilidad	0.04	1.00	1.00	1	3.04	0.08
Total					40.00	1.00

Así mismo, se hizo para seleccionar el mejor sistema de medición de temperatura como se muestra en la tabla 2.5, obteniendo que el criterio de mayor peso fue la precisión seguido por el ergonómico y luego por el costo. Esto es debido a que, la precisión al tomar los datos de temperatura es de suma importancia porque si se registran datos de temperatura que son erróneos, no se determinarán las temperaturas adecuadas para el proceso de termoformado. El ergonómico es el segundo porque es necesario que el instrumento sea de fácil instalación para la adquisición de datos, finalmente el costo no tiene casi peso porque sus precios no difieren demasiado y son accesibles.

Tabla 2.5 Ponderación de criterios para la selección de toma de temperatura [Elaboración propia]

Criterio	Precisión	Ergonómico	Costo	Total	Ponderación
Precisión	1	9	9	19.00	0.72
Ergonómico	0.11	1	5	6.11	0.23
Costo	0.11	0.20	1	1.31	0.05
Total				26.41	1.00

Luego de realizar la ponderación de criterios para el control de temperatura, se realizó el mismo procedimiento para el sistema de calentamiento de la matriz donde se obtuvo que el criterio de mayor importancia fue el de eficiencia seguida por el de mantenibilidad, costo, instalación y forma respectivamente. A diferencia de la ponderación anterior, se obtuvo que los criterios están relacionados más estrechamente entre ellos por lo que no hay una diferencia notable, pero sí la suficiente para escoger la eficiencia como la más importante. Esto es debido a que la transferencia de calor es el proceso principal para el termoformado de la hoja de banano.

Tabla 2.6 Ponderación de criterios para selección del sistema de calentamiento de la matriz **[Elaboración propia]**

Criterio	Eficiencia	Costo	Mantenibilidad	Instalación	Forma	Total	Ponderación
Eficiencia	1	9	1	5	1	17.00	0.44
Costo	0.11	1	1	1	2	5.11	0.13
Mantenibilidad	0.20	1.00	1	1	5	8.20	0.21
Instalación	1.00	1.00	1.00	1	1	5.00	0.13
Forma	1.00	0.50	0.20	1.00	1	3.70	0.09
Total						39.01	1.00

2.1.2 Alternativas propuestas

Para evaluar las potenciales alternativas se hace uso de una tabla morfológica, para ello se enlistaron las características o funciones que se deben realizar y para cada función se enlistaron las posibles alternativas para realizar dicha tarea, según se observa en la tabla 2.8.

Tabla 2.7 Criterio para evaluación de alternativas

Evaluación	Detalle
0	Solución totalmente inadecuada
1	Solución Poco adecuada
2	Satisfactorio
3	Solución Pobre
4	Solución tolerable
5	Solución satisfactoria
6	Buena Solución con inconvenientes
7	Buena solución
8	Muy buena solución
9	Excelente
10	Solución ideal

Fuente: (George E. Dieter, 2011)

Tabla 2.8 Tabla morfológica [Elaboración propia]

Sistema	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Calentamiento	Resistencia tipo espiral 	Resistencia tipo tubular 	Resistencia tipo abrazadera 
Control de temperatura	PID – Arduino 	Relé 	Potenciómetro 
Medidor de temperatura	Termopar tipo K	Termopar para soldadura	

Se utilizó la herramienta tabla morfológica para enlistar las diferentes alternativas para cada sistema, obteniendo tres alternativas para cada

una, las cuales fueron usadas en la ponderación de criterios y en las tablas 2.9 y 2.10, referente a la matriz de decisión de cada sistema.

Tabla 2.9 Matriz de decisión del sistema de regulación y control de temperatura
[Elaboración propia]

Criterios	Ponderación Relativa PR	PID – Arduino		Relé		Potenciómetro	
		Calificación 1	PR X Calificación 1	Calificación 2	PR X Calificación 2	Calificación 3	PR X Calificación 3
Precisión	0.69	10	6.90	7	4.83	3	2.07
Ergonómico	0.18	8	1.44	6	1.08	9	1.62
Costo	0.06	7	0.42	8	0.48	10	0.60
Mantenibilidad	0.08	6	0.48	8	0.64	9	0.72
Total			9.24		7.03		5.01

En la tabla 2.9, se evaluaron las posibles alternativas de solución respecto a los criterios de diseño antes establecidos con su respectiva ponderación, para evaluar las alternativas se utilizaron los criterios listados en la tabla 2.7, esto para determinar cuál opción es la más idónea para la regulación y control de temperatura, obteniendo que la primera alternativa (PID - Arduino) es la alternativa que mejor se ajusta a nuestros requerimientos por la precisión que entrega.

En la tabla 2.10, se muestra que la mejor opción es usar resistencias tipo abrazaderas para el sistema de calentamiento de la matriz usando los criterios previamente escogidos en la ponderación de criterios. Aunque la diferencia entre los tres tipos no es muy grande, el criterio que tuvo mayor peso fue la eficiencia porque es necesaria una transferencia de calor uniforme en la matriz para el termoformado de la hoja de banano.

Tabla 2.10 Matriz de decisión del sistema de calentamiento de la matriz [Elaboración propia]

Criterios	Ponderación Relativa PR	Tipo espiral		Tipo tubular		Tipo abrazadera	
		Calificación 1	PR X Calificación 1	Calificación 2	PR X Calificación 2	Calificación 3	PR X Calificación 3
Eficiencia	0,44	6	2.64	8	3.52	10	4.40
Costo	0,13	9	1.17	7	0.91	8	1.04
Mantenibilidad	0,21	8	1.68	6	1.26	7	1.47
Instalación	0,13	4	0.52	6	0.78	9	1.17
Forma	0,09	10	0.90	9	0.81	8	0.72
Total	1.00		6.91		7.28		8.80

2.1.3 Diseño Conceptual

Usando esta información se dispuso a realizar el siguiente diseño conceptual del troquel, el cual será accionado por una prensa hidráulica para la subida y bajada del punzón, calentando la matriz por medio de resistencias tipo abrazaderas para alcanzar la temperatura requerida para el termoformado.

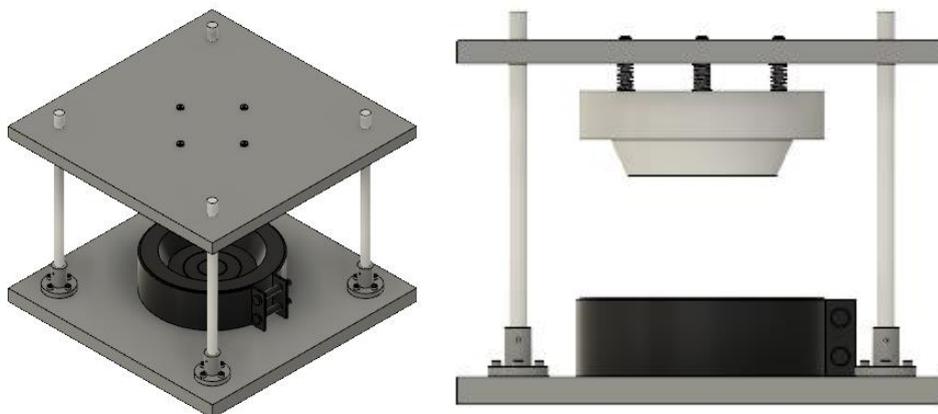


Figura 2.3 Diseño conceptual del troquel [Elaboración propia]

2.1.4 Sistema Eléctrico

A continuación, en la Figura 2.4 se muestra el circuito para el control de temperatura mediante un PID con ARDUINO, el plano fue elaborado con un software KiCAD EDA, el cual es un paquete de software libre, utilizado para diseño de sistemas eléctricos. El sistema de control de temperatura consiste en el control del ángulo de disparo del TRIAC de la sección de alto voltaje. Esta sección puede ser también reemplazada por un Relé de Estado Sólido (SSR). Adicionalmente el sistema eléctrico cuenta con disyuntores diferenciales para proteger al sistema de corrientes de fuga que puedan ocasionar descargas eléctricas al operador.

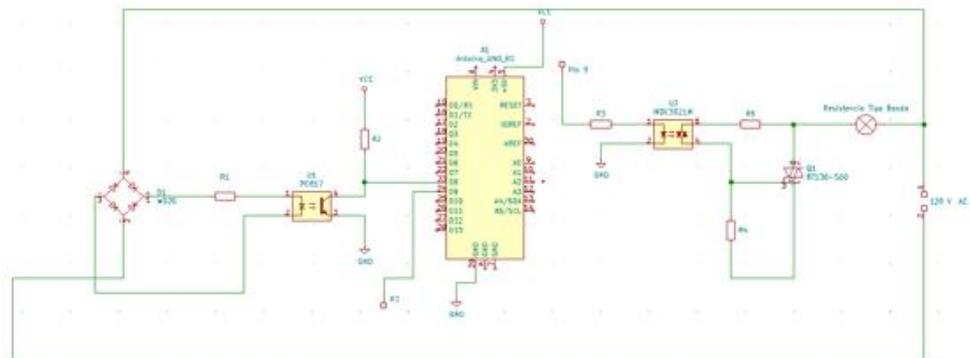


Figura 2.4 Esquema del circuito eléctrico para el control de temperatura
[Elaboración propia]

En la Figura 2.5, se puede observar el diagrama de bloques del sistema de control de temperatura. En la línea de lazo abierto se observa el controlador y la planta, mientras que en la Retroalimentación se tiene un sensor de Temperatura. Según se observa en la Figura 2.6, el sensor posee un módulo para acondicionar la señal su función es convertir la señal digital en una señal analógica, para tener como salida la temperatura que se encuentra midiendo. El controlador, lo conforma el conjunto Arduino y Relé de Estado Sólido, este último reemplaza al circuito de la Figura 2.4. Finalmente, la Planta está formada por la resistencia eléctrica que le está transfiriendo calor a la matriz. Para que el sistema funcione, el sensor mide constantemente la temperatura de la matriz, para luego ser comparada con el Set Point, esta diferencia es recibida por el controlador que toma la acción de seguir enviando energía hasta alcanzar la temperatura deseada o apagarse en caso de haber alcanzado la temperatura que se desea.

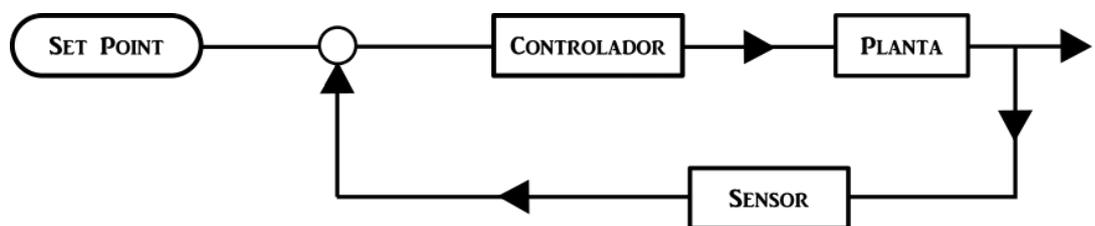


Figura 2.5 Sistema de control [Elaboración propia]

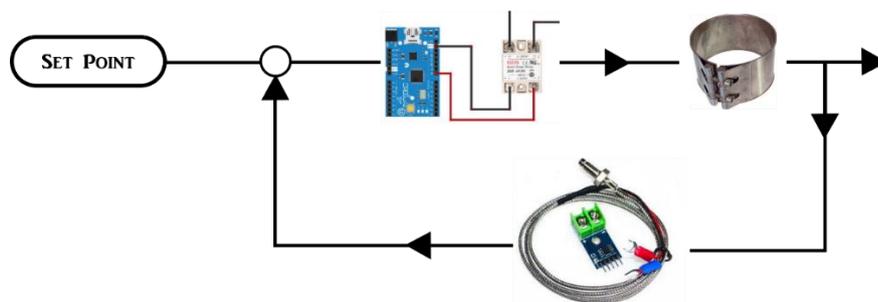


Figura 2.6 Sistema de control esquemático [Elaboración propia]

Para medir la temperatura se utiliza un termopar tipo K, que permite leer temperaturas entre un rango de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.2 Análisis térmico

El flujo de calor que ingresa en la matriz proporciona una mayor ductilidad a la lámina que se está estampando, permitiendo el termoformado de la misma aplicando una presión determinado durante un tiempo específico. A continuación, se estudiarán las ecuaciones utilizadas en esta sección.

2.2.1 Flujo de calor

Una vez que se produce un flujo de corriente entre los terminales de la resistencia eléctrica tipo abrazadera, se genera un flujo de calor perpendicular a la superficie interna de la resistencia. Este flujo de calor viene dado por la ecuación 1.

$$\dot{q} = \frac{Q}{A} \quad (2.1)$$

Donde:

\dot{q} = Flujo de calor [W/ m²]

Q= Potencia de la resistencia eléctrica [W]

A= Área perpendicular al flujo de calor [m²].

Mediante la ecuación 1 se puede obtener la potencia que requiere la resistencia eléctrica; para obtener una distribución de temperatura de acuerdo con el rango antes establecido.

2.3 Análisis Mecánico

Para determinar si los materiales seleccionados y las secciones dimensionadas para la construcción son correctos se utilizaron los conocimientos de mecánica de sólidos, con el fin de determinar la resistencia de estos sometidos a cargas bajo criterios de diseño estático y fatiga.

A continuación, se enunciarán todas las expresiones que se utilizaron para determinar la resistencia de los elementos seleccionados para la estructura del sistema de estampado de platos desechables hechos con hoja de banano.

