



Diseño y construcción de una máquina de termoformado por compresión para la fabricación de cubrebocas, controlado mediante un sistema neumático, para la micro empresa tejidos

Martínez

Cadena Viteri, Erick Nicolás y Salazar Martínez, Kevin Daniel

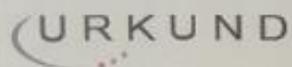
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Figueroa Montiel, Pablo Rodrigo

19 de marzo del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS CADENA-SALAZAR.docx (D98949364)
Submitted: 3/19/2021 5:06:00 PM
Submitted By: encadena@espe.edu.ec
Significance: 1 %

Sources included in the report:

TESIS Quinto, Sarabia 13-06-2019.pdf (D53816511)
edison cristobal.pdf (D14991561)
caisaguano vega edison cristobal.pdf (D14931737)
edison cristobal caisaguano vega.pdf (D14931748)
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3309/1/DOCUMENTO%20FINAL.pdf>
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0567_M.pdf
<https://www.slideshare.net/centenodaniel/diseo-y-fabricacin-de-un-molde-de-termoformado-utilizando-herramientas-cadcaecam>
<https://es.slideshare.net/centenodaniel/diseo-y-fabricacin-de-un-molde-de-termoformado-utilizando-herramientas-cadcaecam>

Instances where selected sources appear:

8

Firma:

Tutor:

Ing. Figueo Montiel, Pablo Rodrigo

CI: 1705130639



CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Diseño y construcción de una máquina de termoformado por compresión para la fabricación de cubrebocas, controlado mediante un sistema neumático, para la micro empresa tejidos Martínez”** fue realizado por los señores **Cadena Viteri Erick Nicolás y Salazar Martínez Kevin Daniel** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de 03 de 2021

Firma:

.....
Ing. Figueroa Montiel, Pablo Rodrigo

Director del trabajo de titulación
CI: 1705130639



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Cadena Viteri Erick Nicolás**, con cédula de identidad N° 100401450-0 y **Salazar Martínez Kevin Daniel**, con cédula de identidad N° 171908774-2, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diseño y construcción de una máquina de termoformado por compresión para la fabricación de cubrebocas, controlado mediante un sistema neumático, para la micro empresa tejidos Martínez”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 19 de 03 de 2021

Cadena Viteri Erick Nicolás

C.C. :1004014500

Salazar Martínez Kevin Daniel

C.C. : 171908774-2



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Cadena Viteri Erick Nicolás**, con cédula de identidad N° 100401450-0 y **Salazar Martínez Kevin Daniel**, con cédula de identidad N° 171908774-2 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**Diseño y construcción de una máquina de termoformado por compresión para la fabricación de cubrebocas, controlado mediante un sistema neumático, para la micro empresa tejidos Martínez**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 19 de 03 de 2021

Cadena Viteri Erick Nicolás

C.C. :1004014500

Salazar Martínez Kevin Daniel

C.C. : 171908774-2

Dedicatoria

El presente trabajo esta dedica a mi familia, amigos y profesores, cada uno de ellos apporto en mi formación y fueron quienes estuvieron día a día conmigo para poder alcanzar mis metas y poder culminar con esta fabulosa etapa de mi vida.

Kevin D. Salazar M.

A Dios, mi familia y amigos que me han apoyado incondicionalmente para hacer realidad el sueño de ser un profesional y continuar con mi vida cumpliendo metas y superando adversidades.

Erick N. Cadena V.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la sabiduría y perseverancia para poder culminar con esta etapa de mi vida. A mis padres por apoyarme incondicionalmente y guiarme a lo largo de toda mi vida procurando que no me falte nada. A mis hermanos que supieron aconsejarme y motivarme a seguir adelante. A mis amigos que hicieron de la vida universitaria una aventura llena de momentos divertidos. Al Ing. Pablo Figueroa por guiarnos y brindarnos el apoyo necesario en la realización del presente proyecto. A todos los profesores que compartieron sus conocimientos y enseñanzas para forjar un gran profesional.

Kevin D. Salazar M.

En primer lugar agradezco Dios, que siempre ha estado presente mi vida dándome aliento y fuerzas para salir adelante.

A mi madre Mariana, quien supo enseñarme lo valioso e importante que es salir adelante y ganarse las cosas en la vida con trabajo y esfuerzo.

A mi padre Narciso, quien con su ejemplo de vida me ha enseñado lo importante que es la responsabilidad y disciplina para lograr ser grande en la vida.

A mi hermano Lenin, quien con sus consejos siempre ha sido un gran apoyo para no decaer y seguir adelante.

A mi hermano Carlos, quien con su cariño y carisma me supo dar la mano para lograr ser un excelente profesional pero sobre todo ser humano.

Erick N. Cadena V.

Tabla de contenido

Reporte Urkund	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de tablas	13
Índice de figuras.....	15
Nomenclatura	17
RESUMEN	21
ABSTRACT.....	22
Capítulo I	23
Generalidades	23
Introducción.....	23
Antecedentes	24
Definición del Problema.....	25
Justificación e Importancia.	25
Objetivos	26
Objetivo general.....	26

Objetivos específicos.	26
Alcance del Proyecto.....	26
Capitulo II.....	28
Marco Teórico.....	28
Polímeros	28
Termoplásticos.....	28
Composición química del polipropileno y poliéster.	29
Efecto de la temperatura sobre los termoplásticos	30
Propiedades mecánicas de los termoplásticos	32
Termoformado.....	33
Antecedentes históricos	33
Técnicas de termoformado.....	35
Conformado de piezas	36
Termoformado al vacío.....	36
Termoformado a presión.....	37
Termoformado mecánico	38
Calentamiento del material a termo formar.	38
Conducción	38
Convección.....	39
Radiación.....	39

	10
Temperaturas a considerar durante el termoformado	39
Variables de Termoformado	40
Variables del material	40
Variables del molde	41
Caracterización de mascarillas a termoformar	41
Material de la mascarilla	41
Tela no tejida de polipropileno	41
Tela no tejida de poliéster	42
Capitulo III	44
Diseño y construcción	44
Requerimientos de diseño	44
Criterios de diseño	45
Ponderaciones de criterios	45
Alternativas propuestas	46
Selección de alternativas	47
Selección del sistema de formado	47
Selección del sistema de calentamiento	48
Selección del sensor de temperatura	49
Consideraciones específicas	49
Esquema de mitología de diseño	50

	11
Diseño conceptual	51
Diseño de las matrices para el termoformado de mascarillas.....	52
Ponderaciones de criterios	53
Alternativas propuestas y selección de proceso de manufactura	53
Diseño CAD de matrices.....	54
Diseño de sistema de calentamiento.....	55
Cálculo de resistencias y tiempo de calentamiento en los moldes hembra.....	56
Cálculo de resistencias y tiempo de calentamiento en los moldes macho	62
Tiempo de calentamiento de la tela	65
Diseño del sistema neumático	69
Secuencia del control.....	69
Diagrama Espacio Fase.....	69
Secuencia del pistón	70
Fuerza ejercida por el pistón.....	70
Consumo de Aire por ciclo de trabajo	71
Esquema electro neumático y elementos a utilizar.....	72
Diseño de la estructura de apoyo	73
Diseño del sistema de control.....	78
CAPITULO IV	80
Resultados.....	80

	12
Matrices de formado	80
Resultado del sistema de calentamiento.....	81
Pruebas de calentamiento de los moldes con las resistencias.....	89
Resultados del sistema neumático	90
Resultados del diseño de la estructura metálica	91
CAPITULO V.....	96
Conclusiones y recomendaciones.....	96
Conclusiones	96
Recomendaciones.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
Anexos.....	100

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Temperatura de Fusión y vítrea de Polímeros por adición</i>	31
Tabla 2 <i>Resistencia máxima a la tensión y módulo de elasticidad de algunos polímeros</i>	33
Tabla 3 <i>Costo herramental y cantidad económica de producción de algunos procesos de manufactura</i>	34
Tabla 4 <i>Temperaturas a considerar para el termoformado de ciertos polímeros</i>	40
Tabla 5 <i>Datos influyentes de la tela para el termoformado</i>	44
Tabla 6 <i>Comparación de criterios de diseño para la máquina de termoformado</i>	46
Tabla 7 <i>Alternativas posibles para el diseño de una máquina de termoformado</i>	47
Tabla 8 <i>Selección del tipo de sistema de formado en base a los criterios de diseño</i>	48
Tabla 9 <i>Selección del tipo de sistema de calentamiento en base a los criterios de diseño</i>	48
Tabla 10 <i>Selección del tipo de sensor de temperatura en base a los criterios de diseño</i>	49
Tabla 11 <i>Comparación de criterios de diseño para tipo de manufactura de fabricación de matrices</i>	53
Tabla 12 <i>Selección del proceso de manufactura para la fabricación de los moldes de termoformado a conde a los criterios propuestos.</i>	54
Tabla 13 <i>Valores típicos de coeficientes de transferencia de calor</i>	58
Tabla 14 <i>Calores específicos de ciertos materiales</i>	59
Tabla 15 <i>Propiedades termodinámicas de ciertos aceros inoxidables</i>	60
Tabla 16 <i>Elementos soportados por la estructura y sus pesos</i>	74
Tabla 17 <i>Datos de perfiles comerciales estructurales cuadrados</i>	77
Tabla 18 <i>Peso de las matrices de conformado.</i>	81
Tabla 19 <i>Datos obtenidos del calentamiento del molde hembra por medio de software FEM81</i>	
Tabla 20 <i>Datos obtenidos del cálculo de calentamiento del molde hembra.</i>	83

Tabla 21 <i>Datos obtenidos del calentamiento del molde macho por medio de software FEM</i>	85
Tabla 22 <i>Datos obtenidos del cálculo de calentamiento del molde macho.....</i>	87
Tabla 23 <i>Datos de las resistencias adquiridas para la máquina de termoformado</i>	88
Tabla 24 <i>Datos reales obtenidos del calentamiento del molde hembra.....</i>	89

Índice de figuras

Figura 1 <i>Unidad propileno</i>	29
Figura 2 <i>Grupo tereftalato para formar poliéster</i>	30
Figura 3 <i>Curva Esfuerzo-Deformación de los termoplásticos a diferentes temperaturas referenciales</i>	30
Figura 4 <i>Curva típica tensión-deformación de materiales termoplásticos</i>	32
Figura 5 <i>Bote deportivo fabricado por termoformado</i>	36
Figura 6 <i>Fases del proceso de termoformado al vacío directo</i>	37
Figura 7 <i>Termoformado a presión</i>	37
Figura 8 <i>Partes de una máquina para termoformado Mecánico</i>	38
Figura 9 <i>Izquierda Tela tejida; Derecha Tela no tejida (TNT)</i>	43
Figura 10 <i>Dimensiones de la mascarilla pedida por la empresa</i>	43
Figura 11 <i>Esquema de metodología de diseño</i>	51
Figura 12 <i>Diseño CAD de las matrices para termoformado de mascarillas</i>	55
Figura 13 <i>Moldes de las matrices impresos en 3D</i>	55
Figura 14 <i>Datos de diseño CAD del molde hembra</i>	57
Figura 15 <i>Área del molde hembra que no está en contacto con el ambiente</i>	57
Figura 16 <i>Datos de diseño CAD del molde macho</i>	63
Figura 17 <i>Área del molde macho que no está en contacto con el ambiente</i>	63
Figura 18 <i>Diagrama Espacio del sistema neumático</i>	69
Figura 19 <i>Secuencia del pistón</i>	70
Figura 20 <i>Características del compresor neumático</i>	70
Figura 21 <i>Esquema del sistema neumático</i>	72
Figura 22 <i>Estructura de apoyo para la máquina de termoformado</i>	74

Figura 23 <i>Distribución de cargas en la parte superior e inferior de la estructura.</i>	76
Figura 24 <i>Viga con apoyos simples con carga uniforme.</i>	77
Figura 25 <i>Geometría perfil estructural cuadrado 30x30x2</i>	78
Figura 26 <i>Esquema del circuito de control</i>	78
Figura 27 <i>Fundición de matrices para el conformado de mascarillas</i>	80
Figura 28 <i>Matriz macho y hembra para el conformado de mascarillas</i>	80
Figura 29 <i>Análisis del calentamiento del molde hembra por medio de FEM.</i>	83
Figura 30 <i>Curvas de comparación entre los datos calculados y los obtenidos mediante el Software FEM para el molde hembra</i>	85
Figura 31 <i>Análisis del calentamiento del molde macho por medio de FEM</i>	87
Figura 32 <i>Curvas de comparación entre los datos calculados y los obtenidos mediante el Software FEM para el molde macho</i>	88
Figura 33 <i>Curvas de comparación entre los datos calculados y los reales para el calentamiento del molde hembra.</i>	90
Figura 34 <i>Partes del cilindro neumático doble efecto</i>	91
Figura 35 <i>Demanda-capacidad de la estructura y deflexión máxima</i>	92
Figura 36 <i>Esfuerzo máximo de la estructura.</i>	92
Figura 37 <i>Aplicación de cargas sobre la estructura cuando la máquina está trabajando con el pistón ejerciendo fuerza sobre los moldes.</i>	94
Figura 38 <i>Demanda capacidad de la estructura cuando la máquina está a plena carga</i>	94
Figura 39 <i>Deflexión máxima en los perfiles inferiores de la estructura cuando el pistó trabajan sobre los moldes</i>	95
Figura 40 <i>Esfuerzo de la estructura a plena carga</i>	95