2.3.1 Esfuerzo normal

Se distribuyó la presión aplicada al punzón para cada viga que soportaba la base de la matriz provocando esfuerzos normales sobre la superficie de las vigas. El esfuerzo normal se lo expresa con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal [Pa]

F= Fuerza perpendicular al área [N]

A= Área perpendicular a la fuerza [m²]

2.3.2 Esfuerzo de flexión

Las vigas sienten un esfuerzo que las flexiona producido por el momento en el centro de la estructura. El esfuerzo de flexión se lo expresa con la siguiente fórmula:

$$\sigma_f = \frac{Mr}{I} \quad (2.3)$$

Donde:

σ = Esfuerzo de flexión [Pa]

M= Momento [N.m]

r=distancia del punto de análisis [m]

I=Inercia de la sección transversal [m⁴]

2.3.3 Esfuerzo de Von Misses

Es un esfuerzo equivalente relacionado con la energía de distorsión de los materiales.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}} \quad (2.4)$$

Donde:

σ' = Esfuerzo de Von Misses [Pa]

σ_x = Esfuerzo normal en el plano x [Pa]

σ_y = Esfuerzo normal en el plano y [Pa]

τ_{xy} = Esfuerzo cortante en el plano xy [Pa]

2.3.4 Factor de seguridad

Es un número que indica que tan seguro es el diseño con respecto a propiedades mecánicas del material con el que se está diseñando el elemento mecánico. Su fórmula es la siguiente:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad (2.5)$$

Donde:

n = Factor de seguridad

S_y = Resistencia a la fluencia del material [Pa]

σ = Esfuerzo [Pa]

2.3.5 Fatiga

El análisis de fatiga se realizó usando los factores de corrección que se detallarán a continuación:

$$S_e' = C_{carga} * C_{temp} * C_{sup} * C_{tam} * C_{conf} * S_e \quad (2.6)$$

Donde:

S_e' = Resistencia a la fatiga corregida [Pa]

C_{carga} = Factor de carga

C_{temp} = Factor de temperatura

C_{sup} = Factor de superficie

C_{tam}= Factor de tamaño

C_{conf}= Factor de confiabilidad

S_e= Resistencia a la fatiga teórica [Pa]

Tabla 4-4
Factores de confiabilidad
para $S_d = 0.08 \mu$

% de confiabilidad	C _{conf}
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

Figura 2.7 Tabla de factor de confiabilidad

Fuente: Norton 4ta Edición (2011)

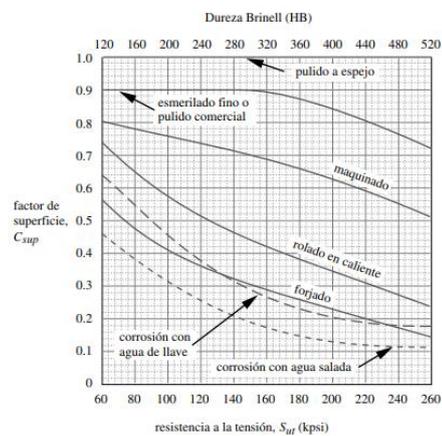


FIGURA 4-26

Figura 2.8 Tabla de factor de superficie

Fuente: Norton 4ta Edición (2011)

2.3.6 Diseño por fatiga utilizando Goodman

Se diseñó las vigas usando el método de Goodman para determinar el factor de seguridad. A continuación, se muestra la fórmula que se usó:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_e'} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} \quad (2.7)$$

Donde:

n = Coeficiente de seguridad

σ_a' = Esfuerzo de Von Misses de amplitud [Pa]

σ_m' = Esfuerzo de Von Misses medio [Pa]

S_e' = Resistencia a la fatiga corregida [Pa]

S_{ut} = Esfuerzo a la tracción [Pa]

2.4 Modelo computacional

El modelo computacional discretiza el dominio y soluciona la ecuación de la energía en la siguiente forma:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\mathbf{V}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \mathbf{J}_j + (T_{eff} \cdot \mathbf{V}) \right) + S_h \quad (2.8)$$

Donde:

$E = h - \frac{p}{\rho} + V^2/2$ = es la energía

h = es la entalpía sensible,

k_{eff} = es la conductividad efectiva

$(k + k_t) = k_t$ es conductividad térmica turbulenta, y

\mathbf{J}_j = es la sifusión de flujo de especie j .

Los primeros tres términos del lado derecha de la ecuación representan la energía transferida debido a conducción, difusión de especies, y disipación viscosa, respectivamente. S_h incluye el calor proveniente de fuentes volumétricas de calor.

2.5 Selección del Materiales

Los materiales empleados en matricería son variados, se pueden utilizar aceros al carbono, aceros aleados, metales no ferrosos como aleaciones de aluminio y una clasificación de aceros que recibe el nombre de die steels.

Para la fabricación del troquel (troquel, matriz) se seleccionó acero AISI 1018, cabe recalcar que se seleccionó el Acero AISI 1018 debido a que el troquel será empleado por el cliente para realizar pruebas, mas no para comercializar el producto, en caso de que sea para producción se recomienda usar acero inoxidable (acero 304) y/o aluminio por sus propiedades físicas y químicas como, por ejemplo: las sanitarias y térmicas.



Figura 2.9 Materiales usados para la elaboración del troquel
[Elaboración propia]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Diseño de la Matriz y el Punzón

Dado el diseño de forma, la matriz se encuentra sometida a un flujo de calor, por tanto, las dimensiones de esta influyen en la distribución de temperatura en la superficie de ésta y en el tiempo que tarda la matriz en alcanzar cierta temperatura. Para determinar las dimensiones que debe tener la matriz, se procede a simular el flujo de calor sobre la matriz, variando parámetros como la potencia de la resistencia eléctrica y las dimensiones (H6), y (V7), que corresponden al diámetro exterior y la altura de la matriz respectivamente, según se observa en la Figura 3.1.

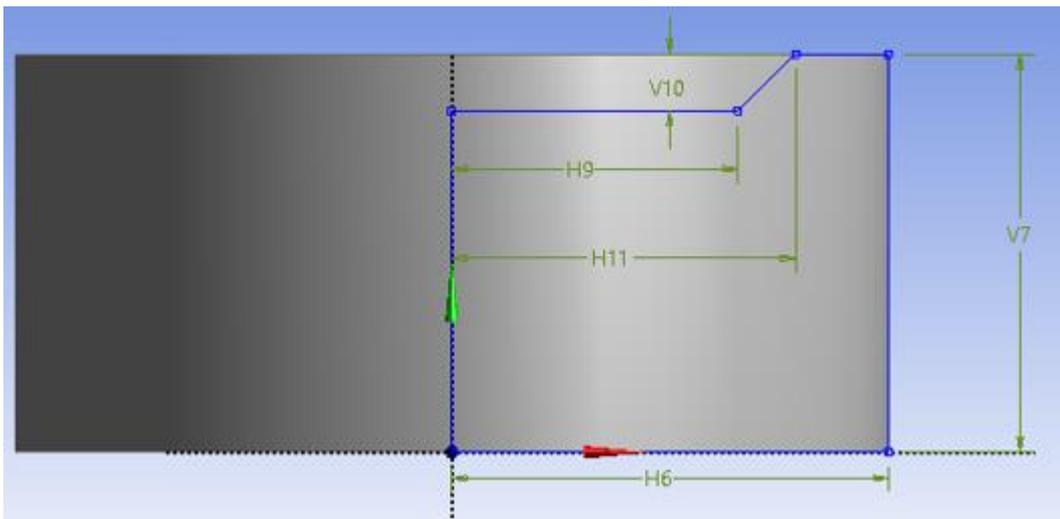


Figura 3.1 Matriz de acero 1018 ANSYS [Elaboración propia]

Para el diseño del punzón se realizó el mismo procedimiento que la matriz, es decir modificando las medidas mediante parámetros para no alterar la geometría primitiva del macho. Se variaron principalmente la altura (V5) y el diámetro interior del plato (H2) para obtener la distribución de temperatura superficial deseada en el punzón. Para realizar las simulaciones se utilizó la licencia educativa que proporciona el software ANSYS, Inc.

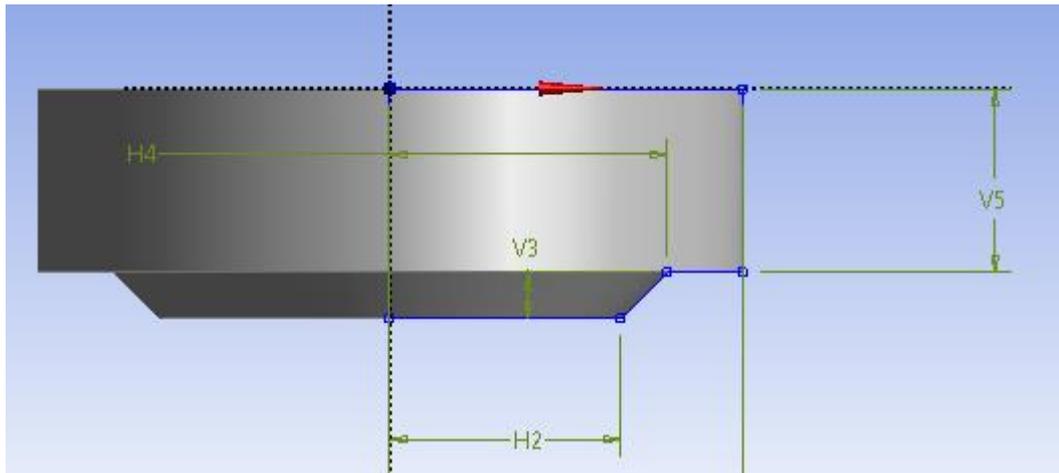


Figura 3.2 Punzón de acero 1018 ANSYS [Elaboración propia]

Dadas las medidas se procedió a mallar la matriz y el punzón, para esto se utilizó la malla de elementos tetraédricos que realiza por defecto el software. Finalmente, se resolvieron las ecuaciones de energía en estado estable para encontrar la distribución de temperatura en la parte superior de los dos objetos. Los resultados de las diferentes simulaciones se encuentran tabulados en la tabla 3.1 y 3.2 tanto para la matriz como para el punzón respectivamente. Para cada simulación se verificó que no existieran elementos con volúmenes negativos además de la ortogonalidad y oblicuidad para obtener un mallado aceptable.

Tabla 3.1 Tabla de distribución de temperatura - matriz [Elaboración propia]

Simulación	Diámetro Ext. [mm]	Altura [mm]	Potencia [W]	Flujo de calor [W/mm ²]	Temperatura Superficial [°C]
1	190	52.35			
2	190	52.35	1000	31250	400
3	190	52.35	500	31250	420
4	190	52.35	350	31250	435
5	190	70	100	41783	176
6	250	70	350	54978	213
7	190	70	350	41783	700
8	152.40	70	350	33515	266

En la Tabla 3.1 y 3.2 se aprecian las variaciones que se realizaron para encontrar las óptimas dimensiones de la matriz y el punzón para alcanzar la temperatura adecuada en estado estable.

Tabla 3.2 Tabla de distribución de temperatura - punzón [Elaboración propia]

Simulación	Diámetro Ext. [mm]	Altura [mm]	Potencia [W]	Flujo de calor [W/mm²]	Temperatura Superficial [°C]
1	180	70	100	23750	68
2	160	40	100	10053.10	170
3	140	70	100	21991.15	100
4	180	60	100	22619.47	168
5	152.4	70	1400	33514.51	160
6	152.4	60	700	33514.51	95
7	152.4	70	1000	33514.51	123
8	152.4	70	1000	33514.51	158
9	152.4	70	700	33514.51	120
10	152.4	70	700	21011.02	150

De las simulaciones se tiene que, para obtener un plato de 120 mm de diámetro con una profundidad de 20 mm, y obtener una temperatura superficial dentro las especificaciones del cliente; el diámetro exterior del punzón debe ser de 152.4 mm (6") mientras que la altura debe tener un valor de 70 mm para poder alcanzar una temperatura de 260°C en estado estable con una resistencia cuya potencia sea de 350 W. El resto de los valores fueron descartados debido a que para mecanizar dicha matriz se debería necesitar un eje cuyo diámetro sea mayor a 6 pulgadas de diámetro, lo cual se podría conseguir, pero su costo sería elevado por ser una medida no comercial.

3.1.1 Fabricación del punzón y de la matriz

La fabricación se la realizó en un torno CNC obteniendo el código G por medio del software Autodesk Fusion 360 mediante el uso una licencia educativa.

Para la obtención del código G, para fabricación del punzón se utilizó una herramienta tipo WCM con un radio de 0.8 mm a una velocidad de 200 mm/min.

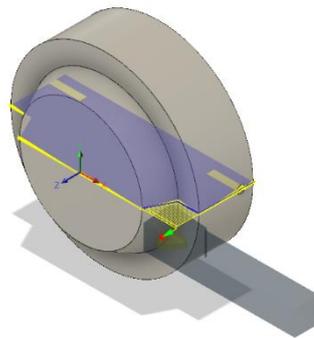


Figura 3.3 Simulación CNC del punzón [Elaboración propia]

Para la fabricación de la matriz se optó por usar una fresa de bola de 6 mm a una velocidad de 5000 RPM. Estos parámetros y los del punzón pueden variar según la máquina herramienta que se tenga disponible, variando el tiempo de fabricación y el acabado superficial.

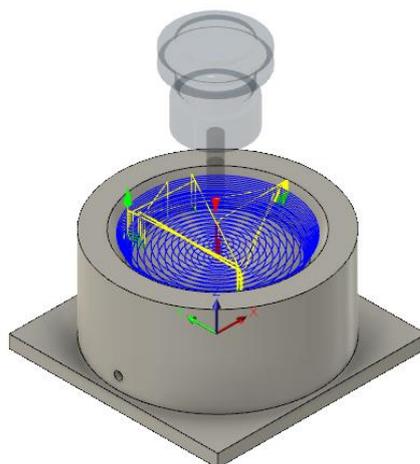


Figura 3.4 Simulación CNC de la matriz [Elaboración propia]

3.1.1 Análisis estructural del troquel

En la figura 3.5, podemos observar que las planchas de acero A36 que se usan como base estructural del troquel no fallan al soportar una presión de 0,1 MPa producida por el cilindro neumático. Esta presión de formado causa una deformación máxima de 0,03 mm. Además, no hay riesgo de falla por la carga aplicada, habiendo un factor de seguridad mínimo de 5 en la cavidad donde se colocaron los rodamientos lineales. Finalmente, en la mayor parte del troquel se obtiene un factor de seguridad de 12. Esta simulación se la realizó asumiendo que el punzón está en su límite superior.

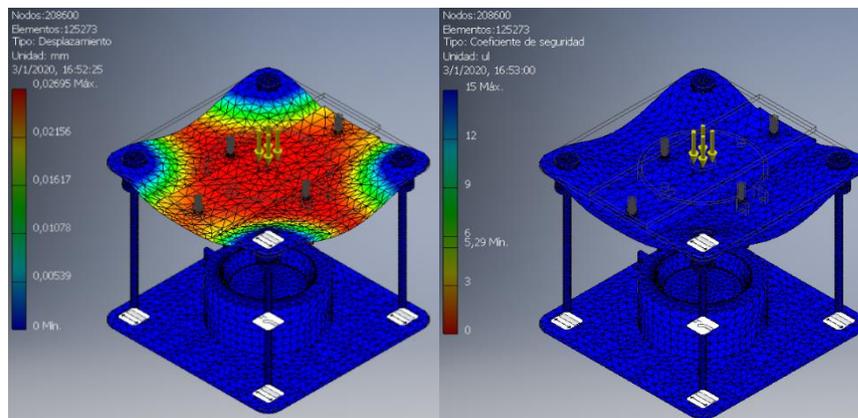


Figura 3.5 Análisis de deformación y esfuerzos sobre el troquel en base a una fuerza aplicada sobre la base del punzón. Deformación y coeficiente de seguridad

[Elaboración propia]

También se realizaron simulaciones para cuando el punzón se encuentra en contacto con la matriz durante el proceso de termoformado obteniendo deformaciones aún más pequeñas en términos de micras y coeficientes de seguridad similares a la pasada. Esto puede ser verificado en la figura 3.6 que se muestra a continuación.

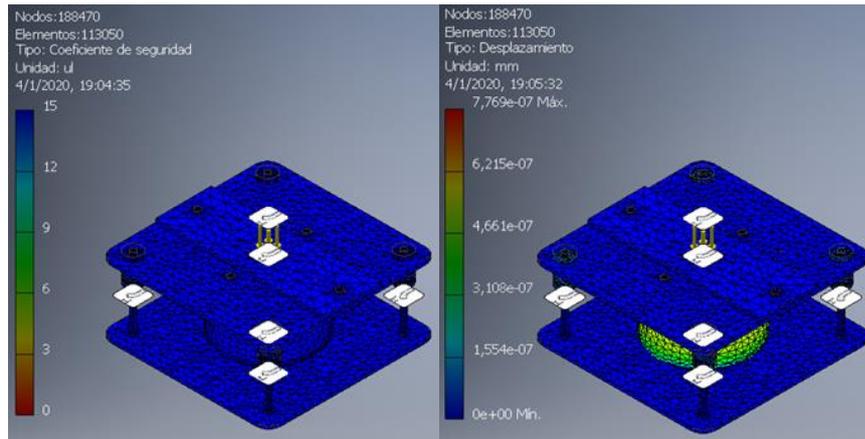


Figura 3.6 Análisis de esfuerzos y deformación sobre el troquel en base a una fuerza aplicada sobre la base del punzón cuando está en contacto con la matriz. Coeficiente de seguridad y deformación. **[Elaboración propia]**

3.2 Selección de la Resistencia Eléctrica

Las resistencias eléctricas son construidas según las especificaciones del cliente, para resistencias tipo banda se deben especificar las medidas del diámetro interno, la altura de la resistencia y la potencia a nominal al voltaje de operación. Para que estas resistencias puedan ser construidas, la altura debe satisfacer ciertos requerimientos para tener como salida la potencia deseada.

Para una resistencia eléctrica con la potencia y dimensiones obtenidas a partir de simulaciones en ANSYS, si es posible su fabricación. Sin embargo, como requerimiento, la resistencia debe funcionar para un voltaje de 220V, por tanto, se debe elegir una resistencia de mayor potencia. Si se tiene una resistencia eléctrica de determinada potencia diseñada para operar a 240V, y esta es operada a 120V, entonces la resistencia entrega la cuarta parte de la potencia nominal. Esto se comprende al aplicar la Ley de Ohm, dado que el voltaje es directamente proporcional a la corriente y la resistividad. Por tanto, para mantener la resistividad constante la corriente disminuye proporcionalmente al voltaje

Las simulaciones realizadas en ANSYS con una resistencia de 350 W a 120V fueron satisfactorias para alcanzar la temperatura deseada en la superficie de la matriz. Sin embargo, un requerimiento es que el sistema pueda ser también

operado a 220V, por lo que una resistencia de 350W a 120V, no funcionaría adecuadamente al ser operada a un voltaje mayor, lo que resultaría que la resistencia se vea afectada. Por este motivo se selecciona una resistencia eléctrica que entregue 1450W a 240V. Así al ser operada a la mitad de su voltaje de operación, se requiere la mitad de la corriente de operación, lo que resulta en que la potencia entregada sea de 363W a 120V.

3.3 Respuesta Transitoria de la Matriz

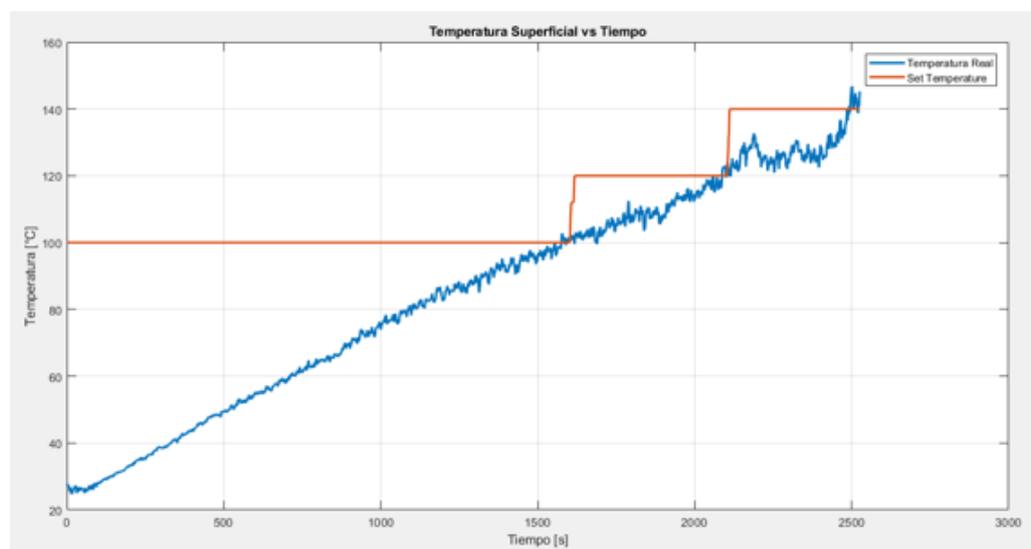


Figura 3.7 Variación de la temperatura superficial de la matriz con respecto al tiempo **[Elaboración propia]**

La Figura 3.7 muestra la variación de temperatura superficial de la matriz con respecto al tiempo. Los datos fueron obtenidos mediante adquisición de datos de temperatura y la medición se realizó con un termopar tipo K, ubicado en la parte superior de la matriz. La adquisición de datos se realizó cada 250 milisegundos, durante un tiempo total de 42 minutos (2500 segundos). La adquisición de datos se realizó en un ambiente con temperatura de 20°C. Como dispositivo de adquisición de datos se utilizó un Arduino UNO junto con el módulo MAX6675, que proporciona una resolución de 12 bits.

La línea de color azul corresponde a como varía la temperatura en la superficie de la matriz respecto al tiempo, mientras que la línea de color rojo corresponde a la temperatura configurada por el usuario.

A partir de la Figura 3.7 se puede aproximar el tiempo necesario para que el sistema alcance cierta temperatura, así por ejemplo para que el sistema alcance 100°C se necesitan 1565 [s] (26 min), 35 minutos para 120°C y 41 minutos para 140°C.

La gráfica de la Figura 3.7 corresponde cuando la resistencia eléctrica opera a 120V, al ser operada a 220V es posible alcanzar las mismas temperaturas en un menor tiempo.

3.3.1 Comparación de los Resultados Obtenidos en ANSYS

La Figura 3.8 hasta 3.11 corresponde a un análisis transitorio de la distribución de temperatura en la superficie de la matriz para diferentes tiempos; 100, 200, 400 y 600 segundos. En cada Figura se puede observar la temperatura que logra alcanzar a su respectivo tiempo de análisis. A continuación, en la Tabla 3.3 se comparan estos resultados obtenidos con la respuesta transitoria real de la matriz de la Figura 3.7.

Tabla 3.3 Comparación de resultados [Elaboración propia]

Tiempo [s]	Simulación	Respuesta Real [°C]	Error Relativo [%]
	ANSYS [°C]		
100	29.50	27.75	6.30
200	40.00	33.25	20.30
400	59.30	44.00	34.00
800	77.40	65.00	18.00

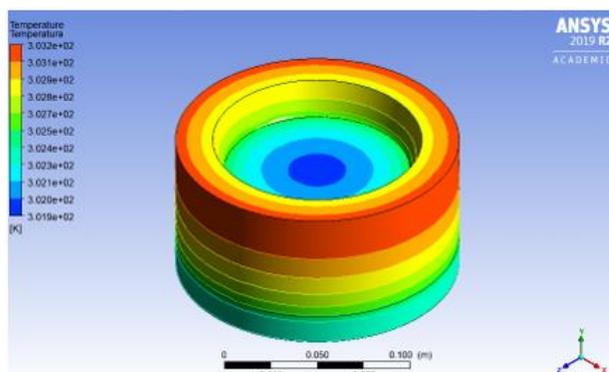


Figura 3.8 Distribución de temperatura a 100 segundos de iniciado el proceso de calentamiento **[Elaboración propia]**

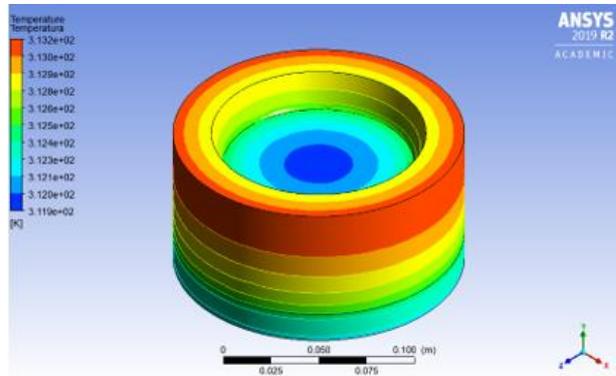


Figura 3.9 Distribución de temperatura a 200 segundos de iniciado el proceso de calentamiento **[Elaboración propia]**

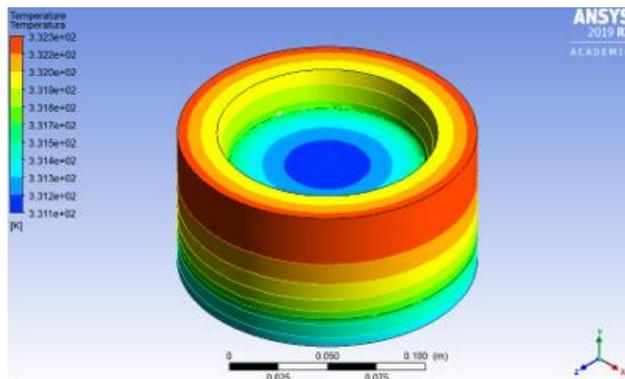


Figura 3.10 Distribución de temperatura a 400 segundos de iniciado el proceso de calentamiento **[Elaboración propia]**

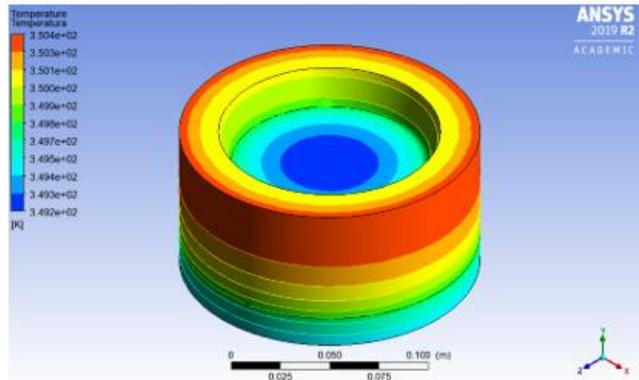


Figura 3.11 Distribución de temperatura a 800 segundos de iniciado el proceso de calentamiento **[Elaboración propia]**

3.4 Cálculos significativos

Una vez hechas las simulaciones se procedió a realizar los cálculos para corroborar con lo que se muestra en las simulaciones. Se usaron las ecuaciones descritas en el capítulo 2 para encontrar los esfuerzos presentes en las bases y las guías del troquel, con el fin de determinar el diámetro de los ejes que se usaran como guías y el espesor necesario para soportar la carga aplicada. Los cálculos se los puede encontrar en la sección de anexos.

3.5 Efecto de la temperatura en el estampado de platos

En lo que respecta al termoformado del plato, no se obtuvieron formas deseadas a temperaturas inferiores a 120°C. Esto se debe a que la hoja quedaba húmeda y ésta no ganaba rigidez durante 1 minuto, pero si se la punzonaba por más de 2 minutos, la hoja inferior se tostaba y se desprendía. La hoja de banano debe alcanzar 120°C para tener la forma de un plato; sin embargo, no gana rigidez, el nivel de húmeda no disminuye lo suficiente. Además, las capas de múltiples hojas (3 hojas) no se adhieren entre ellas, fallando en el termoformado (ver anexo, pruebas). Además, si se dejan demasiado tiempo bajo presión, la hoja que hace contacto con la matriz se quema y si el tiempo bajo presión no es el suficiente, no se obtienen los resultados esperados.

Un incremento de temperatura de 20°C, es decir a una temperatura de 140°C, se puede observar una mejora en la rigidez, pero la humedad y la adherencia

siguen no siendo las óptimas. A una temperatura de 160°C, los resultados en cuanto rigidez de los platos mejora; sin embargo, aún hay espacio para mejoras del proceso.

Al usar un tipo de aglutinante natural (almidón) para promover adherencia, los platos producidos son más compactos, pero muestran poca vida útil (3 horas), similares a las pruebas sin aglutinante.

Finalmente, los mejores resultados se obtienen al usar una sola hoja, donde ésta es doblada repetidas veces para que sus bordes se encuentren cerrados y junto con la acción del aglutinante hagan que el plato sea rígido y tenga mayor duración posterior a su formado. Las imágenes se las puede encontrar en la sección de anexos.

3.6 Análisis de Costos

Dependiendo de la forma del molde, se puede optar por usar equipos CNC para obtener mejor precisión en lugar de usar máquinas herramientas convencionales; sin embargo, esto tendría un costo más elevado. Se recomienda evaluar los beneficios y escoger la solución más viable. En lo que respecta a mano de obra, se estima un costo de \$50 por mecanizado, \$72 por la elaboración del sistema de control y regulación de temperatura y \$50 por el soldador - armador por 8 horas de trabajo.

Tabla 3.4 Costo de materiales [Elaboración propia]

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Eje 6" acero AISI 1018	2	\$ 41,00	\$ 82,00
Planchas de acero 30 x 30 cm	2	\$ 5,00	\$ 10,00
Eje ½ " acero AISI 1018	4	\$ 3,00	\$ 12,00
Resistencia Tipo Banda 1450 W - Ø 6"	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Metro de Cable #12 con cubierta de fibra de vidrio	2	\$ 6,00	\$ 12,00
Terminales tipo ojo para cables #10 y #12	10	\$ 0,10	\$ 1,00
Subtotal			\$ 157,00
IVA (12%)			\$ 18,84
Total			\$ 175,84

Diseñando el sistema de control de temperatura se logró reducir el costo a más de la mitad, puesto que la adquisición de un sistema de control existente en el mercado está alrededor de los \$180.

Tabla 3.5 Costo de materiales del sistema de control de temperatura [Elaboración propia]

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Relé de Estado Sólido – 25 A	1	\$ 9,80	\$ 9,80
Sensor de temperatura tipo K- Modelo tornillo	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Módulo Max6675	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Módulo I2C	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Arduino UNO	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Pantalla LCD 16x2	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Cable #12	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Cables jumpers	-	\$ 1,00	\$ 1,00
Bornera tipo tornillo	1	\$ 2,50	\$ 2,50
Bornera doble	3	\$ 0,10	\$ 0,30
Botones	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Total			\$ 63,10

3.7 Análisis de impacto social

Al elaborar platos con hojas de banano se promueve la creación de puestos de empleo, aunque no es un crecimiento considerable, es necesario al menos un operario por máquina, un trabajador que se encargue del mantenimiento de las máquinas y un trabajador que junte o doble las hojas antes del proceso. También motivamos a que las personas vendan a mejor precio las hojas o que ellos elaboren sus propios platos puesto que, el proceso de elaboración no es complejo.