Nomenclatura

- A_{eA} : Área del embolo en avance
- A_{ch} : Área de convección del molde hembra.
- A_{c2} : Área de convección del molde macho.
- A_M : Área rectangular del molde
- A_{Er} : Área del embolo en retroceso
- A_{tc} : Área de la tela sobre la que se transferirá calor.
- c_{pm} : Calor específico del material del molde (Aleación de aluminio blanco de alta pureza de 99.7 a 99.5%) aluminio 1050/70.
- c_{pr} : Calor específico del material de la resistencia (Acero inoxidable).
- D_e : Diámetro del embolo
- D_v : Diámetro del vástago
- E_{In} : Energía que ingresa al molde.
- E_{Out} : Energía que ingresa al molde.
- E_{alm} : Energía almacenada.
- E : Módulo de elasticidad del acero ASTM A36
- F_{Ea} : Fuerza del embolo en avance
- F_f : Fuerza de fricción entre el embolo y el cilindro
- F_{fr} : Fuerza de fricción en retroceso

F_{Er}	: Fuerza del pistón en retroceso
F_{wd}	: Carga distribuida en los perfiles cuando la maquina está trabajando
h	: Coeficiente de confección natural.
h_{rh}	: Altura de la resistencia hembra.
h_{r2}	: Altura de la resistencia macho.
I_{min}	: Inercia mínima requerida para el perfil de la estructura metálica
K_{pp}	: Conductividad térmica del polipropileno
K_{pe}	: Conductividad térmica del poliéster
m_1	: Masa del molde hembra.
m_r	: Masa en kg de las resistencias eléctricas.
m_2	: Masa del molde macho.
n	: Ciclos por minuto
N	: Factor de seguridad
P_A	: Presión del compresor
P_{Ma}	: Presión del molde en avance
P_r	: Presión del embolo en retroceso
P_w	: Carga puntual cuando la máquina está trabajando
Q_{con}	: Calor de convección del molde hembra.

- Q_{con2} : Calor de convección del molde macho.
- q_x : Transferencia de calor en dirección x.
- Q_a : Consumo de aire durante el proceso de termo formado
- R_{em} : Resistencia eléctrica para el molde hembra
- R_{e2} : Resistencia eléctrica para el molde macho.
- r_c : Relación de compresión del pistón
- s : Carrera del pistón
- S_y : Resistencia a la fluencia del acero ASTM A36
- t_{r2} : Espesor de la resistencia macho.
- V_{r2} : Volumen re la resistencia macho.
- $T_{(i+1)h}$: Temperatura final del molde hembra.
- $T_{(i+1)M}$: Temperatura final del molde macho.
- T_t : Temperatura de la tela.
- t_c : Tiempo de calentamiento
- T_{Sm2} : Temperatura superficial del molde macho al ambiente.
- \bar{T}_2 : Temperatura media de trabajo del molde macho.
- T_{i+1} : Temperatura final de la tela.
- T_i : Temperatura inicial de la tela.

- T_{S_m} : Temperatura superficial del molde hembra al ambiente.
- T_{∞} : Temperatura del ambiente.
- \bar{T} : Temperatura media de trabajo del molde hembra.
- t_{rh} : Espesor de la resistencia hembra.
- V_{rh} : Volumen re la resistencia hembra.
- W_{t_a} : Carga puntual en la parte superior de la estructura
- W_{t_b} : Carga puntual en la parte inferior de la estructura
- W_{D_a} : Carga puntual en la parte superior de la estructura
- W_{D_b} : Carga puntual en la parte inferior de la estructura
- $\delta_{M\acute{a}x}$: Deflexión máxima en la estructura metálica de la máquina.
- ϕ_{r2} : Diámetro de la resistencia macho.
- ϕ_{rh} : Diámetro de la resistencia hembra.
- ρ_r : Densidad del material (AISI 302) el que se construyó las resistencias.
- η_r : Eficiencia de la resistencia eléctrica.
- $\sigma_{M\acute{a}x}$: Esfuerzo máximo

RESUMEN

En el presente proyecto de grado se realiza un breve estudio sobre los polímeros, base fundamental para la fabricación materia prima utilizada para el conformado de mascarillas como polipropileno y poliéster. Se analiza su comportamiento frente a cargas térmicas y mecánicas para predecir su estado físico durante el proceso de termo formado. Además, se detallan los cálculos para el diseño y la construcción de una máquina de termo formado, revisando cada uno de sus sistemas, como el de calentamiento, control, y de formado, todo esto basado en teorías de transferencia de calor, mecánica de materiales, electro neumática y matricería, donde se parte de criterios de diseño para satisfacer las necesidades del cliente, en este caso, la empresa de tejidos Martínez. Para la selección de alternativas se utilizaron matrices de priorización con las que se definieron tanto procesos de fabricación como materiales a utilizar. Posteriormente se realizó la adquisición de los materiales especificados acorde al diseño para proceder con su construcción; finalmente se realizó ensayos de funcionamiento de la maquina comparando el tiempo de calentamiento tanto teórico como experimental; resultando ser satisfactorios para el proceso y para los materiales compuestos para el cubre bocas. Adjuntando un manual de operación así como de mantenimiento de la máquina para su uso correcto.

Palabras clave

- **POLÍMEROS**
- **TERMO FORMADO**
- **MATRICERÍA**
- **DISEÑO**
- **TRANSFERENCIA DE CALOR**

ABSTRACT

This grade project conducts a brief study on polymers, a fundamental basis for the manufacture of raw material used for the forming of masks such as polypropylene and polyester. Its behavior against thermal and mechanical loads is analyzed to predict its physical condition during the thermoforming process. In addition, the calculations for the design and construction of a thermoforming machine are detailed, reviewing each of its systems, such as heating, control, and forming, all based on theories of heat transfer, material mechanics, electro pneumatics and dies, where design criteria are based to meet the needs of the customer, in this case , the fabrics company Martinez. For the selection of alternatives, prioritization matrices were used with which both manufacturing processes and materials to be used were defined. Subsequently, the specified materials were acquired according to the design to proceed with their construction; Finally, tests were carried out on the operation of the machine comparing the both theoretical and experimental heating time; prove to be satisfactory for the process and for the composite materials for the mouth covering. Attaching an operating manual as well as machine maintenance for proper use.

Keywords

- **POLYMERS**
- **THERMOFORMED**
- **MATRIX**
- **DESIGN**
- **HEAT TRANSFER**

Capítulo I

Generalidades

Introducción

La pandemia mundial originada por la enfermedad causada por el Coronavirus (SARS-CoV-2) notificada por primera vez el 31 de diciembre del 2019 en Wuhan (China), según la Organización Mundial de la Salud (OMS), causó una crisis sanitaria y económica en nuestro país, durante el año 2020, donde solamente un 32.1% de la población económicamente activa contaba con empleo adecuado, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), afectando así a la población. En vista de lo acontecido la población ecuatoriana se vio obligada a impartir nuevos emprendimientos a la par de la demanda aparecida por el efecto de la crisis sanitaria, ya que empresas quebraron, alrededor de 67 compañías se cancelaron, disolvieron o liquidaron hasta junio del 2020, según la Superintendencia de Compañías, y la gente buscaba como sobrevivir.

La fabricación de mascarillas a nivel nacional era escasa, y con costos de producción muy altos, es por eso que por lo general empresas farmacéuticas y dedicadas a la venta de insumos de protección médica, prefieren importar. Pero debido al acontecimiento mundial, los escasos de éstas en el mercado internacional se hicieron presente, y el país tuvo que recurrir a la compra nacional, a pesar de los costos.

Este proyecto está enfocado a fabricar una máquina de termo formado asistida por pistones neumáticos capaz de conformar una mascarilla adecuada al usuario, para la empresa Tejidos Martínez (MONKIKI), y de esta manera incurrir en la producción de mascarillas nacionales con la posibilidad de generar empleo reactivando de a poco la economía interna del país, además de aportar al desarrollo de la industria textil ecuatoriana.

Antecedentes

La fabricación de mascarillas de bioseguridad a gran escala, a nivel nacional es escasa, y sus costos de producción no compite con los de otras mascarillas que son importadas, por temas de mano de obra. Sumándole a todo esto los costos de materia prima que por la demanda han aumentado en su valor hasta en un 200% asegura Jacqueline Sánchez Morales propietaria de una fábrica textil en una entrevista dada al diario El Herald, publicada el día 15 de mayo del 2020, se ha hecho casi imposible expandir la oferta en un mercado competitivo para la fabricación de mascarillas. Además, según la revista Plan V, los costos de fabricación incrementaron en un 500%, mascarillas que antes se importaban a 5 centavos de dólar americano por unidad, a la fecha del 20 de marzo del 2020 se lo realizaba a 65 centavos por el mismo producto.

Según la Organización Mundial de la Salud uno de los mejores medios para la prevención del contagio del coronavirus es el uso de mascarillas. *“Las mascarillas deben utilizarse como parte de una estrategia integral de medidas para suprimir la transmisión y salvar vidas”*. Es por eso que se debe satisfacer una demanda diaria de estas, ya que el uso de estas es desechable. (OMS, 2020)

La industria de termo formado ha venido evolucionando constantemente desde su aparición en la segunda guerra mundial donde facilito y aceleró la fabricación de productos poliméricos. El proceso de manera genérica consta de tres pasos generales que son (a) calentamiento de la materia prima a trabajar o de los moldes para conformar; (b) conformado mediante moldes que contengan la forma del producto final; y (c) obtención del producto conformado y retiro del área de trabajo. (Morales & Candal, 2006). Este proceso de manufactura optimiza la mano de obra, disminuyendo el tiempo de fabricación y por ende el precio del producto final.

Definición del Problema

En la actualidad mundial tras la crisis sanitaria, es imprescindible que personas en su nueva normalidad traigan consigo una mascarilla de uso personal, que después de cierto número de usos tras su limpieza deban ser desechadas. De todas formas, si el caso cambiara en algún futuro, y la pandemia terminara, el uso de mascarillas en los sistemas de salud, y empresas que requieran brindar a sus empleados mascarillas por bioseguridad, deberán continuar haciéndolo de manera obligada, siempre buscando la prevención de enfermedades por el ambiente al que se exponen. Es por eso que hoy en día recién hemos notado que la fabricación nacional de mascarillas no es del todo efectiva en cuanto a su volumen y menos competitiva en cuanto costo en comparación con el mercado internacional.

La demanda diaria de mascarillas a nivel mundial incremento considerablemente tras la crisis sanitaria originada a causa de COVID-19, un estudio hecho por el Politécnico de Turín realizado en abril del 2020 determinó que Italia requeriría de alrededor mil millones de mascarillas al mes. A nivel nacional según una investigación realizada por la revista periodística Plan V, el país necesita sólo para el sistema de salud público y privado alrededor de 9 millones de mascarillas para 30 días, ya que es el tiempo mínimo necesario que se requiere para proceder a la siguiente importación de insumos. Además, cabe recalcar que dentro del país solo se produce el 1% de los mismos. El presente proyecto busca aportar a la industria textil ecuatoriana con la implementación de una máquina que por medio de conformado asistida por pistones neumáticos sea capaz de producir alrededor de 4 mascarillas por minuto.

Justificación e Importancia.

En el Ecuador el costo de mano de obra es relativamente alto, en comparación a otros países subdesarrollados que trabajan por maquila, por lo que la producción en masa de productos es muy escasa. Es esta una de las razones por lo que los costos de importación de

insumos para protección personal para el sistema de salud, como es el de las mascarillas ha sido siempre bajo, pero ahora con presencia de la pandemia a causa del virus SARS-CoV-2 la demanda mundial aumento y los costos se elevaron, desde un costo de importación de 5 centavos por mascarilla hasta un costo de 65 centavos. Todo esto es necesario para satisfacer la demanda nacional ya que la producción dentro del país no cubre con los requerimientos necesarios. Además, muchas mascarillas fabricadas artesanalmente no cumplen con los requerimientos de bioseguridad.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar y construir una máquina para realizar el conformado de mascarillas mediante la utilización del termo formado por compresión con matrices y controlado con un sistema neumático.