3.8 Análisis de impacto ambiental

Con la producción de platos con hojas de banano, se reduce la cantidad de platos desechables en el mar y un consumo sostenible, cumpliendo con el ODS #12 (producción y consumo responsable) y #14 (vida submarina). Se estima una producción de 30 platos por hora produciendo un total de 240 por día en una rutina de 8 horas laborales. Además, al ser la hoja de banano comercializada en supermercado y/o similares, no se están disminuyendo los nutrientes al suelo por lo que no se afectaría el ciclo de la naturaleza de la región de donde se corta la hoja.

Para saber en cuánto se reduce en la contaminación de dióxido de carbono al usar platos biodegradables en lugar de platos de plásticos se usarán los datos del INEC (INEC, 2015) para saber cuántas familias hay en Ecuador. En el país hay alrededor de 3.7 millones de familias por lo que se asumirá que se conforman de 5 miembros y realizan una reunión al año donde se gastarán 5 platos. Obteniendo 18.500.000 de platos desechables de plástico por año.

Un plato de plástico pesa alrededor de 105 gr por lo que, usando el dato anterior se obtiene que 1.942.850 kg se usa para elaborar esa cantidad de platos. Según el Centro Internacional de Ley ambiental, un 1 kg de plástico emite 3.5 kg de CO₂ causando que al año por toda esa cantidad emita 6.798.750 kg de dióxido de carbono hacia la atmosfera. (ZEO, 2020)

Usando la hoja de banano como reemplazo del plástico para hacer platos biodegradables, se reducirá en esa cantidad la emisión de CO₂ a la atmosfera.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. El tiempo de calentamiento para alcanzar la temperatura deseada de acuerdo con la simulación realizada en ANSYS fue de 7 minutos, mientras que en la prueba real tardó 35 minutos aproximadamente, esto se debió a que en la simulación se asumió que la resistencia eléctrica se encontraba aislada y recibía 700 W potencia, pero en pruebas experimentales, ésta recibe menor potencia por tener otro tipo de conexión (120V en lugar de 220V). Además, no se encontraba aislada del exterior.
2. Los mejores resultados se formaron de platos biodegradables a base de hojas de banano se obtuvieron al usar una sola hoja, donde ésta es doblada repetidas veces para que sus bordes se encuentren cerrados y junto con la acción del aglutinante hacen que el plato sea rígido y tenga mayor duración posterior a su formado. Estos resultados a una temperatura superficial de la matriz de 160 °C a una presión de 14 kPa por un tiempo de estampado de 4 min.
3. Se elaboró los planos de fabricación de los elementos mecánicos que conforman el troquel en conjunto a los códigos CNC, usando el software Autodesk Fusion 360 para la creación de los códigos por las facilidades que nos brinda esta herramienta y por evitar errores de programación que afectarían en el mecanizado del material.
4. A partir de los resultados obtenidos se concluye que los platos biodegradables hechos con hojas de plátano pueden ser una alternativa que sustituya los platos de poliestireno expandido siempre que sean estampados a una temperatura correcta y en un material sanitario.
5. El diseño del sistema de control de temperatura propuesto proporciona una solución económica para realizar el proceso en caliente.

6. La matriz mecanizada a partir de un eje de acero de transmisión 6 pulgadas, resulta útil para este trabajo donde su uso se debe a motivos investigativos, caso contrario se recomienda utilizar acero inoxidable.

4.2 Recomendaciones

1. Se recomienda usar dos resistencias eléctricas, una para cada elemento del troquel. Si únicamente se calienta una de ellas, una parte de la hoja pierde humedad a una razón mayor que la otra cara de la hoja. Esto causa que el plato posea un secado no uniforme, no cuente con la humedad óptima y pierda su forma después de una hora.
2. Es necesario usar más de una capa de hoja para el termoformado del plato porque al usar solo una, se resecará por estar sometida a altas temperaturas y luego, se fracturará (romperá, agrietará) en un corto periodo de tiempo.
3. Se recomienda incrementar la presión de estampado para que la matriz y el punzón sean capaces de cortar los alrededores y de transferir calor uniformemente a toda el área de contacto.
4. Se recomienda aislar las resistencias para una mayor velocidad de calentamiento. Al no hacerlo, la tasa se reducirá y se tendrá que esperar un mayor tiempo como en las pruebas donde se tenía que calentar en 7 minutos, pero se demoró casi 16 minutos para llegar a 120°C.
5. Se recomienda dejar los platos en lugares que no sean húmedos para evitar que se deformen o dejarlos al vacío para observar el comportamiento del plato con el pasar del tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Archundia, M. (Abril de 2015). *Diseño y Manufactura de un troquel de corte con fines didácticos*. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/7658/1/Tesis.pdf>
- Echazarra Envases. (Marzo de 2012). *Echazarra Envases*. Obtenido de <http://echazarraenvases.com/problematika-medioambiental-del-envase-de-plastico/>
- El Tiempo. (27 de Marzo de 2009). ¿Cuanto tiempo tardan los plásticos en descomponerse? *El Tiempo*.
- Norton, R. (2011). *Diseño de máquinas*. Pearson.
- Trullas, A. (2018). *Resistencias eléctricas Industriales*. Obtenido de http://www.alberttrullas.com/catalogo_tre.pdf?fbclid=IwAR1OYg3uCWCLRGsivVjSg_JzPN-7NPkhPgQLXYw53ZpGYaMKrghgMJMNpA
- Albán, L., & Alvia, N. (2017). *Diseño de una máquina para fabricar envases biodegradables a partir de especies vegetales*. ESPOL.
- El Telégrafo, E. T. (2018, junio 5). Ecuador tiene iniciativas para reducir consumo de plástico. *El Telégrafo - Noticias del Ecuador y del mundo*. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/ecuador-reduccion-consumo-plasticos-ambiente>
- George E. Dieter, L. C. S. (2011). *Engineering Design* (Quinta). McGraw-Hill.
- Hora, D. L. (2018, mayo 12). Platos desechables tienen los días contados en centros comerciales—La Hora. *La Hora Noticias de Ecuador, sus provincias y el mundo*. <https://lahora.com.ec/quito/noticia/1102156250/platos-desechables-tienen-los->

dias-contados-en-centros-
comerciales?fbclid=IwAR32YSOFsZvUYInpK790IVZOiy-
Hmy_Y8BunBk1ZAYlhIYj2POjjkOFilpc

Murthy, Kestur, & Venkatesh. (s. f.). *Continuous press to manufacturing biodegradable plates* (Patent N.º A1 WO 2004/056544).

INEC. (2015). *Mujeres y Hombres del Ecuador en cifras III*. Editorial Ecuador.

ZEO, (21 de Enero de 2020). ZEO. Obtenido de <https://plataformazeo.com/es/cuanto-co2-emite-el-plastico/>

APÉNDICES

Cálculos representativos

Guías

Para los cálculos se asumió una presión de 0.1 MPa producida por el pistón, obteniendo una fuerza de 196.35 N causando que cada guía reciba la cuarta parte de esta fuerza, además estarán sometidas al peso de la estructura. De esta manera, se calculó los esfuerzos de flexión y normal sobre las guías usando las ecuaciones 2.2 y 2.3.

Datos

Inercia= $7.85 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

Momento= 10.31 N.m

Fuerza= 68.71 N

Distancia= 0.15 m

Área= 3.1416 cm^2

Sy= 235 MPa

Sut= 520 MPa

$$\sigma_f = \frac{Mr}{I}$$

$$\sigma_f = \frac{10.31 * 0.15}{7.85 \times 10^{-9}} = \mathbf{18.56 \text{ MPa}}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{68.71}{3.1416 \times 10^{-4}} = \mathbf{0.16 \text{ MPa}}$$

Con los esfuerzos encontrados, se procedió a encontrar el esfuerzo equivalente usando la teoría de distorsión de energía o Von Mises cuya ecuación es la 2.4.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}}$$

$$\sigma' = \sqrt{(18.56 + 0.16)^2 + (0)^2 + 3(0)}$$

$$\sigma' = \mathbf{18.7 \text{ MPa}}$$

Al no haber cortante ni esfuerzos en otras direcciones, se sumó los dos esfuerzos directamente. Luego se encontró el factor de seguridad por diseño estático usando la ecuación 2.5.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$\eta = \frac{235 \text{ MPa}}{18.7 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 12.6$$

Lo siguiente que se hizo es hallar el factor de seguridad por fatiga, para ello es necesario encontrar los factores de corrección que se encuentran en la ecuación 6.

$$Se' = C_{carga} * C_{temp} * C_{sup} * C_{tam} * C_{conf} * Se$$

El factor de carga es de 0.7 porque la guía se encuentra sometida a flexión y compresión. Como la temperatura a la que se encontrará la guía no será mayor a 120 °C, el factor de temperatura es 1. El factor de superficie se lo encuentra usando la figura 2.7 del libro de Norton de diseño de máquinas, encontrando que el factor de superficie es igual a 0.78. Para el factor de confiabilidad se asume una confiabilidad del 90% y usando la figura 2.6 se determina que su valor es 0.814. Finalmente, para el factor de tamaño se obtuvo un valor igual a 1.

$$Se' = 0.7 * 1 * 0.78 * 0.814 * 1 * 260000000$$

$$Se' = 115 \text{ MPa}$$

Con esto, se procede a encontrar el factor de seguridad usando la ecuación 2.7.

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{Se'} + \frac{\sigma_m}{Sut}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{93.5}{115} + \frac{93.5}{520}$$

$$\eta = 6.2$$

Placa inferior

Datos

Altura= 6 mm

Base= 30 cm

Inercia= $5.4 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

Área= 0.09 m^2

Fuerza= 314

Sy= 235 MPa

Sut= 520 MPa

$$\sigma_f = \frac{Mr}{I}$$
$$\sigma_f = \frac{47.11 * 0.15}{5.4 \times 10^{-9}} = 26.2 \text{ MPa}$$
$$\sigma = \frac{F}{A}$$
$$\sigma = \frac{314}{5.4 \times 10^{-4}} = 0.004 \text{ MPa}$$

Con los esfuerzos calculados se procede a encontrar el esfuerzo equivalente, pero se desprecia debido a que el esfuerzo normal es pequeño comparado al de flexión. Con esta suposición se procede a encontrar el factor de seguridad por diseño estático.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'}$$
$$\eta = \frac{235 \text{ MPa}}{26.2 \text{ MPa}}$$
$$\eta = 9$$

Para hallar el factor de seguridad por fatiga, es necesario encontrar los factores de corrección que se encuentran en la ecuación 6.

$$Se' = C_{carga} * C_{temp} * C_{sup} * C_{tam} * C_{conf} * Se$$

El factor de carga es de 0.7 debido a que la guía se encuentra sometida a flexión y compresión. Como la temperatura a la que se encontrará la guía no será mayor a 120 °C, el factor de temperatura es 1. El factor de superficie se lo encuentra usando la figura 2.7 del libro de Norton de diseño de máquinas, encontrando que el factor de superficie es igual a 0.66. Para el factor de confiabilidad se asume una confiabilidad del 90% y

usando la figura 2.6 del libro de Norton se determina que su valor es 0.814. Finalmente, para el factor de tamaño se obtuvo un valor igual a 1.

$$Se' = 0.7 * 1 * 0.66 * 0.814 * 1 * 260000000$$

$$Se' = 140 \text{ MPa}$$

Con esto, se procede a encontrar el factor de seguridad usando la ecuación 7.

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{Se'} + \frac{\sigma_m}{Sut}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{13.1}{140} + \frac{13.1}{520}$$

$$\eta = 3.9$$

Flujo de calor

Usando la ecuación 2.1, se calculó el flujo de calor necesario para alcanzar la temperatura requerida para el termoformado del plato de hoja de banano.

$$\dot{q} = \frac{Q}{A}$$

$$\dot{q} = \frac{700}{\pi * 0.02 * 0.1524}$$

$$\dot{q} = 73102.6 \frac{W}{m^2}$$

Con ese flujo de calor se logró alcanzar la temperatura óptima que mencionaba la patente como referencia

Sistema de Control



Figura 3.12 Sistema de control conectado a la resistencia [Elaboración propia]



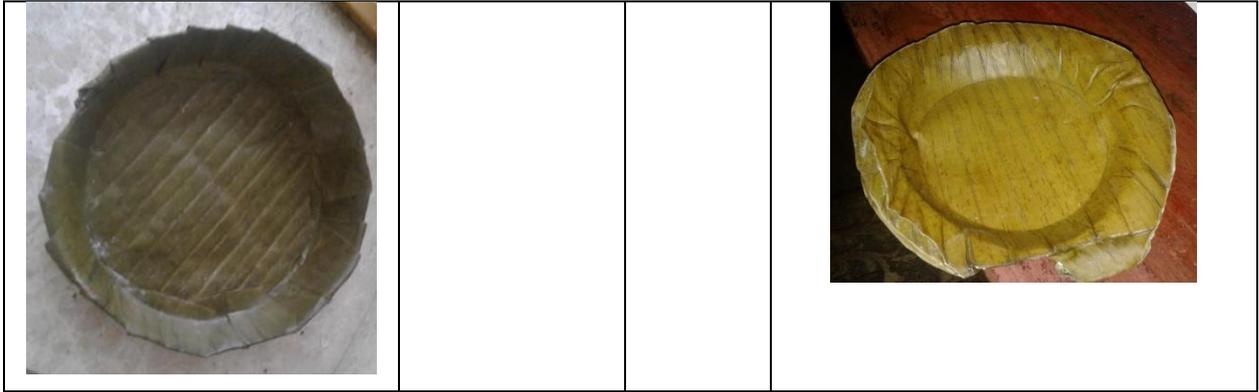
Figura 3.13 Sistema de control vista frontal [Elaboración propia]

Pruebas

Tabla 3.5 Tabla de pruebas a distintas temperaturas y tiempos **[Elaboración propia]**

Imagen	Temperatura [°C]	Tiempo [s]	Observaciones
	116-125	30	Mala rigidez, húmedo y se deforma rápidamente.
	140	30	Gano rigidez, pero al igual que las anteriores su deformación es inmediata al aire libre. 
	150	60	Se aumentó la temperatura y el tiempo logrando obtener mejores resultados en cuestión de forma, pero se deformaba después de 1 hora.
	140	90 - 180	Se logró una mejor forma aumentando el tiempo de

			<p>punzonado, pero mala adherencia entre las hojas.</p> 
	<p>150 - 160</p>	<p>240</p>	<p>Se usó aglutinante en cada hoja para que gane rigidez y aumente su resistencia al ambiente, pero no fue suficiente porque se desgastaba después de 2 horas.</p> 
	<p>180</p>	<p>240</p>	<p>Se optó por doblar una hoja varias veces y luego punzonar por 4 minutos, obteniendo platos con rigidez aceptable y resistente a la humedad del lugar.</p>



Código G para el punzón

%	N165 G01 Z-19.3 F1.
O1001	N170 X146.4
N10 G94	N175 X148.4 Z-18.3
N15 G26 S6000	N180 G00 Z0.6
N20 G14	N185 X141.6
N25 T101	N190 G01 Z-19.3 F1.
N30 M08	N195 X144.
N35 G95	N200 X146. Z-18.3
N40 G97 S407 M03	N205 G00 Z0.6
N45 G00 X156.4 Z5.	N210 X139.2
N50 G96 S200 M03	N215 G01 Z-19.3 F1.
N55 G26 S6000	N220 X141.6
N60 G00 Z0.6	N225 X143.6 Z-18.3
N65 X151.2	N230 G00 Z0.6
N70 G01 Z-19.3 F1.	N235 X136.8
N75 X152.6	N240 G01 Z-19.3 F1.
N80 Z-51.239	N245 X139.2
N85 X151.694 Z-56.419	N250 X141.2 Z-18.3
N90 X152.6	N255 G00 Z0.6
N95 Z-64.2	N260 X134.4
N100 X153.6	N265 G01 Z-19.3 F1.
N105 G00 Z0.6	N270 X136.8
N110 X148.8	N275 X138.8 Z-18.3
N115 G01 Z-19.3 F1.	N280 G00 Z0.6
N120 X151.2	N285 X132.
N125 X153.2 Z-18.3	N290 G01 Z-19.3 F1.
N130 G00 Z0.6	N295 X134.4
N135 X146.4	N300 X136.4 Z-18.3
N140 G01 Z-19.3 F1.	N305 G00 Z0.6
N145 X148.8	N310 X129.6
N150 X150.8 Z-18.3	N315 G01 Z-19.3 F1.
N155 G00 Z0.6	N320 X132.
N160 X144.	N325 X134. Z-18.3

N330 G00 Z0.6
N335 X127.2
N340 G01 Z-19.3 F1.
N345 X129.6
N350 X131.6 Z-18.3
N355 G00 Z0.6
N360 X124.8
N365 G01 Z-19.3 F1.
N370 X127.2
N375 X129.2 Z-18.3
N380 G00 Z0.6
N385 X122.4
N390 G01 Z-19.3 F1.
N395 X124.8
N400 X126.8 Z-18.3
N405 G00 Z0.6
N410 X120.
N415 G01 Z-19.3 F1.
N420 X122.4
N425 X124.4 Z-18.3
N430 G00 Z0.6
N435 X117.6
N440 G01 Z-18.729 F1.
N445 X118.171 Z-19.3
N450 X120.
N455 X122. Z-18.3
N460 G00 Z0.6
N465 X115.2
N470 G01 Z-16.329 F1.
N475 X117.6 Z-18.729
N480 X119.6 Z-17.729
N485 G00 Z0.6
N490 X112.8
N495 G01 Z-13.929 F1.
N500 X115.2 Z-16.329
N505 X117.2 Z-15.329
N510 G00 Z0.6
N515 X110.4
N520 G01 Z-11.529 F1.
N525 X112.8 Z-13.929
N530 X114.8 Z-12.929
N535 G00 Z0.6
N540 X108.
N545 G01 Z-9.129 F1.
N550 X110.4 Z-11.529
N555 X112.4 Z-10.529
N560 G00 Z0.6
N565 X105.6
N570 G01 Z-6.729 F1.
N575 X108. Z-9.129
N580 X110. Z-8.129
N585 G00 Z0.6
N590 X103.2
N595 G01 Z-4.329 F1.
N600 X105.6 Z-6.729
N605 X107.6 Z-5.729
N610 G00 Z0.6
N615 X101.234
N620 G01 Z-2.363 F1.
N625 X103.2 Z-4.329
N630 X105.2 Z-3.329
N635 G00 Z0.6
N640 X99.268
N645 G01 Z-0.398 F1.
N650 X101.234 Z-2.363
N655 X103.234 Z-1.363
N660 G00 X153.6
N665 Z0.6

N670 X156.4

N675 Z5.

N680 G97 S407 M03

N685 M09

N690 G14

N695 M30

%

Código G para la matriz

0 BEGIN PGM 1001 MM	32 L X+0.038 Z-72.409
1 M3	33 L X+0.137 Y+1.242 Z-72.406
2 L Z-1 M91	34 L X+0.236 Y+1.227 Z-72.402
3 TOOL CALL 1 Z S5000	35 L X+0.333 Y+1.204 Z-72.399
4 L X-1.112 Y-0.575 Z-80	36 L X+0.429 Y+1.174 Z-72.395
5 L Z-75 FMAX	37 L X+0.521 Y+1.136 Z-72.392
6 L Z-72.5 FMAX	38 L X+0.61 Y+1.09 Z-72.388
7 L X-1.154 Y-0.484 Z-72.497 F333	39 L X+0.695 Y+1.038 Z-72.385
8 L X-1.189 Y-0.39 Z-72.493	40 L X+0.776 Y+0.979 Z-72.381
9 L X-1.216 Y-0.294 Z-72.49	41 L X+0.852 Y+0.914 Z-72.378
10 L X-1.236 Y-0.196 Z-72.486	42 L X+0.922 Y+0.843 Z-72.374
11 L X-1.248 Y-0.097 Z-72.483	43 L X+0.986 Y+0.766 Z-72.371
12 L X-1.252 Y+0.003 Z-72.479	44 L X+1.044 Y+0.685 Z-72.367
13 L X-1.247 Y+0.103 Z-72.476	45 L X+1.096 Y+0.599 Z-72.364
14 L X-1.235 Y+0.202 Z-72.472	46 L X+1.14 Y+0.509 Z-72.36
15 L X-1.215 Y+0.3 Z-72.469	47 L X+1.177 Y+0.416 Z-72.357
16 L X-1.187 Y+0.396 Z-72.465	48 L X+1.206 Y+0.321 Z-72.353
17 L X-1.152 Y+0.489 Z-72.462	49 L X+1.228 Y+0.223 Z-72.35
18 L X-1.109 Y+0.58 Z-72.458	50 L X+1.242 Y+0.124 Z-72.346
19 L X-1.059 Y+0.666 Z-72.455	51 L X+1.248 Y+0.025 Z-72.343
20 L X-1.003 Y+0.749 Z-72.451	52 L X+1.246 Y-0.075 Z-72.339
21 L X-0.94 Y+0.826 Z-72.448	53 L X+1.236 Y-0.175 Z-72.336
22 L X-0.87 Y+0.899 Z-72.444	54 L X+1.218 Y-0.273 Z-72.332
23 L X-0.796 Y+0.965 Z-72.441	55 L X+1.192 Y-0.37 Z-72.329
24 L X-0.716 Y+1.026 Z-72.437	56 L X+1.159 Y-0.464 Z-72.325
25 L X-0.632 Y+1.079 Z-72.434	57 L X+1.118 Y-0.555 Z-72.322
26 L X-0.544 Y+1.126 Z-72.43	58 L X+1.07 Y-0.643 Z-72.318
27 L X-0.452 Y+1.166 Z-72.427	59 L X+1.016 Y-0.727 Z-72.315
28 L X-0.357 Y+1.198 Z-72.423	60 L X+0.954 Y-0.805 Z-72.311
29 L X-0.261 Y+1.223 Z-72.42	61 L X+0.887 Y-0.879 Z-72.308
30 L X-0.162 Y+1.24 Z-72.416	62 L X+0.814 Y-0.947 Z-72.304
31 L X-0.062 Y+1.249 Z-72.413	63 L X+0.735 Y-1.01 Z-72.301

64 L X+0.652 Y-1.065 Z-72.297
65 L X+0.565 Y-1.114 Z-72.294
66 L X+0.474 Y-1.156 Z-72.291
67 L X+0.38 Y-1.19 Z-72.287
68 L X+0.284 Y-1.217 Z-72.284
69 L X+0.186 Y-1.236 Z-72.28
70 L X+0.087 Y-1.247 Z-72.277
71 L X-0.013 Y-1.25 Z-72.273
72 L X-0.113 Y-1.245 Z-72.27
73 L X-0.212 Y-1.232 Z-72.266
74 L X-0.31 Y-1.211 Z-72.263
75 L X-0.406 Y-1.183 Z-72.259
76 L X-0.499 Y-1.147 Z-72.256
77 L X-0.589 Y-1.103 Z-72.252
78 L X-0.675 Y-1.053 Z-72.249
79 L X-0.757 Y-0.996 Z-72.245
80 L X-0.834 Y-0.932 Z-72.242
81 L X-0.906 Y-0.863 Z-72.238
82 L X-0.972 Y-0.787 Z-72.235
83 L X-1.032 Y-0.707 Z-72.231
84 L X-1.085 Y-0.623 Z-72.228
85 L X-1.132 Y-0.534 Z-72.224
86 L X-1.171 Y-0.442 Z-72.221
87 L X-1.202 Y-0.347 Z-72.217
88 L X-1.226 Y-0.25 Z-72.214
89 L X-1.242 Y-0.152 Z-72.21
90 L X-1.251 Y-0.052 Z-72.207
91 L Y+0.048 Z-72.203
92 L X-1.243 Y+0.148 Z-72.2
93 L X-1.227 Y+0.246 Z-72.196
94 L X-1.204 Y+0.343 Z-72.193
95 L X-1.172 Y+0.438 Z-72.189
96 L X-1.133 Y+0.531 Z-72.186
97 L X-1.087 Y+0.619 Z-72.182
98 L X-1.035 Y+0.704 Z-72.179
99 L X-0.975 Y+0.784 Z-72.175
100 L X-0.909 Y+0.86 Z-72.172
101 L X-0.838 Y+0.929 Z-72.168
102 L X-0.761 Y+0.993 Z-72.165
103 L X-0.679 Y+1.051 Z-72.161
104 L X-0.593 Y+1.101 Z-72.158
105 L X-0.503 Y+1.145 Z-72.154
106 L X-0.41 Y+1.182 Z-72.151
107 L X-0.314 Y+1.21 Z-72.147
108 L X-0.216 Y+1.231 Z-72.144
109 L X-0.117 Y+1.245 Z-72.14
110 L X-0.017 Y+1.25 Z-72.137
111 L X+0.082 Y+1.247 Z-72.133
112 L X+0.182 Y+1.237 Z-72.13
113 L X+0.28 Y+1.218 Z-72.126
114 L X+0.376 Y+1.191 Z-72.123
115 L X+0.47 Y+1.157 Z-72.119
116 L X+0.561 Y+1.116 Z-72.116
117 L X+0.649 Y+1.067 Z-72.112
118 L X+0.732 Y+1.012 Z-72.109
119 L X+0.811 Y+0.95 Z-72.105
120 L X+0.884 Y+0.882 Z-72.102
121 L X+0.952 Y+0.809 Z-72.098
122 L X+1.013 Y+0.73 Z-72.095
123 L X+1.068 Y+0.647 Z-72.091
124 L X+1.116 Y+0.559 Z-72.088
125 L X+1.158 Y+0.468 Z-72.084
126 L X+1.191 Y+0.374 Z-72.081
127 L X+1.217 Y+0.277 Z-72.078
128 L X+1.236 Y+0.179 Z-72.074
129 L X+1.246 Y+0.08 Z-72.071
130 L X+1.248 Y-0.02 Z-72.067
131 L X+1.243 Y-0.12 Z-72.064

132 L X+1.229 Y-0.219 Z-72.06	166 L X-1.214 Y-0.304 Z-71.941
133 L X+1.208 Y-0.317 Z-72.057	167 L X-1.234 Y-0.206 Z-71.938
134 L X+1.178 Y-0.412 Z-72.053	168 L X-1.247 Y-0.107 Z-71.934
135 L X+1.142 Y-0.505 Z-72.05	169 L X-1.252 Y-0.007 Z-71.931
136 L X+1.098 Y-0.595 Z-72.046	170 L X-1.248 Y+0.093 Z-71.927
137 L X+1.047 Y-0.681 Z-72.043	171 L X-1.237 Y+0.192 Z-71.924
138 L X+0.989 Y-0.763 Z-72.039	172 L X-1.217 Y+0.29 Z-71.92
139 L X+0.925 Y-0.839 Z-72.036	173 L X-1.19 Y+0.386 Z-71.917
140 L X+0.855 Y-0.911 Z-72.032	174 L X-1.156 Y+0.48 Z-71.913
141 L X+0.779 Y-0.976 Z-72.029	175 L X-1.114 Y+0.571 Z-71.91
142 L X+0.699 Y-1.035 Z-72.025	176 L X-1.064 Y+0.658 Z-71.906
143 L X+0.614 Y-1.088 Z-72.022	177 L X-1.009 Y+0.741 Z-71.903
144 L X+0.525 Y-1.134 Z-72.018	178 L X-0.946 Y+0.819 Z-71.899
145 L X+0.432 Y-1.172 Z-72.015	179 L X-0.878 Y+0.892 Z-71.896
146 L X+0.337 Y-1.203 Z-72.011	180 L X-0.804 Y+0.959 Z-71.892
147 L X+0.24 Y-1.226 Z-72.008	181 L X-0.724 Y+1.02 Z-71.889
148 L X+0.141 Y-1.242 Z-72.004	182 L X-0.641 Y+1.074 Z-71.885
149 L X+0.042 Y-1.249 Z-72.001	183 L X-0.553 Y+1.122 Z-71.882
150 L X-0.058 Z-71.997	184 L X-0.461 Y+1.162 Z-71.878
151 L X-0.158 Y-1.24 Z-71.994	185 L X-0.367 Y+1.195 Z-71.875
152 L X-0.256 Y-1.224 Z-71.99	186 L X-0.27 Y+1.221 Z-71.872
153 L X-0.353 Y-1.199 Z-71.987	187 L X-0.172 Y+1.238 Z-71.868
154 L X-0.448 Y-1.167 Z-71.983	188 L X-0.072 Y+1.248 Z-71.865
155 L X-0.54 Y-1.128 Z-71.98	189 L X+0.028 Y+1.25 Z-71.861
156 L X-0.628 Y-1.081 Z-71.976	190 L X+0.127 Y+1.243 Z-71.858
157 L X-0.713 Y-1.028 Z-71.973	191 L X+0.226 Y+1.229 Z-71.854
158 L X-0.793 Y-0.968 Z-71.969	192 L X+0.324 Y+1.207 Z-71.851
159 L X-0.867 Y-0.901 Z-71.966	193 L X+0.419 Y+1.177 Z-71.847
160 L X-0.937 Y-0.829 Z-71.962	194 L X+0.512 Y+1.14 Z-71.844
161 L X-1 Y-0.752 Z-71.959	195 L X+0.601 Y+1.095 Z-71.84
162 L X-1.057 Y-0.67 Z-71.955	196 L X+0.687 Y+1.043 Z-71.837
163 L X-1.107 Y-0.583 Z-71.952	197 L X+0.768 Y+0.985 Z-71.833
164 L X-1.15 Y-0.493 Z-71.948	198 L X+0.844 Y+0.92 Z-71.83
165 L X-1.186 Y-0.4 Z-71.945	199 L X+0.915 Y+0.85 Z-71.826