Objetivos específicos.

- Realizar un estudio del proceso de termo formado mecánico.
- Caracterizar el tipo de mascarilla a producir.
- Diseñar y construir una máquina de termo formado que permita fabricar mascarillas a una tasa de producción de 4 unidades por minuto.
- Realizar pruebas de producción a la máquina y de calidad de termo formado de las mascarillas.
- Realizar un plan de mantenimiento preventivo y manual de usuario de la máquina.

Alcance del Proyecto

El presente proyecto comprende diseñar y construir una máquina para el conformado de mascarillas. Se parte desde parámetros para el diseño como, temperatura de formado para la

tela de polipropileno no tejida y poliéster, las cuales son recomendadas trabajar entre 70 y 120 grados centígrados, además de la fuerza de aplicación sobre las matrices para el conformado del producto; las cuales serán fabricadas mediante un proceso de fundición, para el cual se elaborará sus respectivos planos de fabricación. Se incorporará un sistema neumático para el formado y uno de calentamiento que facilitará compactar las capas de la mascarilla. La máquina tendrá la capacidad de producir 2 unidades por minuto.

Para todo este proceso se realizarán planos de diseño, además para mantener el buen estado de la máquina, se elaborará un plan de mantenimiento preventivo, así como una guía de usuario.

Capítulo II

Marco Teórico

Polímeros

Los polímeros son macro cadenas formadas de un compuesto químico repetitivo, que desde su introducción en la industria de la manufactura ha facilitado y economizado varios procesos de fabricación, sustituyendo otros materiales como el metal para la fabricación de ciertos productos. La clasificación general de los polímeros se divide en 3:

- **Termoplásticos**

Formados por cadenas lineales resultado de la unión de monómeros entrelazadas por fuerzas relativamente débiles de van der Waals, pueden tener o no ramificaciones, tienen un comportamiento mecánico plástico y dúctil. Son fáciles de reprocesar.

- **Termoestables**

Este tipo de polímeros está formado por cadenas ramificadas que forman una gran red tridimensional lo que los hace más resistentes que los termoestables, pero más frágiles, son como una gran bola de hilo enmarañada. No son fáciles de reprocesar.

- **Elastómeros**

Son termoplásticos o termoestables unidos por una fuerza ligera en una cadena espiralada, capaz de alcanzar un porcentaje de deformación de hasta el 200%.

Termoplásticos

Los polímeros termoplásticos desde su aparición han tenido una alta demanda mundial, con alrededor de 55 millones de toneladas al año, gracias a sus propiedades termo-mecánicas, como su peso ligero y alta resistencia al impacto. La aplicación de este material remota desde los años 1400 D.C. pero fue hasta 1560 que después de su patentado comenzó a hacer aplicado

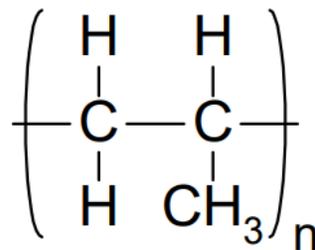
en varios sectores industriales, sobre todo para la fabricación de recipientes, sustituyendo a otros materiales como el metal.

Composición química del polipropileno y poliéster.

El polipropileno está formado químicamente por la distribución de cadena del propileno sobre su cadena principal se clasifica en tres grupos, isostático, atáctico y sindiotáctico, de estos, el que ha sido de gran aporte en la ingeniería de materiales para aplicación en la industria es el isostático, debido a sus propiedades mecánicas.

Figura 1

Unidad propileno



Nota. Recuperado de (Morhain, 2001)

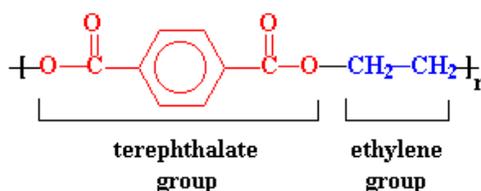
Su característica principal es que “no se funde al calentarse, sino que empiezan a desintegrarse”, lo que facilita mucho para el proceso de conformado mediante termo formado.

(Askeland & Phulé, 2004)

El poliéster al igual que el polipropileno es un polímero termoplástico con la diferencia que sus monómeros son unidos mediante condensación, la formación química de este polímero es de cadenas de etilén tereftalato, que un 85% en peso de un éster de un diol y del ácido terftálico.

Figura 2

Grupo tereftalato para formar poliéster.



Nota. Recuperado de (Mississippi, 1996)

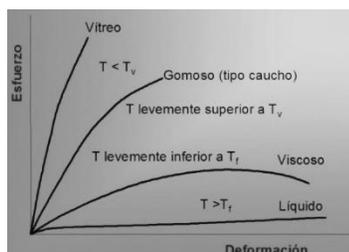
La Federal Trade Commission de USA la define como “*fibras químicas cuya sustancia formadora es un polímero sintético de cadena larga que contiene un mínimo del 85% en peso de un éster de un diol y del ácido tereftálico*” (Carrion Fite, 2014)

Efecto de la temperatura sobre los termoplásticos

Los materiales termoplásticos se encuentran unidos por fuerzas débiles de van der Waals, que al aplicar una fuerza de tensión estas se rompen y permite que todo ese enredo entre las cadenas se alinee deslizándose entre sí. Esta resistencia a la tensión de las fibras varía en función de la temperatura, mientras más caliente se trabaja el material existirá menos resistencia por parte de las partículas, sin embargo, existirá una gran deformación.

Figura 3

Curva Esfuerzo-Deformación de los termoplásticos a diferentes temperaturas referenciales



Nota. Recuperado de (Askeland & Phulé, 2004)

No existe una temperatura de fusión exacta, porque estos materiales se especifican dentro de un rango (ver Tabla 1), donde podemos apreciar que la temperatura de fusión del polipropileno se encuentra entre 160 y 180 °C, sin embargo, cuando se supera estas temperaturas se debe tener cuidado ya que los enlaces covalentes se empiezan a destruir y el tienden a quemarse, generando humo y compuestos carbonizados.

Tabla 1

Temperatura de Fusión y vítrea de Polímeros por adición

Polímeros	Temperatura de Fusión	Temperatura de transición vítrea
Polietileno de baja densidad (LD)	98-115	-90 a -25
Polietileno de alta densidad (HD)	130-137	-110
Cloruro de polivinilo	175-212	87
Polipropileno	160-180	-25 a -20
Poliestireno	240	85-125
Poliacrilonitrilo	320	107
Politetrafluoroetileno (Teflón)	327	
Policlorotrifluoroetileno	220	
Polimetilmetacrilato (acrílico)		90-105
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	110-115	100

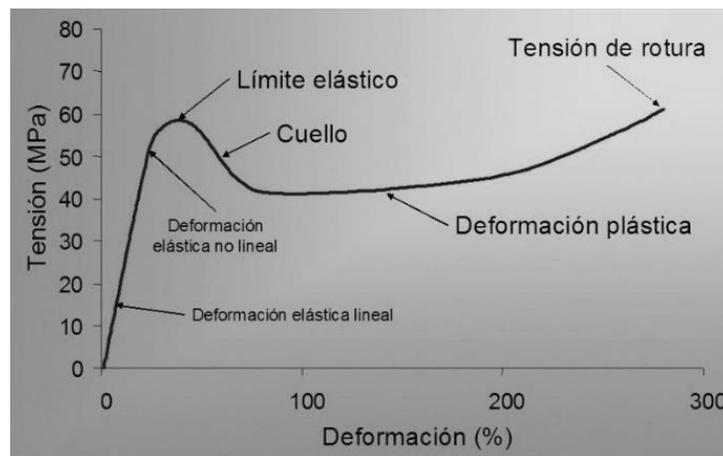
Nota. Recuperado de (Plastigas, 2012)

Propiedades mecánicas de los termoplásticos

Los materiales termoplásticos bajo la presencia de esfuerzos a tensión presentan un comportamiento no newtoniano, es decir que la curva esfuerzo deformación no es lineal (Ver Figura 4). Con una deformación visco elástica, estos materiales al igual que los metales al inicio de su deformación lo realizan de manera lineal (zona elástica), sin embargo, el tiempo para regresar a su forma original después de que el esfuerzo se anula, puede ser de manera inmediata, como después de un tiempo, incluso horas o meses, además cabe recalcar que esta deformación también depende de la velocidad a la que se aplica la carga en un determinado intervalo de tiempo.

Figura 4

Curva típica tensión-deformación de materiales termoplásticos.



Nota. Recuperado de (Askeland & Phulé, 2004)

Al hablar de un comportamiento viscoso (plástico), a diferencia de los metales la deformación plástica no es una consecuencia de las dislocaciones sino más bien las cadenas de monómeros se alargan y desenmarañan aligerando entre si las fuerzas de van der Waals, lo cual

explica por qué después de cierto tiempo de aplicación de una carga estos tienden a aligerar los esfuerzos, como un elástico sosteniendo un puñado de varillas.

Tabla 2

Resistencia máxima a la tensión y módulo de elasticidad de algunos polímeros

POLÍMERO	Resistencia a la tensión (psi)	Módulo de Elasticidad (ksi)
Poliétileno LD	3000	40
Poliétileno HD	5500	180
Polipropileno	6000	220
Poliestireno	8000	450
Cloruro de polivinilo	9000	600

Nota. Recuperado de (Plastigas, 2012)

Termoformado

Antecedentes históricos

La industria del termoformado viene desde inicios del siglo XX, donde se trabajaba con fibras naturales, pero fue hasta los años 60's que, con la introducción de materiales termoplásticos en la industria, éste se valió de sus propiedades para incrementar las aplicaciones y volúmenes de producción.

A partir de los años 70's gracias a la confianza por parte de los consumidores y los costos de producción muy reducidos en comparación a los productos elaborados en metal empezó a incrementar la demanda mundial de este tipo de manufactura, actualmente existen máquinas capaces de producir alrededor de 100mil contenedores elaborados por termoformado. Sin embargo, al tener un gran volumen de producción surgió otro problema que es el de control en

la calidad del proceso, lo que con la ayuda de la electrónica se ha automatizado gran parte de este proceso, controlando paso a paso el conformado de piezas, es por eso que los costos de fabricación son tan económicos.

Tabla 3

Costo herramental y cantidad económica de producción de algunos procesos de manufactura

Método de moldeo	Costo de equipo y herramental	Cantidad económica de producción
Extorsión	M-B	MA
Moldeo por intención	MA	MA
Rotomoldeo	M	M
Moldeo por soplado	M	A
Moldeo por compresión	A-M	A-M
Moldeo por transferencia	A	MA
Termoformado	M-B	A-M
Fundición	M-B	B
Fundición centrifuga	A-M	M-B
Pultrusión	A-M	A
Devanado de filamentos	A-M	B

Método de moldeo	Costo de equipo y herramental	Cantidad económica de producción
Arreglo por rocío y arreglo manual	B-MB	B

Nota. Recuperado de (Groover, 2007)

Técnicas de termoformado

El proceso de termoformado consta básicamente de 3 etapas: calentamiento, formado y extracción.

La primera etapa varía en función del material a trabajar, ya que es importante evitar la temperatura de fusión cuando lo único que se requiere es que las fibras del material cedan ante el conformado con la forma de la placa con la cual se ejerce presión. Existen tres varias técnicas de transferencia de calor aplicables en el termoformado, las cuales son conducción, convección y radiación.

La etapa del formado requiere de un molde con la forma del producto, que previo a su calentamiento ejercerá una presión sobre el material para que el proceso sea el adecuado.

Y la última etapa, la de extracción, esperar a que el material enfríe y sacar cuidadosamente el producto del molde.

Para la etapa de conformado que puede realizarse en una sola etapa, cuando se trabaja con materiales de espesores delgados, como recipientes plásticos, existen 3 formas generales de termoformado de un solo paso comunes en la industria. *“Si la lámina inicial tiene menos de aproximadamente 1.5mm de espesor se denomina termoformado fino.”* (Myer , 2017)

Además, existen otros procesos que se los realiza en varias etapas debido a que se trabaja con espesores muy grandes y son muy difíciles en de controlar en un solo paso, por ejemplo, el moldeo de una plancha para embarcación deportiva.