200 L X+0.98 Y+0.774 Z-71.823
201 L X+1.039 Y+0.693 Z-71.819
202 L X+1.091 Y+0.608 Z-71.816
203 L X+1.136 Y+0.518 Z-71.812
204 L X+1.174 Y+0.426 Z-71.809
205 L X+1.204 Y+0.331 Z-71.805
206 L X+1.226 Y+0.233 Z-71.802
207 L X+1.241 Y+0.134 Z-71.798
208 L X+1.248 Y+0.035 Z-71.795
209 L X+1.247 Y-0.065 Z-71.791
210 L X+1.237 Y-0.165 Z-71.788
211 L X+1.22 Y-0.263 Z-71.784
212 L X+1.195 Y-0.36 Z-71.781
213 L X+1.163 Y-0.455 Z-71.777
214 L X+1.123 Y-0.546 Z-71.774
215 L X+1.075 Y-0.634 Z-71.77
216 L X+1.021 Y-0.718 Z-71.767
217 L X+0.961 Y-0.798 Z-71.763
218 L X+0.894 Y-0.872 Z-71.76
219 L X+0.821 Y-0.941 Z-71.756
220 L X+0.743 Y-1.004 Z-71.753
221 L X+0.661 Y-1.06 Z-71.749
222 L X+0.574 Y-1.109 Z-71.746
223 L X+0.484 Y-1.152 Z-71.742
224 L X+0.39 Y-1.187 Z-71.739
225 L X+0.294 Y-1.215 Z-71.735
226 L X+0.196 Y-1.234 Z-71.732
227 L X+0.097 Y-1.246 Z-71.728
228 L X-0.003 Y-1.25 Z-71.725
229 L X-0.103 Y-1.246 Z-71.721
230 L X-0.202 Y-1.234 Z-71.718
231 L X-0.3 Y-1.214 Z-71.714
232 L X-0.396 Y-1.186 Z-71.711
233 L X-0.49 Y-1.151 Z-71.707
234 L X-0.58 Y-1.108 Z-71.704
235 L X-0.667 Y-1.058 Z-71.7
236 L X-0.749 Y-1.002 Z-71.697
237 L X-0.827 Y-0.939 Z-71.693
238 L X-0.899 Y-0.87 Z-71.69
239 L X-0.966 Y-0.795 Z-71.686
240 L X-1.026 Y-0.716 Z-71.683
241 L X-1.08 Y-0.631 Z-71.679
242 L X-1.127 Y-0.543 Z-71.676
243 L X-1.167 Y-0.452 Z-71.672
244 L X-1.2 Y-0.357 Z-71.669
245 L X-1.224 Y-0.26 Z-71.666
246 L X-1.241 Y-0.162 Z-71.662
247 L X-1.25 Y-0.062 Z-71.659
248 L X-1.251 Y+0.038 Z-71.655
249 L X-1.244 Y+0.138 Z-71.652
250 L X-1.229 Y+0.236 Z-71.648
251 L X-1.206 Y+0.334 Z-71.645
252 L X-1.176 Y+0.429 Z-71.641
253 L X-1.138 Y+0.521 Z-71.638
254 L X-1.092 Y+0.611 Z-71.634
255 L X-1.04 Y+0.696 Z-71.631
256 L X-0.981 Y+0.777 Z-71.627
257 L X-0.916 Y+0.852 Z-71.624
258 L X-0.845 Y+0.923 Z-71.62
259 L X-0.769 Y+0.987 Z-71.617
260 L X-0.687 Y+1.045 Z-71.613
261 L X-0.602 Y+1.097 Z-71.61
262 L X-0.512 Y+1.141 Z-71.606
263 L X-0.419 Y+1.178 Z-71.603
264 L X-0.324 Y+1.208 Z-71.599
265 L X-0.226 Y+1.23 Z-71.596
266 L X-0.127 Y+1.244 Z-71.592
267 L X-0.027 Y+1.25 Z-71.589

268 L X+0.072 Y+1.248 Z-71.585
269 L X+0.172 Y+1.238 Z-71.582
270 L X+0.27 Y+1.22 Z-71.578
271 L X+0.367 Y+1.194 Z-71.575
272 L X+0.461 Y+1.161 Z-71.571
273 L X+0.552 Y+1.121 Z-71.568
274 L X+0.64 Y+1.073 Z-71.564
275 L X+0.724 Y+1.018 Z-71.561
276 L X+0.803 Y+0.957 Z-71.557
277 L X+0.877 Y+0.889 Z-71.554
278 L X+0.945 Y+0.816 Z-71.55
279 L X+1.007 Y+0.738 Z-71.547
280 L X+1.063 Y+0.655 Z-71.543
281 L X+1.112 Y+0.568 Z-71.54
282 L X+1.154 Y+0.477 Z-71.536
283 L X+1.188 Y+0.383 Z-71.533
284 L X+1.215 Y+0.287 Z-71.529
285 L X+1.234 Y+0.189 Z-71.526
286 L X+1.245 Y+0.09 Z-71.522
287 L X+1.248 Y-0.01 Z-71.519
288 L X+1.244 Y-0.11 Z-71.515
289 L X+1.231 Y-0.209 Z-71.512
290 L X+1.21 Y-0.307 Z-71.508
291 L X+1.182 Y-0.403 Z-71.505
292 L X+1.146 Y-0.496 Z-71.501
293 L X+1.102 Y-0.586 Z-71.498
294 L X+1.052 Y-0.673 Z-71.494
295 L X+0.995 Y-0.755 Z-71.491
296 L X+0.931 Y-0.832 Z-71.487
297 L X+0.862 Y-0.904 Z-71.484
298 L X+0.787 Y-0.97 Z-71.48
299 L X+0.707 Y-1.03 Z-71.477
300 L X+0.622 Y-1.083 Z-71.473
301 L X+0.534 Y-1.129 Z-71.47
302 L X+0.442 Y-1.169 Z-71.466
303 L X+0.347 Y-1.2 Z-71.463
304 L X+0.25 Y-1.224 Z-71.459
305 L X+0.151 Y-1.241 Z-71.456
306 L X+0.052 Y-1.249 Z-71.453
307 L X-0.048 Z-71.449
308 L X-0.148 Y-1.241 Z-71.446
309 L X-0.247 Y-1.226 Z-71.442
310 L X-0.344 Y-1.202 Z-71.439
311 L X-0.439 Y-1.171 Z-71.435
312 L X-0.531 Y-1.132 Z-71.432
313 L X-0.62 Y-1.086 Z-71.428
314 L X-0.705 Y-1.034 Z-71.425
315 L X-0.785 Y-0.974 Z-71.421
316 L X-0.86 Y-0.908 Z-71.418
317 L X-0.93 Y-0.837 Z-71.414
318 L X-0.994 Y-0.76 Z-71.411
319 L X-1.052 Y-0.678 Z-71.407
320 L X-1.102 Y-0.592 Z-71.404
321 L X-1.146 Y-0.502 Z-71.4
322 L X-1.183 Y-0.409 Z-71.397
323 L X-1.212 Y-0.314 Z-71.393
324 L X-1.233 Y-0.216 Z-71.39
325 L X-1.246 Y-0.117 Z-71.386
326 L X-1.251 Y-0.017 Z-71.383
327 L X-1.249 Y+0.083 Z-71.379
328 L X-1.238 Y+0.182 Z-71.376
329 L X-1.22 Y+0.28 Z-71.372
330 L X-1.193 Y+0.377 Z-71.369
331 L X-1.16 Y+0.471 Z-71.365
332 L X-1.118 Y+0.562 Z-71.362
333 L X-1.07 Y+0.649 Z-71.358
334 L X-1.014 Y+0.733 Z-71.355
335 L X-0.953 Y+0.811 Z-71.351

336 L X-0.885 Y+0.885 Z-71.348
337 L X-0.811 Y+0.952 Z-71.344
338 L X-0.733 Y+1.014 Z-71.341
339 L X-0.649 Y+1.069 Z-71.337
340 L X-0.562 Y+1.118 Z-71.334
341 L X-0.471 Y+1.159 Z-71.33
342 L X-0.377 Y+1.192 Z-71.327
343 L X-0.28 Y+1.219 Z-71.323
344 L X-0.182 Y+1.237 Z-71.32
345 L X-0.082 Y+1.247 Z-71.316
346 L X+0.018 Y+1.25 Z-71.313
347 L X+0.117 Y+1.244 Z-71.309
348 L X+0.216 Y+1.231 Z-71.306
349 L X+0.314 Y+1.21 Z-71.302
350 L X+0.41 Y+1.18 Z-71.299
351 L X+0.503 Y+1.144 Z-71.295
352 L X+0.592 Y+1.1 Z-71.292
353 L X+0.678 Y+1.049 Z-71.288
354 L X+0.76 Y+0.991 Z-71.285
355 L X+0.837 Y+0.927 Z-71.281
356 L X+0.908 Y+0.857 Z-71.278
357 L X+0.974 Y+0.782 Z-71.274
358 L X+1.033 Y+0.701 Z-71.271
359 L X+1.086 Y+0.616 Z-71.267
360 L X+1.132 Y+0.528 Z-71.264
361 L X+1.17 Y+0.435 Z-71.26
362 L X+1.201 Y+0.34 Z-71.257
363 L X+1.225 Y+0.243 Z-71.253
364 L X+1.24 Y+0.144 Z-71.25
365 L X+1.248 Y+0.045 Z-71.247
366 L X+1.247 Y-0.055 Z-71.243
367 L X+1.239 Y-0.155 Z-71.24
368 L X+1.222 Y-0.254 Z-71.236
369 L X+1.198 Y-0.351 Z-71.233
370 L X+1.166 Y-0.445 Z-71.229
371 L X+1.127 Y-0.537 Z-71.226
372 L X+1.081 Y-0.626 Z-71.222
373 L X+1.027 Y-0.71 Z-71.219
374 L X+0.967 Y-0.79 Z-71.215
375 L X+0.901 Y-0.865 Z-71.212
376 L X+0.829 Y-0.934 Z-71.208
377 L X+0.751 Y-0.998 Z-71.205
378 L X+0.669 Y-1.055 Z-71.201
379 L X+0.583 Y-1.105 Z-71.198
380 L X+0.493 Y-1.148 Z-71.194
381 L X+0.399 Y-1.184 Z-71.191
382 L X+0.304 Y-1.212 Z-71.187
383 L X+0.206 Y-1.233 Z-71.184
384 L X+0.107 Y-1.245 Z-71.18
385 L X+0.007 Y-1.25 Z-71.177
386 L X-0.093 Y-1.247 Z-71.173
387 L X-0.192 Y-1.235 Z-71.17
388 L X-0.291 Y-1.216 Z-71.166
389 L X-0.387 Y-1.189 Z-71.163
390 L X-0.481 Y-1.155 Z-71.159
391 L X-0.571 Y-1.113 Z-71.156
392 L X-0.658 Y-1.063 Z-71.152
393 L X-0.741 Y-1.008 Z-71.149
394 L X-0.819 Y-0.945 Z-71.145
395 L X-0.892 Y-0.877 Z-71.142
396 L X-0.96 Y-0.803 Z-71.138
397 L X-1.021 Y-0.724 Z-71.135
398 L X-1.075 Y-0.64 Z-71.131
399 L X-1.123 Y-0.552 Z-71.128
400 L X-1.164 Y-0.461 Z-71.124
401 L X-1.197 Y-0.367 Z-71.121
402 L X-1.222 Y-0.27 Z-71.117
403 L X-1.24 Y-0.172 Z-71.114

404 L X-1.25 Y-0.072 Z-71.11
405 L X-1.251 Y+0.028 Z-71.107
406 L X-1.245 Y+0.128 Z-71.103
407 L X-1.231 Y+0.227 Z-71.1
408 L X-1.209 Y+0.324 Z-71.096
409 L X-1.179 Y+0.42 Z-71.093
410 L X-1.142 Y+0.512 Z-71.089
411 L X-1.097 Y+0.602 Z-71.086
412 L X-1.046 Y+0.687 Z-71.082
413 L X-0.987 Y+0.769 Z-71.079
414 L X-0.923 Y+0.845 Z-71.075
415 L X-0.852 Y+0.916 Z-71.072
416 L X-0.776 Y+0.981 Z-71.068
417 L X-0.696 Y+1.04 Z-71.065
418 L X-0.61 Y+1.092 Z-71.061
419 L X-0.521 Y+1.137 Z-71.058
420 L X-0.429 Y+1.175 Z-71.054
421 L X-0.333 Y+1.205 Z-71.051
422 L X-0.236 Y+1.228 Z-71.047
423 L X-0.137 Y+1.243 Z-71.044
424 L X-0.037 Y+1.25 Z-71.041
425 L X+0.062 Y+1.248 Z-71.037
426 L X+0.162 Y+1.239 Z-71.034
427 L X+0.261 Y+1.222 Z-71.03
428 L X+0.357 Y+1.197 Z-71.027
429 L X+0.452 Y+1.165 Z-71.023
430 L X+0.543 Y+1.125 Z-71.02
431 L X+0.632 Y+1.078 Z-71.016
432 L X+0.716 Y+1.024 Z-71.013
433 L X+0.795 Y+0.963 Z-71.009
434 L X+0.87 Y+0.896 Z-71.006
435 L X+0.938 Y+0.824 Z-71.002
436 L X+1.001 Y+0.746 Z-70.999
437 L X+1.058 Y+0.664 Z-70.995
438 L X+1.107 Y+0.577 Z-70.992
439 L X+1.15 Y+0.486 Z-70.988
440 L X+1.185 Y+0.393 Z-70.985
441 L X+1.213 Y+0.297 Z-70.981
442 L X+1.232 Y+0.199 Z-70.978
443 L X+1.244 Y+0.1 Z-70.974
444 L X+1.248 Y+0 Z-70.971
445 L X+1.244 Y-0.1 Z-70.967
446 L X+1.232 Y-0.199 Z-70.964
447 L X+1.212 Y-0.297 Z-70.96
448 L X+1.185 Y-0.393 Z-70.957
449 L X+1.15 Y-0.487 Z-70.953
450 L X+1.107 Y-0.577 Z-70.95
451 L X+1.057 Y-0.664 Z-70.946
452 L X+1.001 Y-0.747 Z-70.943
453 L X+0.938 Y-0.824 Z-70.939
454 L X+0.869 Y-0.897 Z-70.936
455 L X+0.795 Y-0.964 Z-70.932
456 L X+0.715 Y-1.024 Z-70.929
457 L X+0.631 Y-1.078 Z-70.925
458 L X+0.543 Y-1.125 Z-70.922
459 L X+0.451 Y-1.165 Z-70.918
460 L X+0.357 Y-1.198 Z-70.915
461 L X+0.26 Y-1.222 Z-70.911
462 L X+0.161 Y-1.239 Z-70.908
463 L X+0.062 Y-1.248 Z-70.904
464 L X-0.038 Y-1.249 Z-70.901
465 L X-0.138 Y-1.242 Z-70.897
466 L X-0.237 Y-1.228 Z-70.894
467 L X-0.334 Y-1.205 Z-70.89
468 L X-0.429 Y-1.174 Z-70.887
469 L X-0.522 Y-1.137 Z-70.883
470 L X-0.611 Y-1.091 Z-70.88
471 L X-0.696 Y-1.039 Z-70.876

472 L X-0.777 Y-0.98 Z-70.873
473 L X-0.853 Y-0.915 Z-70.869
474 L X-0.923 Y-0.844 Z-70.866
475 L X-0.988 Y-0.768 Z-70.862
476 L X-1.046 Y-0.687 Z-70.859
477 L X-1.098 Y-0.601 Z-70.855
478 L X-1.142 Y-0.512 Z-70.852
479 L X-1.179 Y-0.419 Z-70.848
480 L X-1.209 Y-0.323 Z-70.845
481 L X-1.231 Y-0.226 Z-70.841
482 L X-1.245 Y-0.127 Z-70.838
483 L X-1.251 Y-0.027 Z-70.834
484 L X-1.249 Y+0.073 Z-70.831
485 L X-1.24 Y+0.172 Z-70.828
486 L X-1.222 Y+0.271 Z-70.824
487 L X-1.196 Y+0.367 Z-70.821
488 L X-1.163 Y+0.462 Z-70.817
489 L X-1.123 Y+0.553 Z-70.814
490 L X-1.075 Y+0.641 Z-70.81
491 L X-1.02 Y+0.725 Z-70.807
492 L X-0.959 Y+0.804 Z-70.803
493 L X-0.892 Y+0.878 Z-70.8
494 L X-0.819 Y+0.946 Z-70.796
495 L X-0.741 Y+1.008 Z-70.793
496 L X-0.658 Y+1.064 Z-70.789
497 L X-0.571 Y+1.113 Z-70.786
498 L X-0.48 Y+1.155 Z-70.782
499 L X-0.386 Y+1.189 Z-70.779
500 L X-0.29 Y+1.216 Z-70.775
501 L X-0.192 Y+1.236 Z-70.772
502 L X-0.092 Y+1.247 Z-70.768
503 L X+0.007 Y+1.25 Z-70.765
504 L X+0.107 Y+1.245 Z-70.761
505 L X+0.206 Y+1.233 Z-70.758

506 L X+0.304 Y+1.212 Z-70.754
507 L X+0.4 Y+1.184 Z-70.751
508 L X+0.493 Y+1.148 Z-70.747
509 L X+0.584 Y+1.105 Z-70.744
510 L X+0.67 Y+1.054 Z-70.74
511 L X+0.752 Y+0.997 Z-70.737
512 L X+0.829 Y+0.934 Z-70.733
513 L X+0.901 Y+0.864 Z-70.73
514 L X+0.968 Y+0.79 Z-70.726
515 L X+1.027 Y+0.71 Z-70.723
516 L X+1.081 Y+0.625 Z-70.719
517 L X+1.127 Y+0.537 Z-70.716
518 L X+1.167 Y+0.445 Z-70.712
519 L X+1.198 Y+0.35 Z-70.709
520 L X+1.223 Y+0.253 Z-70.705
521 L X+1.239 Y+0.154 Z-70.702
522 L X+1.247 Y+0.055 Z-70.698
523 L X+1.248 Y-0.045 Z-70.695
524 L X+1.24 Y-0.145 Z-70.691
525 L X+1.224 Y-0.244 Z-70.688
526 L X+1.201 Y-0.341 Z-70.684
527 L X+1.17 Y-0.436 Z-70.681
528 L X+1.131 Y-0.528 Z-70.677
529 L X+1.086 Y-0.617 Z-70.674
530 L X+1.033 Y-0.702 Z-70.67
531 L X+0.973 Y-0.782 Z-70.667
532 L X+0.908 Y-0.858 Z-70.663
533 L X+0.836 Y-0.928 Z-70.66
534 L X+0.759 Y-0.992 Z-70.656
535 L X+0.678 Y-1.049 Z-70.653
536 L X+0.592 Y-1.1 Z-70.649
537 L X+0.502 Y-1.144 Z-70.646
538 L X+0.409 Y-1.181 Z-70.642
539 L X+0.313 Y-1.21 Z-70.639

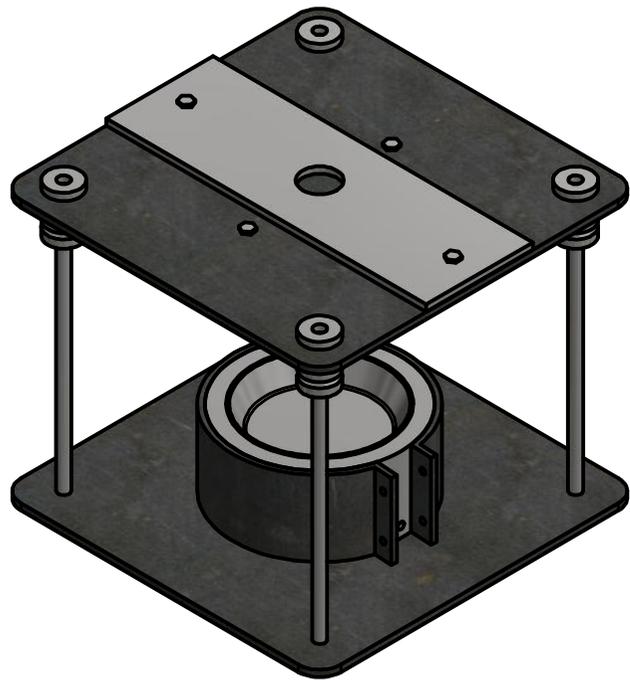
540 L X+0.216 Y-1.231 Z-70.635
541 L X+0.117 Y-1.244 Z-70.632
542 L X+0.017 Y-1.25 Z-70.628
543 L X-0.083 Y-1.247 Z-70.625
544 L X-0.183 Y-1.237 Z-70.622
545 L X-0.281 Y-1.218 Z-70.618
546 L X-0.377 Y-1.192 Z-70.615
547 L X-0.471 Y-1.158 Z-70.611
548 L X-0.562 Y-1.117 Z-70.608
549 L X-0.65 Y-1.069 Z-70.604
550 L X-0.733 Y-1.014 Z-70.601
551 L X-0.812 Y-0.952 Z-70.597
552 L X-0.885 Y-0.884 Z-70.594
553 L X-0.953 Y-0.811 Z-70.59
554 L X-1.015 Y-0.732 Z-70.587
555 L X-1.07 Y-0.649 Z-70.583
556 L X-1.119 Y-0.561 Z-70.58
557 L X-1.16 Y-0.47 Z-70.576
558 L X-1.194 Y-0.376 Z-70.573
559 L X-1.22 Y-0.28 Z-70.569
560 L X-1.238 Y-0.181 Z-70.566
561 L X-1.249 Y-0.082 Z-70.562
562 L X-1.251 Y+0.018 Z-70.559
563 L X-1.246 Y+0.118 Z-70.555
564 L X-1.233 Y+0.217 Z-70.552
565 L X-1.211 Y+0.314 Z-70.548
566 L X-1.182 Y+0.41 Z-70.545
567 L X-1.146 Y+0.503 Z-70.541
568 L X-1.102 Y+0.593 Z-70.538
569 L X-1.051 Y+0.679 Z-70.534
570 L X-0.994 Y+0.761 Z-70.531
571 L X-0.93 Y+0.838 Z-70.527
572 L X-0.86 Y+0.909 Z-70.524
573 L X-0.784 Y+0.975 Z-70.52
574 L X-0.704 Y+1.034 Z-70.517
575 L X-0.619 Y+1.087 Z-70.513
576 L X-0.53 Y+1.133 Z-70.51
577 L X-0.438 Y+1.171 Z-70.506
578 L X-0.343 Y+1.203 Z-70.503
579 L X-0.246 Y+1.226 Z-70.499
580 L X-0.147 Y+1.242 Z-70.496
581 L X-0.047 Y+1.249 Z-70.492
582 L X+0.052 Z-70.489
583 L X+0.152 Y+1.241 Z-70.485
584 L X+0.251 Y+1.224 Z-70.482
585 L X+0.348 Y+1.2 Z-70.478
586 L X+0.443 Y+1.168 Z-70.475
587 L X+0.534 Y+1.129 Z-70.471
588 L X+0.623 Y+1.083 Z-70.468
589 L X+0.707 Y+1.029 Z-70.464
590 L X+0.787 Y+0.969 Z-70.461
591 L X+0.862 Y+0.903 Z-70.457
592 L X+0.932 Y+0.831 Z-70.454
593 L X+0.995 Y+0.754 Z-70.45
594 L X+1.052 Y+0.672 Z-70.447
595 L X+1.103 Y+0.586 Z-70.443
596 L X+1.146 Y+0.496 Z-70.44
597 L X+1.182 Y+0.402 Z-70.436
598 L X+1.21 Y+0.307 Z-70.433
599 L X+1.231 Y+0.209 Z-70.429
600 L X+1.244 Y+0.11 Z-70.426
601 L X+1.248 Y+0.01 Z-70.422
602 L X+1.245 Y-0.09 Z-70.419
603 L X+1.234 Y-0.19 Z-70.416
604 L X+1.215 Y-0.288 Z-70.412
605 L X+1.188 Y-0.384 Z-70.409
606 L X+1.153 Y-0.478 Z-70.405
607 L X+1.112 Y-0.569 Z-70.402

608 L X+1.063 Y-0.656 Z-70.398
609 L X+1.007 Y-0.739 Z-70.395
610 L X+0.945 Y-0.817 Z-70.391
611 L X+0.876 Y-0.89 Z-70.388
612 L X+0.802 Y-0.957 Z-70.384
613 L X+0.723 Y-1.018 Z-70.381
614 L X+0.64 Y-1.073 Z-70.377
615 L X+0.552 Y-1.121 Z-70.374
616 L X+0.46 Y-1.161 Z-70.37
617 L X+0.366 Y-1.195 Z-70.367
618 L X+0.27 Y-1.22 Z-70.363
619 L X+0.171 Y-1.238 Z-70.36
620 L X+0.072 Y-1.248 Z-70.356
621 L X-0.028 Y-1.25 Z-70.353
622 L X-0.128 Y-1.244 Z-70.349
623 L X-0.227 Y-1.229 Z-70.346
624 L X-0.324 Y-1.208 Z-70.342
625 L X-0.42 Y-1.178 Z-70.339
626 L X-0.513 Y-1.141 Z-70.335
627 L X-0.602 Y-1.096 Z-70.332
628 L X-0.688 Y-1.045 Z-70.328
629 L X-0.769 Y-0.987 Z-70.325
630 L X-0.846 Y-0.922 Z-70.321
631 L X-0.917 Y-0.852 Z-70.318
632 L X-0.982 Y-0.776 Z-70.314
633 L X-1.041 Y-0.695 Z-70.311
634 L X-1.093 Y-0.61 Z-70.307
635 L X-1.138 Y-0.521 Z-70.304
636 L X-1.176 Y-0.428 Z-70.3
637 L X-1.206 Y-0.333 Z-70.297
638 L X-1.229 Y-0.236 Z-70.293
639 L X-1.244 Y-0.137 Z-70.29
640 L X-1.251 Y-0.037 Z-70.286
641 L X-1.25 Y+0.063 Z-70.283
642 L X-1.241 Y+0.162 Z-70.279
643 L X-1.224 Y+0.261 Z-70.276
644 L X-1.199 Y+0.358 Z-70.272
645 L X-1.167 Y+0.452 Z-70.269
646 L X-1.127 Y+0.544 Z-70.265
647 L X-1.08 Y+0.632 Z-70.262
648 L X-1.026 Y+0.716 Z-70.258
649 L X-0.966 Y+0.796 Z-70.255
650 L X-0.899 Y+0.87 Z-70.251
651 L X-0.826 Y+0.939 Z-70.248
652 L X-0.749 Y+1.002 Z-70.244
653 L X-0.666 Y+1.059 Z-70.241
654 L X-0.58 Y+1.108 Z-70.237
655 L X-0.489 Y+1.151 Z-70.234
656 L X-0.396 Y+1.186 Z-70.23
657 L X-0.3 Y+1.214 Z-70.227
658 L X-0.202 Y+1.234 Z-70.223
659 L X-0.102 Y+1.246 Z-70.22
660 L X-0.003 Y+1.25 Z-70.216
661 L X+0.097 Y+1.246 Z-70.213
662 L X+0.197 Y+1.234 Z-70.209
663 L X+0.295 Y+1.214 Z-70.206
664 L X+0.391 Y+1.187 Z-70.203
665 L X+0.484 Y+1.152 Z-70.199
666 L X+0.575 Y+1.109 Z-70.196
667 L X+0.662 Y+1.06 Z-70.192
668 L X+0.744 Y+1.003 Z-70.189
669 L X+0.822 Y+0.94 Z-70.185
670 L X+0.894 Y+0.872 Z-70.182
671 L X+0.961 Y+0.797 Z-70.178
672 L X+1.022 Y+0.718 Z-70.175
673 L X+1.076 Y+0.634 Z-70.171
674 L X+1.123 Y+0.546 Z-70.168
675 L X+1.163 Y+0.454 Z-70.164

676 L X+1.196 Y+0.36 Z-70.161
677 L X+1.22 Y+0.263 Z-70.157
678 L X+1.238 Y+0.164 Z-70.154
679 L X+1.247 Y+0.065 Z-70.15
680 L X+1.248 Y-0.035 Z-70.147
681 L X+1.241 Y-0.135 Z-70.143
682 L X+1.226 Y-0.234 Z-70.14
683 L X+1.204 Y-0.331 Z-70.136
684 L X+1.173 Y-0.426 Z-70.133
685 L X+1.136 Y-0.519 Z-70.129
686 L X+1.09 Y-0.608 Z-70.126
687 L X+1.038 Y-0.694 Z-70.122
688 L X+0.98 Y-0.774 Z-70.119
689 L X+0.915 Y-0.85 Z-70.115
690 L X+0.844 Y-0.921 Z-70.112
691 L X+0.767 Y-0.985 Z-70.108
692 L X+0.686 Y-1.044 Z-70.105
693 L X+0.601 Y-1.095 Z-70.101
694 L X+0.511 Y-1.14 Z-70.098
695 L X+0.418 Y-1.177 Z-70.094
696 L X+0.323 Y-1.207 Z-70.091