Figura 5

Bote deportivo fabricado por termoformado



Nota. Recuperado de (Capella, 2020)

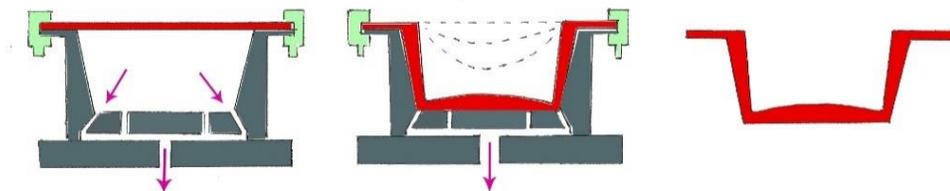
Conformado de piezas

Termoformado al vacío

Proceso asistido por una bomba de vacío que genera una presión negativa dentro de una cámara, lo que permite que el material se apegue sobre el molde generando la forma deseada.

Figura 6

Fases del proceso de termoformado al vacío directo



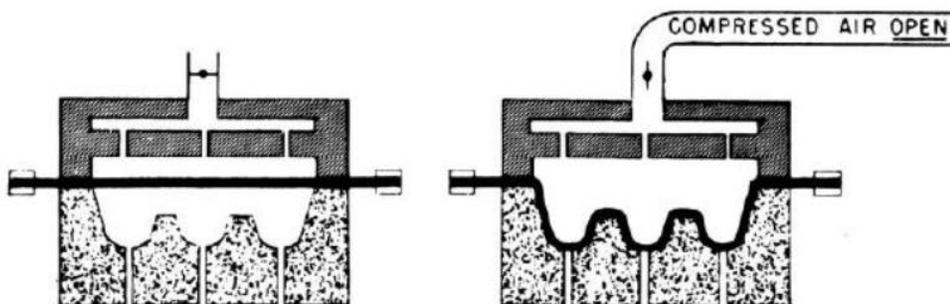
Nota. Recuperado de (Anónimo, 2010)

Termoformado a presión

Llamado también termoformado a soplado, este proceso requiere de una presión positiva sobre el material a ser termoformado, mismo que previo calentamiento se moldeara con la forma sobre la cual está siendo presionado (molde hembra). A diferencia del termoformado a vacío, este tiene la capacidad de ocupar presiones más altas, ya que el termoformado a vacío se limita a la presión teórica atmosférica.

Figura 7

Termoformado a presión



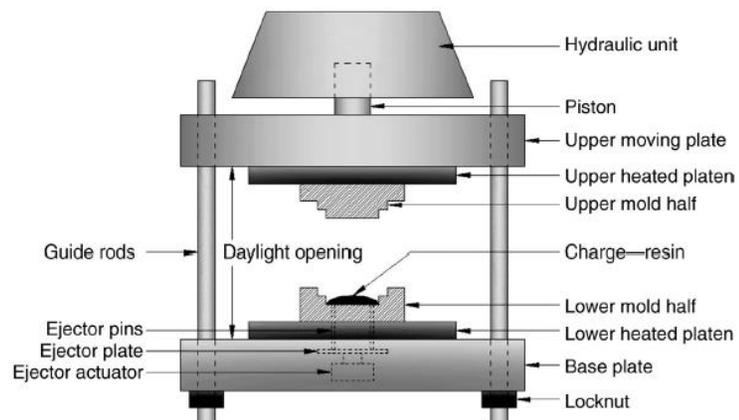
Nota. Recuperado de (Berins, 1991)

Termoformado mecánico

Esta técnica es una de las más antiguas, ya que por su facilidad de trabajo ha sido adaptada en este tipo de procesos de conformado. El proceso básico consiste en calentar los moldes previo al cierre o choque del superior con el inferior (macho y hembra), para conformar la pieza con su forma generando un producto final, que tras su enfriamiento será retirado de la máquina de conformado.

Figura 8

Partes de una máquina para termoformado Mecánico



Nota. Recuperado de (Myer , 2017)

Calentamiento del material a termo formar.

Conducción

Método de transferencia de calor a través de la interacción molecular de las partículas de un cuerpo sólido. En este caso se considera el uso de resistencias eléctricas incrustadas dentro de los moldes capaz de elevar la temperatura a la temperatura mínima de trabajo para el termoformado.

Convección

Método de transferencia de calor a través de un fluido, el cual transporta energía calórica por contacto sobre una pared a través de la capa límite. La convección puede ser libre o forzada. Para este caso se considera un horno de calentamiento por el cual exista un flujo que posteriormente ingrese por las piezas de moldeo para calentar la tela.

Radiación

Para este tipo de intercambiador de calor es necesario y obligatorio una cámara de vacío, para que el intercambio de calor se lo haga por medio de radiación.

Temperaturas a considerar durante el termoformado

Los polímeros pasan por tres etapas a diferentes temperaturas, estas temperaturas son, de transición vítrea, termoformado y de degradación. En cada una de estas fases el material tiene diferente comportamiento por la variación de sus propiedades.

- A. Temperatura de transición vítrea [T_g]. - temperatura a la cual las propiedades mecánicas del polímero cambian drásticamente, su densidad, rigidez y dureza aumentan, por lo que su porcentaje de elongación disminuye.
- B. Temperatura de termoformado. - esta temperatura depende específicamente del material sobre el cual se va a trabajar, y en lo posible debe ser uniforme sobre toda su superficie para que sus fibras actúen bajo los mismos esfuerzos y la calidad del producto sea aceptable.
- C. Temperatura de degradación. - los polímeros al tener compuestos de carbono en su estructura atómica, al sobrepasar la temperatura de fusión estos tienden a carbonizarse cristalizando los enlaces y permitiendo que el material se rompa y tenga un daño irreversible.

Tabla 4

Temperaturas a considerar para el termoformado de ciertos polímeros.

<i>MATERIAL</i>	<i>Cristalinidad</i> %	<i>Temperatura de</i> <i>transición vítrea [°C]</i>	<i>Temperatura de</i> <i>termoformado [°C]</i>	<i>Temperatura de</i> <i>degradación [°C]</i>
Poliétileno de alta densidad	95	-125	145-190	335-450
Polipropileno	65	-20	145-200	328-410
Poliestireno	Baja	>80	140-170	300-400
Poliéster	95	73	175-200	300-400
Policarbonato	Baja	145-150	180-230	420-620

Nota. Recuperado de (Plastigas, 2012)

Variables de Termoformado

Durante el proceso de termoformado existen varios factores que pueden afectar al producto de fabricación, es por eso que es necesario mencionar cuales son los que más destacan y como inciden sobre la fabricación.

Variables del material

- Espesor

Cuando el calentamiento del proceso se lo hace por medio de resistencias hay que controlar que el calentamiento del material se lo haga de manera uniforme, para evitar sobre todo en materiales excesivamente delgados que durante el conformado de la pieza esta vaya a romperse.

- Tamaño de la lamina

Para evitar una mejor distribución de material es mejor sobredimensionar la lámina para evitar malos acabados superficiales.

Variables del molde

- Superficie del molde

Factor clave para un buen acabado superficial ya que el producto final tomará la forma de este, y dependerá mucho de su fabricación y tipo de acabado.

- Temperatura del molde

La temperatura del molde es un factor que influye de manera directa con la apariencia del producto final, tomando en cuenta que esta temperatura debe ser similar al coeficiente de expansión térmica del material.

Caracterización de mascarillas a termoformar

Material de la mascarilla

El material que dispone la empresa la fabricación de mascarillas de modelo similar KN95 es de tela tejida de polipropileno y poliéster, el cual llevara varias capas de cada material que tras su conformado se compactaran bajo efectos de calor y presión para formar un solo elemento estable y con la forma adecuada para protección y confort del usuario.

Tela no tejida de polipropileno

La tela de polipropileno no tejida es un producto que viene ocupando espacio en el sector industrial textil del año de 1960 sobre todo en Europa y América, gracias a las propiedades que brinda este polímero de alta resistencia mecánica por lo que comúnmente es utilizado para la fabricación de plásticos. Este tipo de tela se lo obtiene al formar una especie de

red con fibras unidas mediante varios procesos mecánicos, térmicos o químicos. Este material tiene una temperatura de fusión de alrededor de 165°C.

La tela no tejida es del tipo SMS (Spunbond/ Melt-Blown/ Spunbond), esta tela está formada por tres capas, cada una aporta con una propiedad específica para sus utilidades como se muestra en la imagen, al compactar las tres se forma un solo tipo de tela combinando cada una de las propiedades que poseen estas.

El SMS es hipoalergénico, suave al tacto y permeable al aire. *“El SMS es un material totalmente antiestático, estabilizador UV, no se enmohece. Filtración de Bacterias: al ser esta tela impermeable, es una barrera microbiana, pues la propia tela es capaz de bloquear efectivamente los gérmenes patógenos de los fluidos por su propiedad hidrofóbica, siendo su eficiencia mayor al 99%.”* (Biossmann, 2020)

Tela no tejida de poliéster

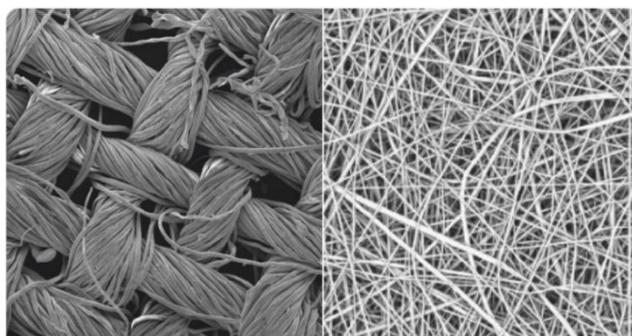
Para la fabricación de telas a base de fibras de poliéster como el pellón se hace por diferentes tipos de procesos a altas temperaturas, alrededor de 260 grados centígrados.

Una de las características principales de la tela no tejida de poliéster, es que después de haber sido trabajada con calor esta se torna rígida, algo que ayudara a mantener la forma compacta de la mascarilla como se muestra en la figura.

Se ha optado por trabajar con telas no tejidas (TNT) debido a que las fibras como estas están predispuestas a diferencias de las telas tejidas, vuelven a la tela más permeable ante agentes externos lo que protegerá de mejor manera al usuario que lleve mascarillas hechas con este tipo. Además, serán varias capas las que vayan superpuestas para una mayor protección.

Figura 9

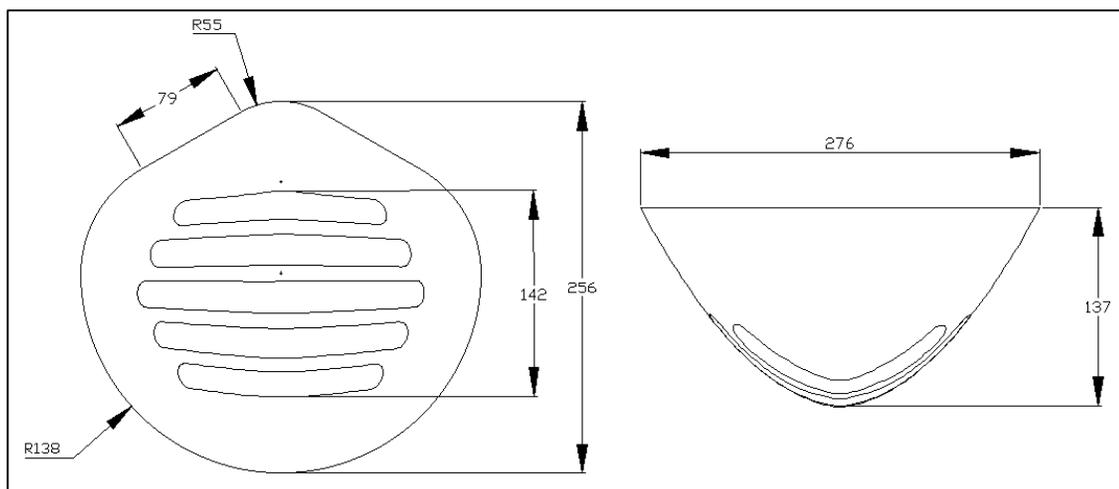
Izquierda Tela tejida; Derecha Tela no tejida (TNT)



Nota. Recuperado de (Tapia, 2021)

Figura 10

Dimensiones de la mascarilla pedida por la empresa



Dimensiones de la mascarilla

Tras la revisión de modelos de mascarillas de empresas como Correa importaciones, Genesiscom y Tenazit se ha realizado un modelo que tras la aprobación de la empresa es el que se usará como base para la fabricación de los moldes de conformado que servirán para conformar las mascarillas.

Capítulo III

Diseño y construcción

Requerimientos de diseño

Para los requerimientos de diseño se tomará en cuenta que la maquina será operada en un área cerrada no industrial, en un cuarto de 3x3m dentro de una urbanización ubicada en la parroquia de Carapungo-Quito. Por lo tanto, esta debe ser:

- Segura, ya que al trabajar con moldes de un peso considerable de alrededor de 10 kg al caer de manera libre sobre el operador puede causar lesiones de gravedad.
- Fácil operatividad.
- Económica, de precio accesible para tener un costo de fabricación competitivo en el mercado.

La máquina debe trabajar con telas no tejidas que se derivan de los termoplásticos, cuyas características técnicas se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 5

Datos influyentes de la tela para el termo formado

MATERIAL	Tela no tejida de polipropileno	Tela no tejida de poliéster - Pellón
Temperatura de formado [°C]	145	175
Temperatura de degradación [°C]	328	300
Espesor [mm]	1-3	
Dimensión de la tela [mm]	420x190	

Criterios de diseño

Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño se toma los siguientes criterios de diseño.

- **Seguridad**

La máquina debe ser construida de tal manera que se tome en cuenta los accidentes que esta podría causar y de qué manera se puede intervenir para él lo posible eliminar este factor o controlar de la mejor manera posible de ser el caso.

- **Operatividad**

La máquina debe ser de fácil manejo por parte del usuario.

- **Mantenimiento**

Las operaciones de mantenimiento deben ser lo más fáciles y rápidas posibles evitando tiempos de pare prolongados de la máquina. Con total accesibilidad a la revisión y cambio de sus componentes.

- **Costo**

Costo de materia prima para su fabricación

- **Tamaño**

Debe ser ergonómico y adecuado para el volumen de producción.

Estos criterios son la base para evaluar las diferentes alternativas de diseño de la máquina y selección de sus componentes.

Ponderaciones de criterios

A continuación, se presenta una matriz de comparación entre los diferentes criterios ya expuestos para determinar su ponderación y así conocer el grado de influencia que tienen sobre

el diseño, y nos den una buena orientación en la selección de alternativas propuestas más adelante.

Tabla 6

Comparación de criterios de diseño para la máquina de termoformado

	<i>Seguridad</i>	<i>Operatividad</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Costo</i>	<i>Tamaño</i>	<i>TOTAL</i>	<i>Ponderación</i>
<i>Seguridad</i>	1.00	1.20	1.30	1.55	1.60	6.65	0.26
<i>Operatividad</i>	0.90	1.00	1.15	1.25	1.40	6.70	0.22
<i>Mantenimiento</i>	0.80	0.85	1.00	1.15	1.20	5.00	0.20
<i>Costo</i>	0.75	0.80	0.83	1.00	1.10	4.48	0.18
<i>Tamaño</i>	0.55	0.60	0.75	0.80	1.00	3.70	0.14
	<i>TOTAL</i>					25.53	1.00

El criterio de seguridad es el de mayor relevancia con una ponderación de 0.26, es decir, que es el punto más influyente sobre las alternativas que se presenten para el diseño. Al tener al tamaño con una ponderación relativamente baja de 0.14 vemos que no es tan importante como los otros puntos de criterio para la máquina a diseñarse.

Alternativas propuestas

Para el diseño de la máquina se han analizado distintas alternativas que se pueden presentar para el termoformado, sobre todo para la parte de formado, calentamiento y control de temperatura como se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Alternativas posibles para el diseño de una máquina de termoformado.

SISTEMA	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
De formado	Por vacío	Por presión positiva	Mecánico
De calentamiento	Por Conducción	Por Convección	Por radiación
De control de temperatura	Arduino	PID	PLC

Selección de alternativas

Para la selección de alternativas se evalúa las opciones en la escala indicada a continuación con las siguientes ponderaciones:

1: Malo;

2: Regular;

3: Bueno;

4: Muy Bueno; y,

5: Excelente

Selección del sistema de formado

En la tabla se puede observar la matriz de decisión para este sistema.

Tabla 8

Selección del tipo de sistema de formado en base a los criterios de diseño.

CRITERIOS	Ponderación	ALTERNATIVAS		
		Presión	Vacío	Mecánico
Seguridad	0.26	2	2	3
Operatividad	0.22	3	2	4
Mantenimiento	0.20	3	2	3
Costo	0.18	3	2	3
Tamaño	0.14	3	3	4
Total		2.74	2.14	3.36

Selección del sistema de calentamiento

En la tabla 8 se puede observar la matriz de decisión para este sistema.

Tabla 9

Selección del tipo de sistema de calentamiento en base a los criterios de diseño.

CRITERIOS	Ponderación	ALTERNATIVAS		
		Conducción por resistencias eléctricas	Horno de convección	Radiación con bomba de vacío
Seguridad	0.26	3	2	1
Operatividad	0.22	4	2	2
Mantenimiento	0.20	3	1	2
Costo	0.18	3	1	2
Tamaño	0.14	4	2	1
Total		3.36	1.62	1.60

Selección del sensor de temperatura

En la tabla se puede observar la matriz de decisión para este sistema.

Tabla 10

Selección del tipo de sensor de temperatura en base a los criterios de diseño.

CRITERIOS	Ponderación	ALTERNATIVAS		
		Arduino	PID	PLC
Seguridad	0.26	3	3	3
Operatividad	0.22	3	3	4
Mantenimiento	0.20	4	3	3
Costo	0.18	4	2	2
Tamaño	0.14	4	2	2
Total		3.52	2.68	2.9

Consideraciones específicas

La máquina de termoformado es el conjunto de varios sistemas que interactúan entre sí, los cuales se constituyen de forma tal que satisfaga los requerimientos de producción, cumpliendo con los criterios de diseño ya preestablecidos.

- *Sistema de calentamiento.*

El calentamiento se lo realiza por medio de resistencias eléctricas que deben ir insertadas dentro de los moldes (macho y hembra) capaz de llegar a la temperatura de termoformada mínima necesaria para realizar el proceso.

- *Mecanismo de movimiento*

Los moldes una vez calentados deben trabajar sobre la tela ejerciendo una presión mínima de 0.5 toneladas para el moldeo, evitando el contacto humano. Por lo que, el sistema de movimiento será asistido por un sistema electro neumático.

- *Sistema de control.*

Se debe controlar que la temperatura no sobre pase los límites de termoformado para que no dañe el material, de igual forma una vez las resistencias eléctricas logren siniestrar la potencia térmica necesaria esta se apagará y se volverá a activar hasta llegar a un mínimo de temperatura en el que la tela trabaje de forma adecuada.

- *Estructura de la máquina*

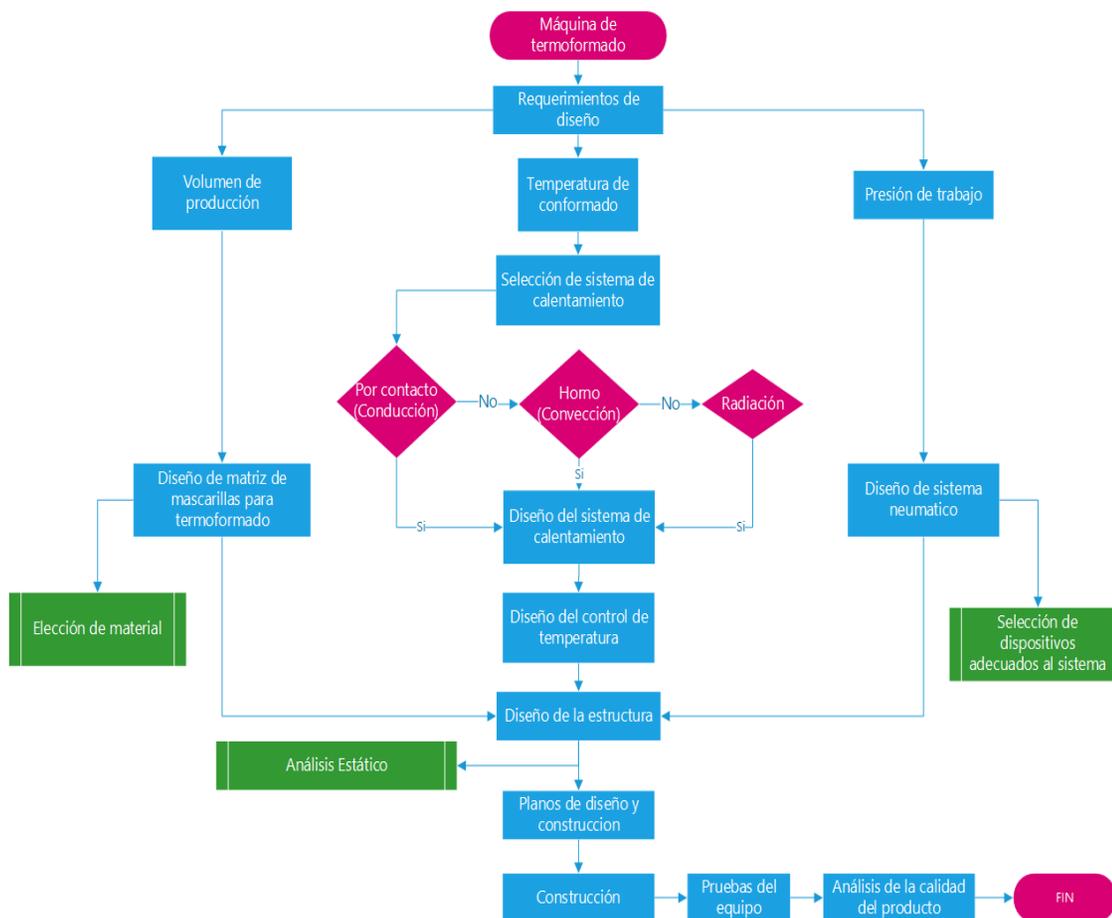
La estructura debe ser capaz de mantener todos sus elementos seguros, con una correcta distribución de las fuerzas para garantizar la seguridad tanto de los elementos que se operan como del operador (humano).

Esquema de mitología de diseño

Para realizar el diseño de la máquina de termoformado partimos de los alcances de producción, además de los materiales con los que se va a trabajar, para de esta manera tener los parámetros de calentamiento y tiempos de ciclos con los cuales va a trabajar.

Figura 11

Esquema de metodología de diseño.



Después de haber diseñado cada uno de los sistemas con su control adecuado, se termina con el diseño estructural, para determinar de manera correcta el espacio físico que ocupara cada uno de los elementos sobre éste, y que esfuerzos son los más críticos para diseñar de manera adecuada.

Diseño conceptual

El funcionamiento de la maquina parte del diseño de los moldes (macho y hembra), en su material e influencia que este tendrá en la manufactura para su buen acabado y precisión, ya

que nos darán la precisión en nuestro producto final. Además, insertado en los moldes irán resistencias eléctricas que calentarán el material del molde para un buen trabajo sobre la tela.

El sistema de calentamiento debe ser controlado para que se mantenga dentro de un rango de operación, ya que a temperaturas muy altas la tela puede dañarse afectado al producto final, y a temperaturas muy bajas el material no deformaría de tal manera que no ceda ante los esfuerzos de la presión ejercida por los pistones e igualmente el producto final no sería el esperado. Una vez que llegue a la temperatura máxima tolerada por el material para el termoformado las resistencias eléctricas se apagaran, y de esta manera por medio de convección natural los moldes perderán calor hasta llegar a una temperatura mínima donde nuevamente se activaran para calentar nuevamente a los moldes.

El sistema electroneumático es el encargado de mover los moldes (macho) para ejercer la presión sobre la tela que será termoformada, además de garantizar la seguridad de soporte mientras los moldes estén separados.

Diseño de las matrices para el termoformado de mascarillas

Para el diseño de los moldes se tiene en cuenta el volumen de producción que es de 4 mascarillas por minuto.

Para la selección del proceso de fabricación se lo realiza por medio de una matriz de decisión, donde los criterios a pondera son los siguientes.

- **Costo**

Este criterio hace referencia al costo por mano de obra que puede tomar el fabricar los moldes de conformado. Mientras más alto sea el costo su ponderación se indicará como más baja.

- **Acabado superficial**

El acabado superficial sobre los moldes depende en gran medida del tipo de manufactura que se haya escogido y esto influenciara sobre todo en la calidad de acabado del producto final.

- **Requerimientos de diseño**

Depende del tipo de proceso de manufactura para realizar todo el diseño que cada proceso requiere.

Ponderaciones de criterios

A continuación, se presenta una matriz de comparación entre los diferentes criterios ya expuestos para determinar su ponderación y así conocer el grado de influencia que tienen sobre el diseño, y nos den una buena orientación en la selección de alternativas propuestas más adelante.

Tabla 11

Comparación de criterios de diseño para tipo de manufactura de fabricación de matrices.