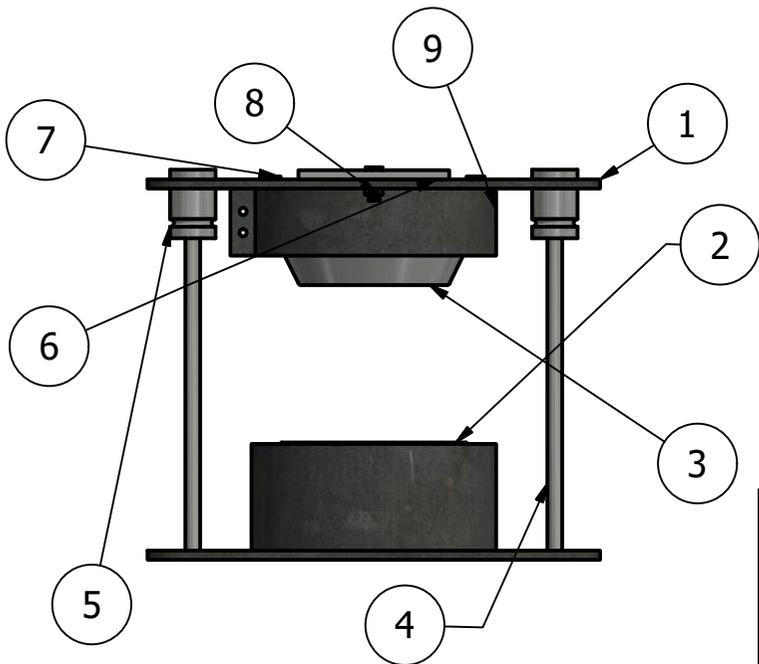
697 L X+0.226 Y-1.229 Z-70.087
698 L X+0.127 Y-1.243 Z-70.084
699 L X+0.027 Y-1.25 Z-70.08
700 L X-0.073 Y-1.248 Z-70.077
. . .
17950 L X-27.673 Y-41.642 Z-59.293
17951 L X-27.685 Y-41.584 Z-59.357
17952 L X-27.695 Y-41.532 Z-59.426
17953 L X-27.704 Y-41.486 Z-59.5
17954 L X-27.712 Y-41.447 Z-59.577
17955 L X-27.719 Y-41.414 Z-59.658
17956 L X-27.724 Y-41.388 Z-59.741
17957 L X-27.728 Y-41.37 Z-59.826
17958 L X-27.73 Y-41.358 Z-59.913
17959 L X-27.731 Y-41.355 Z-60
17960 L Z-80 FMAX
17961 L Z-1 R0 FMAX M91
17962 M30
17963 END PGM 1001 M

PLANOS DE FABRICACIÓN



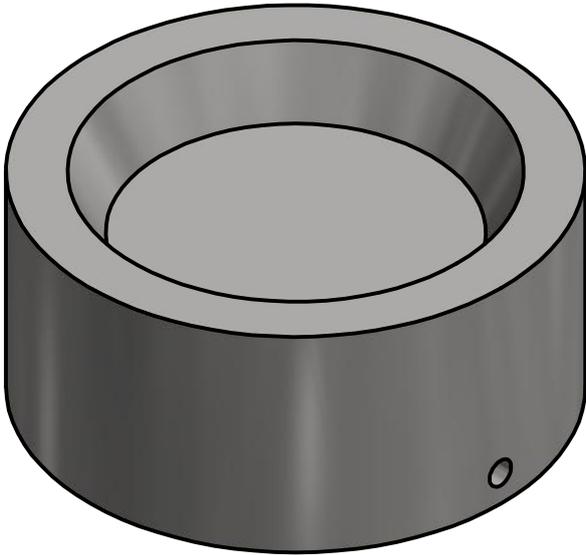
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Base matriz - punzón	Acero comercial 30 x 30 cm - 6 mm
2	1	Matriz	Acero AISI 1018 - 6"
3	1	Punzón	Acero AISI 1018 - 6"
4	4	Guías	Acero AISI 1018 - 1/2"
5	4	Rodamiento lineal	Rodamientos lineales
6	1	Placa superior	Acero comercial 30 x 10 cm - 6 mm
7	6	Pernos	M8 - Profundidad 4 cm
8	2	Tuercas	M8
9	2	Resistencia	Resistencia tipo abrazadera - 700 W

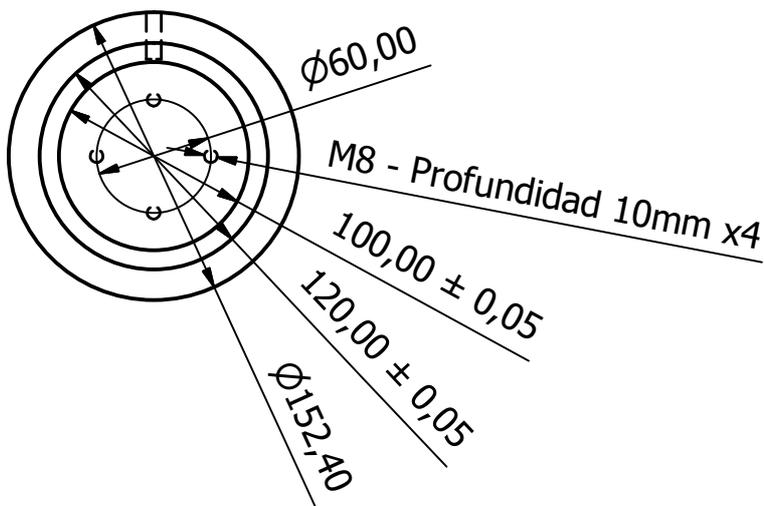
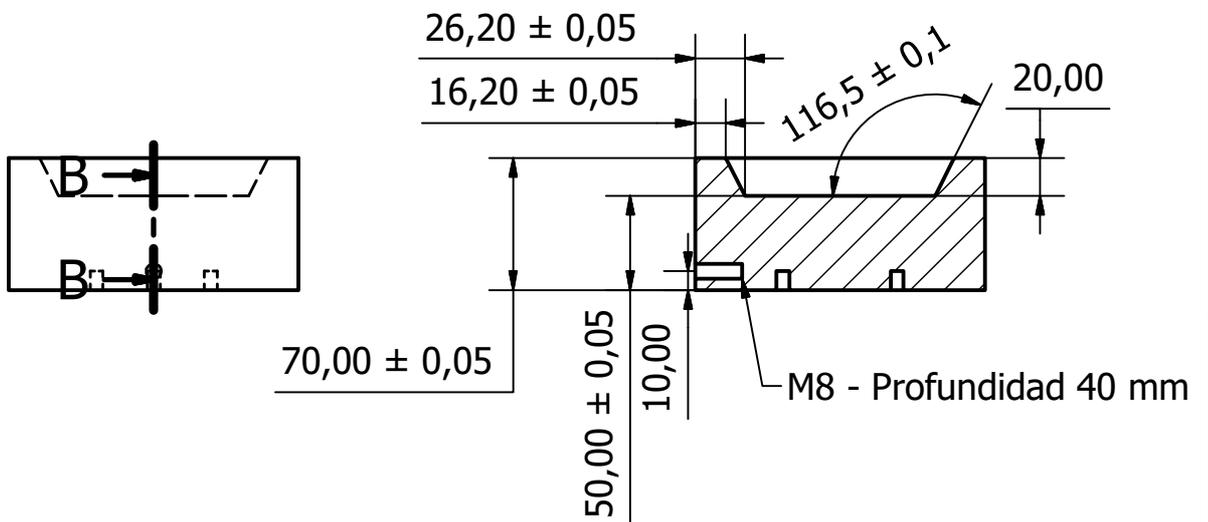


Diseño de Briones Edison - de la Cruz Juan	Revisado por Eduardo Castillo PH.D.	Aprobado por Eduardo Castillo PH.D.	Fecha 18/12/2019
Castillo Labs		Troquel para hacer platos desechables con hojas de banano	
		Ensamblaje del troquel	Escala 1:5

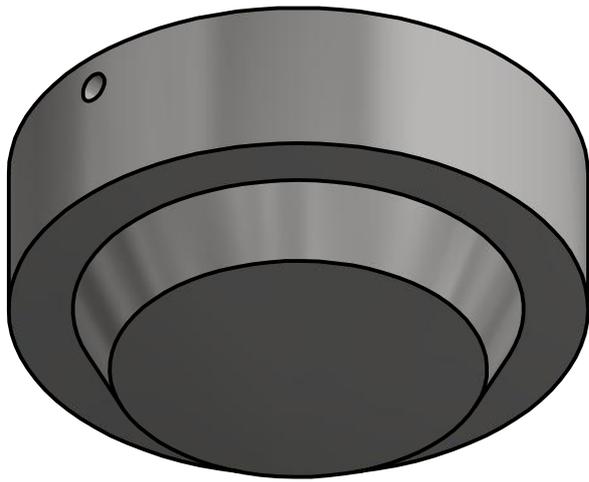
ESCALA (1 : 2)



ESCALA (1 : 4)

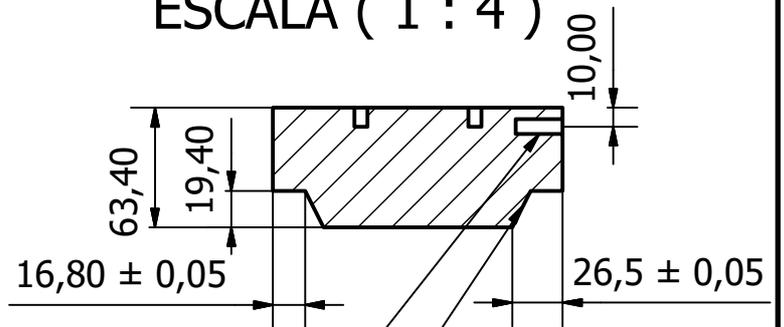
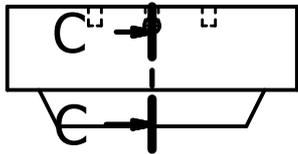


Diseño de Briones Edison - de la Cruz Juan	Revisado por Eduardo Castillo PH.D.	Aprobado por Eduardo Castillo PH.D.	Fecha 18/12/2019
Castillo Labs		Troquel para hacer platos desechables con hojas de banano	
Matriz		Escala -----	Hoja 2 / 4



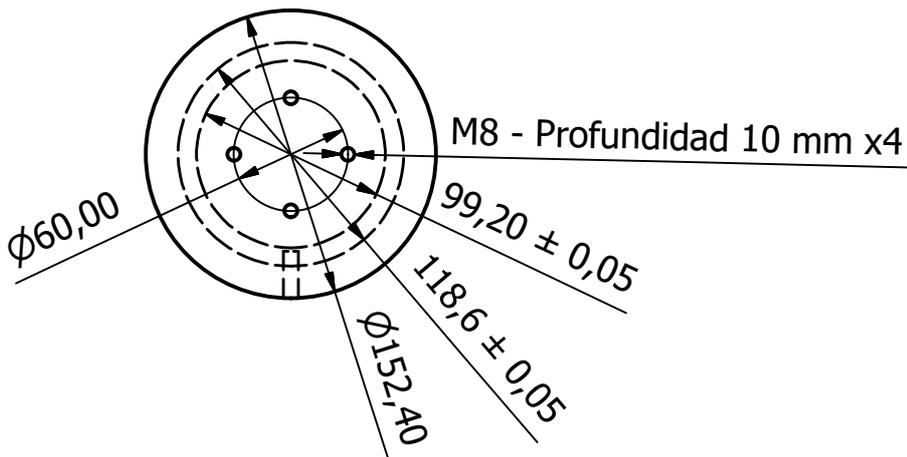
ESCALA (1 : 2)

ESCALA (1 : 4)

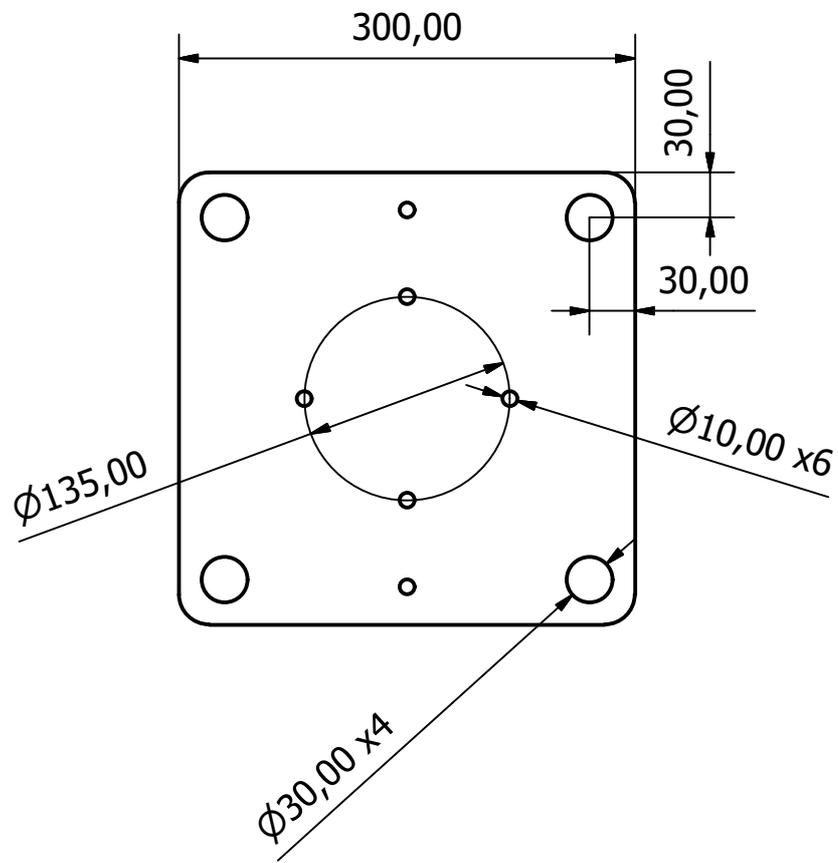
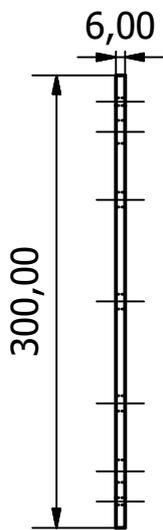


M8 - Profundidad 40 mm

Angulo con respecto a la horizontal 116.5°



Diseño de Briones Edison - de la Cruz Juan	Revisado por Eduardo Castillo PH.D.	Aprobado por Eduardo Castillo PH.D.	Fecha 18/12/2019
Castillo Labs		Troquel para hacer platos desechables con hojas de banano	
		Punzón	Escala ----- Hoja 3 / 4



Diseño de Briones Edison - de la Cruz Juan	Revisado por Eduardo Castillo PH.D.	Aprobado por Eduardo Castillo PH.D.	Fecha 18/12/2019
Castillo Labs		Troquel para hacer platos desechables con hojas de banano	
		Base matriz - punzón	Escala 1:4 Hoja 4 / 4