	Acabado superficial	Costo	Requerimiento de diseño	TOTAL	Ponderación
Acabado superficial	1.00	1.50	1.70	4.20	0.43
Costo	0.75	1.00	1.45	3.20	0.32
Requerimiento de diseño	0.60	0.85	1.00	2.45	0.25
TOTAL				9.85	1

Alternativas propuestas y selección de proceso de manufactura

Para la selección de alternativas se evalúa las opciones en la escala indicada a continuación con las siguientes ponderaciones:

1: Malo;

2: Regular;

3: Bueno;

4: Muy Bueno; y,

5: Excelente

Tabla 12

Selección del proceso de manufactura para la fabricación de los moldes de termoformado a conde a los criterios propuestos.

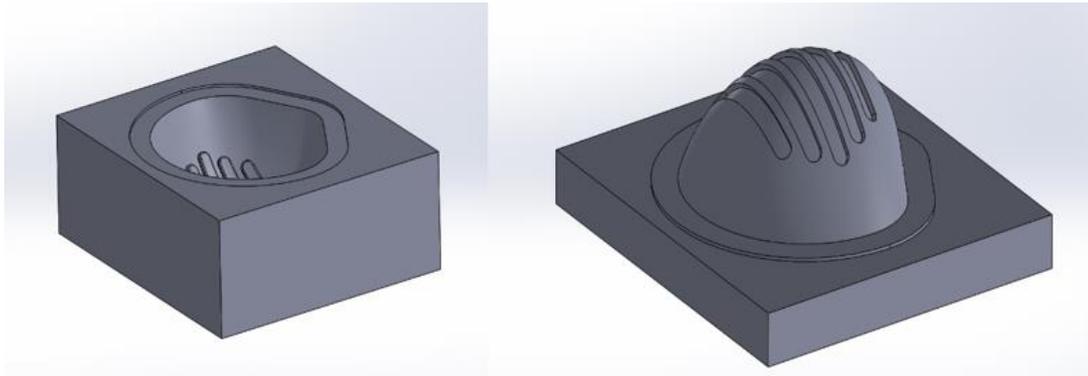
CRITERIOS	Ponderación	ALTERNATIVAS	
		Fundición	CNC
Acabado superficial	0.43	3	4
Costo	0.32	3	1
Requerimiento de diseño	0.25	4	3
Total		3.25	3.11

Diseño CAD de matrices

Teniendo ya en cuenta el esquema de la mascarilla requerida por la empresa, se realiza un diseño CAD de los moldes los cuales primeramente serán impresos en 3D para utilizar estos, como moldes para fundición.

Figura 12

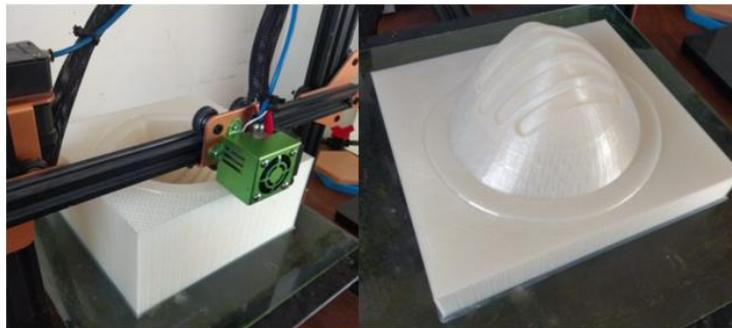
Diseño CAD de las matrices para termoformado de mascarillas.



Con base a este diseño se procede a la impresión de moldes en 3D para utilizarlos en el proceso de fundición.

Figura 13

Moldes de las matrices impresos en 3D



Diseño de sistema de calentamiento

El calentamiento de la tela durante el proceso de termoformado es fundamental para facilitar el conformado de la mascarilla. Como se explicó en el capítulo I, cuando el material (polímero) llega a la temperatura de formado, sus fibras ceden más fácilmente ante esfuerzos, permitiendo así formar de mejor manera la mascarilla, además de brindar una fijación entre sus capas.

En base a los datos de formado de cada material (ver tabla 5), las resistencias deben ser capaces de aumentar la temperatura de la tela de polipropileno y poliéster hasta 145 y 170°C, respectivamente, para su proceso de conformado.

Las resistencias tener tal potencia que sean capaces de calentar los moldes para la transferencia de calor a la tela mientras estas están siendo conformadas por fuerza de un pistón neumático.

Cálculo de resistencias y tiempo de calentamiento en los moldes hembra

Cálculo de la potencia eléctrica requerida para calentar los moldes hembra que serán los que transmitan el calor al material.

- Balance de energía

$$E_{In} - E_{Out} = E_{atm}$$

$$(R_{em} - Q_{con})\Delta t = (c_{pm}m_1 + 2c_{pr}m_r)(T_{i+1} - T_i)$$

$$R_{em} = \frac{(c_{pm}m_1 + 2c_{pr}m_r)(T_{i+1} - T_i)}{\Delta t} + Q_{con}$$

La energía que ingresa es por medio de las resistencias eléctricas R_{em} y se pierde calor por medio de convección natural Q_{con}

- Por requerimiento de la empresa se espera que el tiempo máximo de puesta a punto de la máquina sea de 30 minutos.

$$\Delta t = 1800[s]$$

- Las temperaturas iniciales y final del molde son.

$$T_i = 19\text{ °C}$$

$$T_{i+1} = 145\text{ °C}$$

- Calor perdido por convección natural

$$Q_{con} = A_{ch}h(T_{sm} - T_{\infty})$$

- a. El área de convección del molde hembra se obtiene medida a partir de un software de diseño CAD.

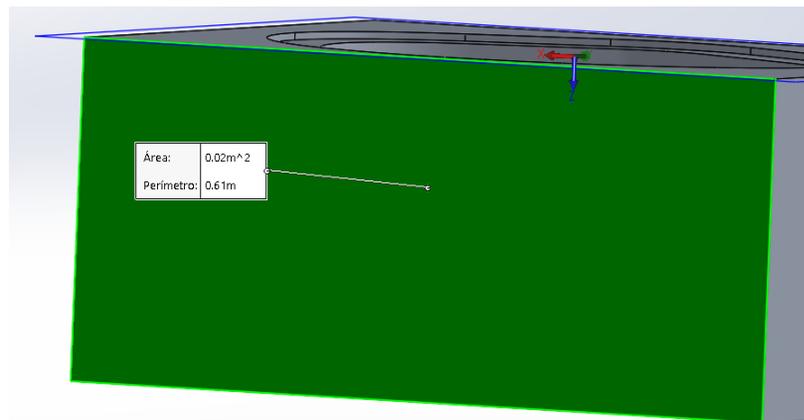
Figura 14

Datos de diseño CAD del molde hembra

Área de superficie = 0.17 metros cuadrados	
Centro de masa: (metros)	
X = 0.00	
Y = 0.00	
Z = 0.05	
Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (kilogramos * metr	
Medido desde el centro de masa.	
Ix = (1.00, 0.00, 0.00)	Px = 0.04
Iy = (0.00, 1.00, -0.01)	Py = 0.04
Iz = (0.00, 0.01, 1.00)	Pz = 0.07

Figura 15

Área del molde hembra que no está en contacto con el ambiente



$$A_{ch} = 0.17 - 0.02 = 0.15 \text{ m}^2$$

- b. Para el valor del coeficiente global de transferencia de calor se toma de la tabla 13.

Tabla 13

Valores típicos de coeficientes de transferencia de calor

Proceso	$h \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$
<i>Convección libre</i>	
<i>Gases</i>	2-25
<i>Líquidos</i>	50-100
<i>Convección forzada</i>	
<i>Gases</i>	25-250
<i>Líquidos</i>	50-20 000
<i>Convección con cambio de fase</i>	
<i>Ebullición o condensación</i>	2500-100 000

Nota. Recuperado de (Incropera & DeWitt, 1999)

Considerando un ambiente cerrado y de una velocidad de viento relativamente muy baja se toma el siguiente valor, con una velocidad de viento imperceptible, el máximo valor para el coeficiente de convección natural es:

$$h = 11 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

- a. Los valores de temperatura del molde y del ambiente se los mide a través de un multímetro digital marca Proskit de serie MT-1820

$$\bar{T} = \frac{145 + 170}{2} = 157.5^\circ\text{C} + 273$$

$$\bar{T} = 430.5\text{K}$$

$$T_{s_m} = 157.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto:

$$Q_{con} = 0.15[\text{m}^2] \cdot 10 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right] (157.5^\circ\text{C} - 10) [\text{K}]$$

$$Q_{con} = 243.375 [\text{W}]$$

- La masa del molde hembra fue obtenida mediante una balanza.

$$m_1 = 7.3 \text{ kg}$$

- El calor específico del material del molde (aluminio blanco de alta pureza) se obtiene de una tabla de calores específicos (Ver tabla 14)

Tabla 14

Calores específicos de ciertos materiales

Material	Densidad ρ [kg/m^3]	Calor específico C_p [$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$]
Acero dulce	7 830	0.500
Aluminio		
200K		0.797
250K		0.859
Material	Densidad ρ [kg/m^3]	Calor específico C_p [$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$]
300K	2 700	0.902
350K		0.929
400K		0.949
450K		0.973
500K		0.997

Nota. Recuperado de (Cengel, 2007)

- Interpolando linealmente los valores de la tabla 14 para aluminio a 430.5K

$$\frac{400 - 450}{0.949 - 0.973} = \frac{400 - 430.5}{0.949 - C_{p_m}}$$

$$C_{p_m} = 0.964 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

- Masa de la resistencia eléctrica.

$$\phi_{rh} = 5/8[in](25.4) \left[\frac{mm}{in} \right] = 15.88[mm]$$

$$h_{rh} = 180[mm]$$

$$t_{rh} = 1 [mm]$$

$$V_{rh} = \frac{\pi}{4} [\phi_{rh}^2 - (\phi_{rh} - 2 \cdot t_{rh})^2] \cdot h_{rh} + \frac{\pi}{4} (\phi_{rh} - 2 \cdot t_{rh})^2 \cdot t_{rh}$$

$$V_{rh} = 8.56 \cdot 10^{-6} [m^3]$$

$$\rho_r = 8055 [kg/m^3]$$

$$m_r = V_{rh} \cdot \rho_r$$

$$m_r = 0.07 kg$$

- Calor específico de la resistencia eléctrica.

Tabla 15

Propiedades termodinámicas de ciertos aceros inoxidables

Material	Densidad ρ [kg/m^3]	Calor específico C_p [$\frac{J}{kg \cdot K}$]	
		400K	600K
AISI 302	8055	512	559
AISI 304	7900	515	557
AISI 316	8238	504	550
AISI 347	7978	513	559

Nota. Recuperado de (Incropera & DeWitt, 1999)

- a. Interpolando linealmente los valores de la tabla 15 en el material AISI302 para 430.5K

$$\frac{400 - 600}{512 - 559} = \frac{400 - 430.5}{512 - C_{pr}}$$

$$C_{pr} = 0.519 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

Por lo tanto,

$$R_{em} = \frac{1000 \cdot \left(0.964 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 7.3 [kg] + 2 \cdot 0.519 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 0.07 [kg] \right) (145 - 19) [K]}{1800 [s]} + 221.25 [W]$$

$$R_{em} = 738.52 [W]$$

La empresa da como dato la eficiencia de la resistencia eléctrica está entre 87% y 90%

Es decir,

$$R_{em} = \frac{738.52 [W]}{0.87}$$

$$R_{em} = 848.9 [W]$$

La empresa ofrece 2 resistencias de 450 [W], calculando el tiempo de calentamiento para 900[W], se obtiene.

$$\Delta t = \frac{(c_{pm} m_1 + 2c_{pr} m_r)(T_{i+1} - T_i)}{R_{em} \cdot \eta_r - Q_{con}}$$

$$\Delta t = \frac{1000 \cdot \left(0.964 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \cdot 7.3 [\text{kg}] + 2 \cdot 0.519 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \cdot 0.07 [\text{kg}] \right) (145 - 19) [\text{K}]}{900 [\text{W}] \cdot 0.87 - 243.375} + 243.37 [\text{W}]$$

$$\Delta t = 27.67 [\text{min}]$$

La máquina estará lista para trabajar 28 minutos después de haber encendido las resistencias.

Cálculo de resistencias y tiempo de calentamiento en los moldes macho

Cálculo de la potencia eléctrica requerida para calentar los moldes macho para transmitir así, calor al material.

Los moldes machos empiezan a trabajar en una temperatura menor al molde hembra debido a que el flujo de calor en el molde macho es menor.

- Balance de energía

$$E_{In} - E_{Out} = E_{alm}$$

$$(R_{e2} - Q_{con2}) \cdot \Delta t = (c_{pm}m_2 + c_{pr}m_{r2})(T_{i+1} - T_i)$$

$$R_{e2} = \frac{(c_{pm}m_2 + 2c_{pr}m_{r2})(T_{i+1} - T_i)}{\Delta t} + Q_{con2}$$

$$\Delta t = 1680 [\text{s}]$$

$$T_i = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{i+1} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Calor perdido por convección natural en el molde macho

$$Q_{con2} = A_{c2}h(Ts_m - T_\infty)$$

- a. El área de convección del molde hembra se obtiene medida a partir de un software de diseño CAD.

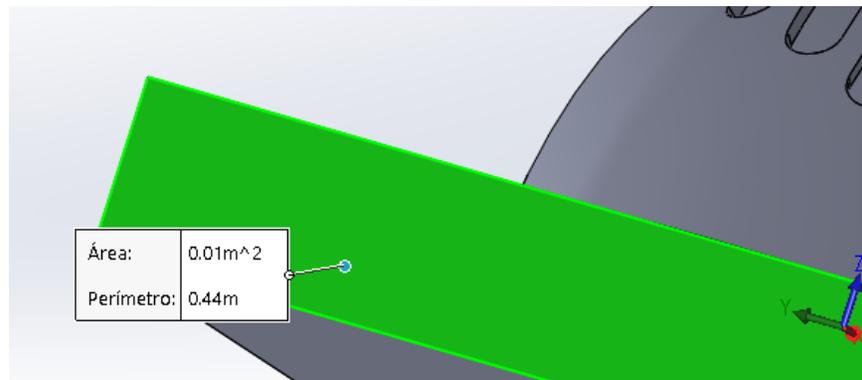
Figura 16

Datos de diseño CAD del molde macho

Área de superficie = 0.12 metros cuadrados
Centro de masa: (metros)
X = 0.00
Y = 0.00
Z = 0.00

Figura 17

Área del molde macho que no está en contacto con el ambiente



$$A_{c2} = 0.12 - 0.01 = 0.11 \text{ m}^2$$

$$h = 11 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$\bar{T}_2 = \frac{49.3 + 170}{2} = 109.65^\circ\text{C} + 273 = 382.65 \text{ K}$$

$$T_{S_{m2}} = \bar{T}_2 = 109.65^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 10^\circ\text{C}$$

Por lo tanto:

$$Q_{con2} = 0.11[m^2] \cdot 11 \left[\frac{W}{m^2 K} \right] (157.5^\circ\text{C} - 10)[K]$$

$$Q_{con2} = 102.85 [W]$$

- La masa del molde macho fue obtenida mediante una balanza.

$$m_2 = 4.2 \text{ kg}$$

- *Calor específico* para el molde macho (Ver tabla 15) para 368 K

a. *Interpolando linealmente*

$$\frac{400 - 600}{0.949 - 0.929} = \frac{400 - 368}{0.949 - C_{p_{m2}}}$$

$$C_{p_{m2}} = 0.936 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

- Masa de la resistencia eléctrica.

$$\phi_{r2} = 5/8[\text{in}](25.4) \left[\frac{\text{mm}}{\text{in}} \right] = 15.88[\text{mm}]$$

$$h_{r2} = 80[\text{mm}]$$

$$t_{r2} = 1 [\text{mm}]$$

$$V_{r2} = \frac{\pi}{4} [\phi_{r2}^2 - (\phi_{r2} - 2 \cdot t_{r2})^2] \cdot h_{r2} + \frac{\pi}{4} (\phi_{r2} - 2 \cdot t_{r2})^2 \cdot t_{r2}$$

$$V_{r2} = 3.89 \cdot 10^{-6} [\text{m}^3]$$

$$\rho_r = 8055 [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$m_{r2} = V_{r2} \cdot \rho_r$$

$$m_{r2} = 0.03 [\text{kg}]$$

- *Calor específico* para el molde macho (Ver tabla 16) a 368 K

a. *Extrapolando linealmente*

$$\frac{400 - 600}{512 - 559} = \frac{400 - 368}{512 - C_{p_{m2}}}$$

$$C_{p_{r2}} = 0.504 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right]$$

Por lo tanto,

$$R_{e2} = \frac{1000 \left(0.936 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 4.2 [kg] + 0.504 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 0.03 [kg] \right) (70 - 19) [K]}{1800 [s]} + 102.85 [W]$$

$$R_{e2} = 223.11 [W]$$

La empresa da como dato la eficiencia de la resistencia eléctrica está entre 87% y 90%

Es decir,

$$R_{e2} = \frac{223.108 [W]}{0.87} = 256.4 [W]$$

La empresa ofrece 1 resistencias de 200 [W], calculando el tiempo de calentamiento, por cuestión de dimensiones para que vaya dentro el molde, previamente mencionado.

$$\Delta t = \frac{(c_{pm2}m_1 + 2c_{pr2}m_{r2})(T_{i+1} - T_i)}{R_{em} \cdot \eta_r} + Q_{con}$$

$$\Delta t = \frac{1000 \cdot \left(0.936 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 4.2 [kg] + 0.504 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot 0.03 [kg] \right) (70 - 19) [K]}{200 [W] \cdot 0.87} + 102.85 [W]$$

$$\Delta t = 47.15 [min]$$

Tiempo de calentamiento de la tela

La transferencia de calor de los moldes hacia la tela es por medio de conducción. Para este análisis se considera transferencia de calor unidimensional en estado estable.

Se ha demostrado que el molde hembra es el que más tarda en calentarse, y por ende la máquina estará lista para trabajar a los 28 minutos de haber encendido las resistencias

eléctricas, por lo que la temperatura para cada molde (que son los encargados de calentar la tela mientras esta es termoformada) en ese tiempo será:

- **Temperatura a los 28 minutos del molde hembra:**

$$E_{In} - E_{Out} = E_{atm}$$

$$(R_{em} - Q_{con})\Delta t = (c_{pm}m_1 + 2c_{pr}m_r)(T_{(i+1)_h} - T_i)$$

Despejando $T_{(i+1)_h}$,

$$T_{(i+1)_h} = \frac{(R_{em} \cdot \eta_r - Q_{con})}{(c_{pm}m_1 + 2c_{pr}m_r)} \cdot \Delta t + T_i$$

$$T_{(i+1)_h} = \frac{1680[s] \cdot [900[W] \cdot 0.87 - 243.375[W]]}{\left[7.3[kg] \cdot 0.964 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]\right] + \left[2 \cdot 0.07[kg] \cdot 0.519 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]\right]} + (19 + 273)K$$

$$T_{(i+1)_h} = 419.5 K = 146.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Temperatura a los 28 minutos del molde macho:**

$$E_{In} - E_{Out} = E_{atm}$$

$$(R_{e2} - Q_{con2}) \cdot \Delta t = (c_{pm}m_2 + c_{pr}m_{r2})(T_{(i+1)_M} - T_i)$$

Despejando $T_{(i+1)_M}$

$$T_{(i+1)_M} = \frac{(R_{e2} \cdot \eta_r - Q_{con2})}{(c_{pm}m_2 + 2c_{pr}m_{r2})} \cdot \Delta t + T_i$$

$$T_{(i+1)_M} = \frac{1680[s] \cdot [200[W] \cdot 0.87 - 102.85[W]]}{4.2[kg] \cdot 0.936 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right] + 0.03[kg] \cdot 0.504 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K}\right]} + (19 + 273)K$$

$$T_{(i+1)_M} = 322.3 K = 49.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{(i+1)_M} = 49.3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La transferencia unidimensional de calor se expresa como

$$q_x = U \cdot A_{tc} \cdot \Delta T_t$$

$$U = \frac{1}{R_{tot} \cdot A_{tc}}$$

$$q_x = \frac{\Delta T_t}{R_{tot}}$$

El calor en dirección desde el molde hembra (q_{x_h}) y macho (q_{x_2}) hacia la tela esta dado por las siguientes expresiones

$$q_{x_h} = \frac{T_{(i+1)_h} - T_t}{\frac{L_{pp}}{K_{pp}} + \frac{L_{pe}}{K_{pe}}}$$

$$q_{x_2} = \frac{T_{(i+1)_M} - T_t}{\frac{L_{pp}}{K_{pp}} + \frac{L_{pe}}{K_{pe}}}$$

- Calor que ingresa a la tela para elevar la temperatura de 19°C a 145°C cuando el molde hembra se encuentra a 146.5°C.

$$K_{pp} = 0.1 - 0.22 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$K_{pe} = 0.033 - 0.038 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

$$q_{x_h} = (146.5 - 19)[K] \left(\frac{1}{\frac{1 \cdot 10^{-3}[m]}{0.22 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]} + \frac{0.5 \cdot 10^{-3}[m]}{0.038 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]}} \right)$$

$$q_{x_h} = 7202[kW]$$

$$q_{x_h} = \frac{(m_{pp} \cdot c_{pp} + 0.5 \cdot m_{pe} \cdot c_{pe})(T_{i+1} - T_i)}{\Delta t_c}$$

$$\Delta t_c = \frac{(m_{pp} \cdot c_{pp} + 0.5 \cdot m_{pe} \cdot c_{pe})(T_{i+1} - T_i)}{q_{x_h}}$$

$$m_{pp} = V_{pp} \cdot \rho_{pp}$$

$$m_{pp} = \frac{(210 \cdot 190 \cdot 1)}{1000^3} [m^3] \cdot 900 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$m_{pp} = 0.036 [kg]$$

$$m_{pe} = V_{pe} \cdot \rho_{pe}$$

$$m_{pe} = \frac{(210 \cdot 190 \cdot 1)}{1000^3} [m^3] \cdot 1100 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$m_{pe} = 0.046 [kg]$$

$$\Delta t_c = \frac{\left(0.036 [kg] \cdot 1700 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] + 0.5 \cdot 0.046 \cdot 1200 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \right) (145. - 19) K}{7202 [kW]}$$

$$\Delta t_c = 1.55 [s]$$

- Calor que ingresa a la tela para elevar la temperatura de 19°C a 145°C cuando el molde hembra se encuentra a 49.3°C.

$$q_{x_2} = (49.3 - 19) [K] \left(\frac{1}{\frac{1 \cdot 10^{-3} [m]}{0.22 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]} + \frac{0.5 \cdot 10^{-3} [m]}{0.038 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]}} \right)$$

$$q_{x_2} = 1711 [W]$$

$$q_{x_2} = \frac{m_t \cdot c_{pt} (T_{(i+1)M} - T_i)}{\Delta t_c}$$

$$\Delta t_c = \frac{(m_{pp} \cdot c_{pp} + 0.5 \cdot m_{pe} \cdot c_{pe}) (T_{i+1} - T_i)}{q_{x_2}}$$

$$\Delta t_c = \frac{11188.9 [J]}{1711 [W]}$$

$$\Delta t_c = 6.53 [s]$$

Diseño del sistema neumático

El sistema neumático será el encargado de aplicar la presión y controlar el tiempo necesario para que la temperatura de forma al textil, el sistema neumático está confirmado por:

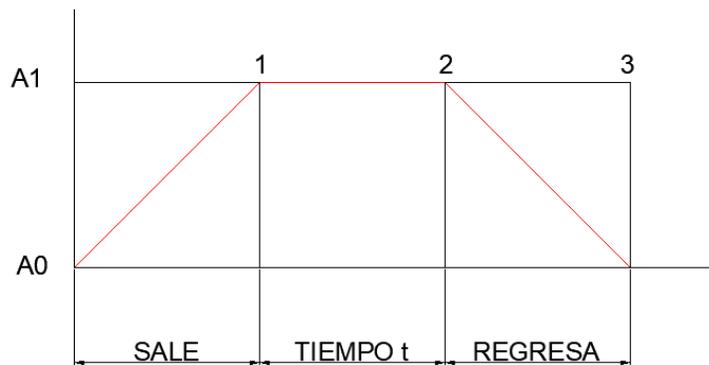
Secuencia del control

Al activar el sistema, la tarjeta de control manda una señal a la electroválvula para cambiar su posición de A0 a A1, donde aplicara una presión en el sistema. En ese momento el temporizador se activa y tras el paso de los 15 segundos para desactivarse y enviar la señal para que la electroválvula cambie su posición y regrese el cilindro a su posición inicial finalizando el proceso.

Diagrama Espacio Fase

Figura 18

Diagrama Espacio del sistema neumático



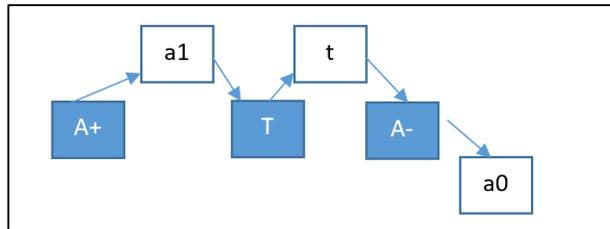
El pistón sale de su posición inicial A0 a la posición A1, donde se activa un temporizador por un tiempo de 10 segundos volviendo el pistón a su posición inicial.

Secuencia del pistón

La secuencia del pistón es un ciclo abierto, ya que, después de que haya vuelto a su posición inicial no hay ninguna señal que vuelva a reiniciar el ciclo. Esto se hace para que el operador sea quien del inicio de cada secuencia de trabajo de termoformado.

Figura 19

Secuencia del pistón



Para el diseño del sistema neumático= la empresa dispone de un compresor con las siguientes características

Figura 20

Características del compresor neumático



Fuerza ejercida por el pistón

- Avance

$$F_{Ea} = P_A \cdot A_{eA} - F_{fa}$$

$$F_{Ea} = 0.276[\text{MPa}] \cdot \left[32^2 \cdot \frac{\pi}{4} [\text{mm}^2] \right] - 0.2 \left[0.276[\text{MPa}] \cdot 32^2 \cdot \frac{\pi}{4} [\text{mm}^2] \right]$$

$$F_{Ea} = 221.97[\text{N}] - 0.2(221.97)[\text{N}]$$

$$F_{Ea} = 177.57 [\text{N}]$$

$$P_A = \frac{F_{Ea}}{A_M}$$

$$P_{Ma} = \frac{177.57[\text{N}]}{\frac{(420 \cdot 190)}{1000^2} [\text{m}^2]}$$

$$P_{Ma} = 2.22[\text{kPa}]$$

- **Retroceso**

$$F_{Er} = P_r \cdot A_{Er} - F_{fr}$$

$$F_{Er} = 0.276[\text{MPa}] \cdot (32^2 - 12^2) \cdot \frac{\pi}{4} [\text{mm}^2] - 0.2 \left[0.276[\text{MPa}] \cdot (32^2 - 12^2) \cdot \frac{\pi}{4} [\text{mm}^2] \right]$$

$$F_{Er} = 195.76 - 0.2(195.76)$$

$$F_{Er} = 152.61[\text{N}]$$

Consumo de Aire por ciclo de trabajo

$$Q_a = \left(s \cdot D_e^2 \cdot \frac{\pi}{4} + s \cdot \frac{(D_e^2 - D_v^2)\pi}{4} \right) \cdot n \cdot r_c$$

$$r_c = \frac{101.3 + 276}{101.3} = 3.72$$

$$Q_a = \left(200 \cdot 32^2 \cdot \frac{\pi}{4} + 200 \cdot \frac{(32^2 - 12^2)\pi}{4} \right) \cdot 1 \cdot 3.72$$

$$Q_a = 1\,112\,576 [\text{mm}^3/\text{min}]$$

$$Q_a = 1\,112 \text{ [cm}^3\text{/min]}$$

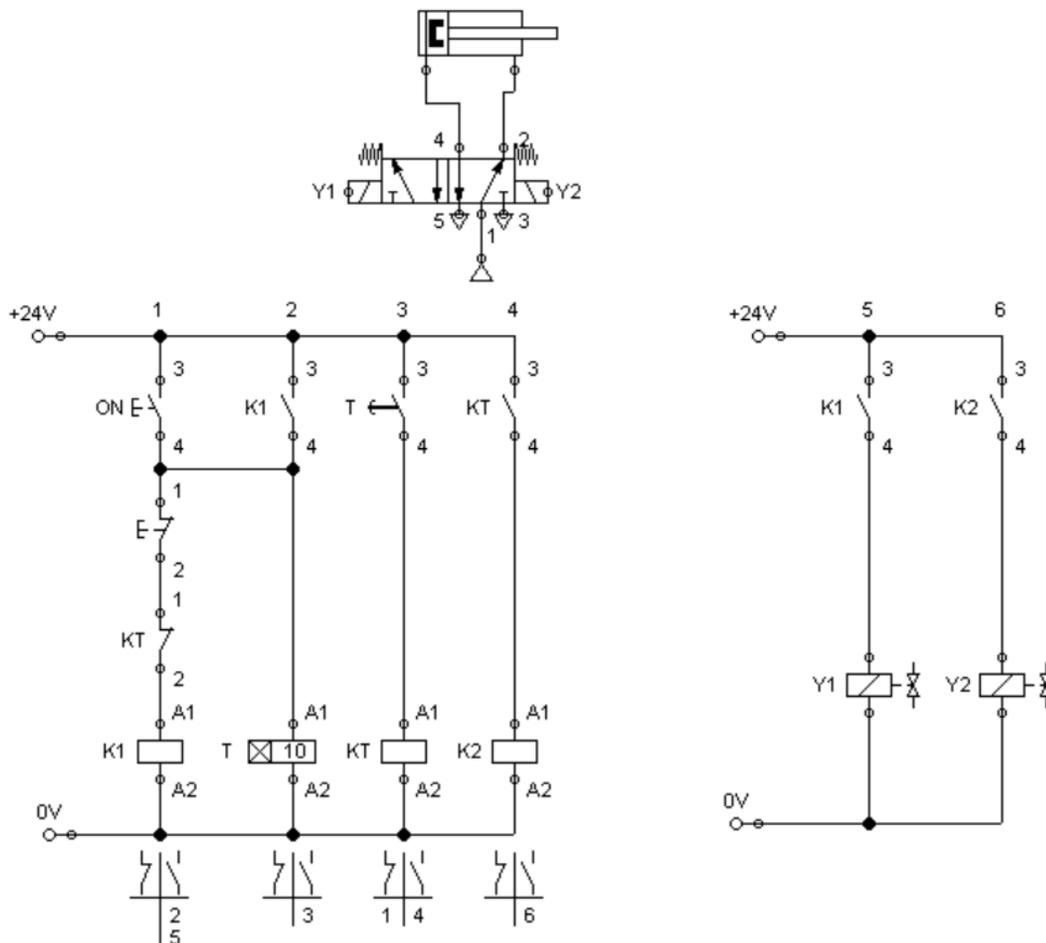
$$Q_a = 66.72 \text{ [l/min]}$$

El compresor suministra un mayor caudal, es decir cuenta con las características necesarias para satisfacer lo requerido.

Esquema electro neumático y elementos a utilizar

Figura 21

Esquema del sistema neumático



Elementos neumáticos

- Compresor
- Mangueras de poliuretano azul
- Acople recto de $\frac{1}{4}$ " x 8mm
- Electroválvula 5/2
- Silenciadores de bronce 1/8"
- Regulador de flujo de 1/8"
- Cilindro neumático de 32x200 mm

Diseño de la estructura de apoyo

La estructura será capaz de soportar la carga ejercida por cada uno de los elementos de la máquina. Se toma en cuenta cuando la máquina está apagada y la única carga que soporta es la de los elementos, y cuando la máquina está encendida cuando el pistón está ejerciendo una presión sobre los moldes, la cual será distribuida sobre la estructura.

El material tomado en cuenta para el diseño de la máquina es el ASTM A36 (uno de los más comerciales), con los siguientes datos:

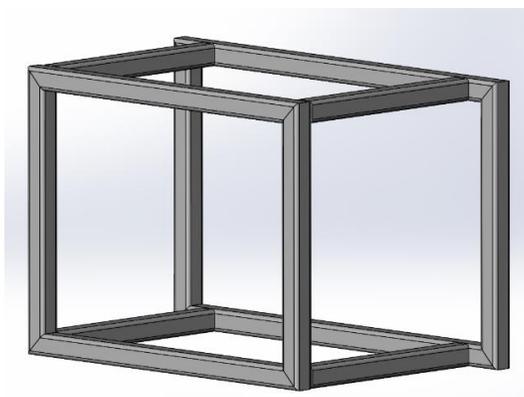
Datos del Acero ASTM A36

- Resistencia a la fluencia 25.47[kgf/mm²]
- Módulo de elasticidad 20394.32[kgf/mm²]

En la siguiente figura se muestra un esquema de la estructura donde se apoyará los elementos de la máquina.

Figura 22

Estructura de apoyo para la máquina de termoformado



Las cargas que se analiza en la estructura son las siguientes.

- En la parte superior

Tabla 16

Elementos soportados por la estructura y sus pesos

<u>Superior</u>	
Moldes macho.	14.6 [kg]
Placa de apoyo de los moldes macho	3[kg]
Pistón neumático	2[kg]
Placa de apoyo del pistón	3 [kg]
Otros elementos	2 [kg]
TOTAL	26.6 [kg]
<u>Inferior</u>	
Moldes hembra	8.4 [kg]
Placa de apoyo de los moldes macho	3 [kg]
TOTAL	11.4 [kg]

Análisis de cargas por medio de elementos finitos en software estructural

- Se analiza la distribución de cargas en áreas cooperantes con carga distribuida rectangular.
 - a. Carga puntual en cada elemento de apoyo

$$P_t = \frac{\text{Peso total}}{\text{Número de elementos}}$$

$$P_{t_a} = \frac{26.6[kg_f]}{2} = 13.3[kg_f]$$

$$P_{t_b} = \frac{11.4[kg_f]}{2} = 5.7[kg_f]$$

- b. Carga distribuida en cada miembro.

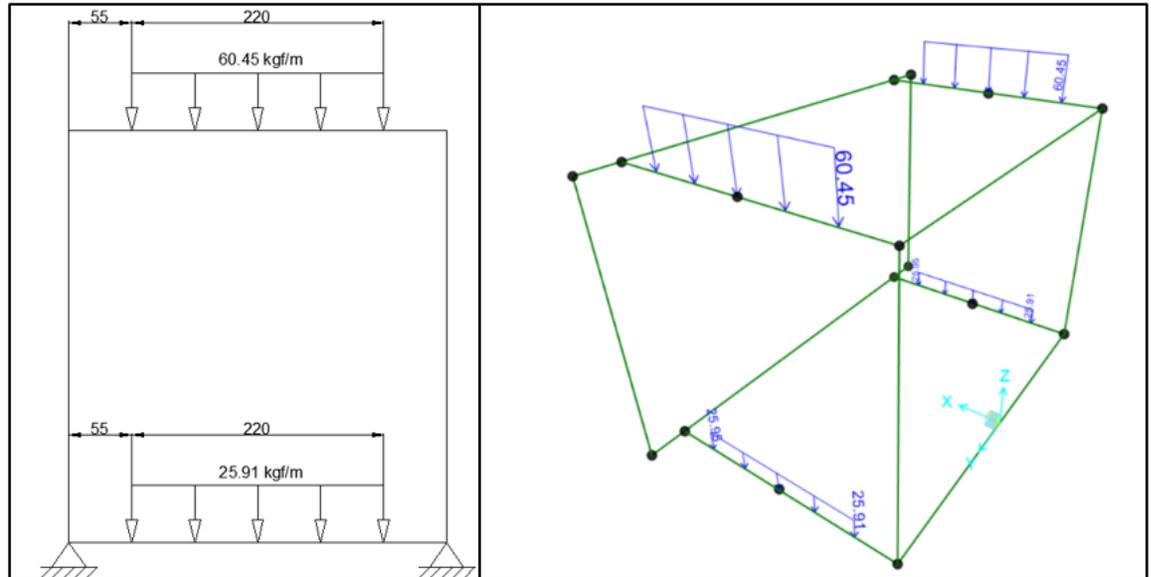
$$W_D = \frac{W_{t_a}}{L_D}$$

$$W_{D_a} = \frac{13.3[kg_f]}{0.22[m]} = 60.45 [kg_f/m]$$

$$W_{D_b} = \frac{5.7}{0.22[m]} = 25.91 [kg_f/m]$$

Figura 23

Distribución de cargas en la parte superior e inferior de la estructura.



- c. Inercia mínima del perfil estructural para una deflexión máxima de $L/100$.

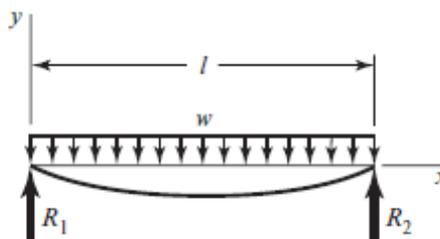
$$\delta_{M\acute{a}x} = \frac{L}{100}$$

- d. Por mecánica de materiales se conoce que la deflexión máxima cuando un elemento tiene apoyos simples con carga uniforme es:

$$\delta_{M\acute{a}x} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{min}}$$

Figura 24

Viga con apoyos simples con carga uniforme.



Nota. Recuperado de (Budynas & Nisbett, 2015)

$$\frac{L}{100} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{min}}$$

$$I_{min} = \frac{195 \cdot W_{Da} \cdot L^3}{96 \cdot E}$$

$$I_{min} = \frac{195 \cdot 60.45 [kg_f/m] \cdot (0.220[m])^3}{96 \cdot 20394.32 \left[\frac{kg_f}{mm^2} \right] \cdot 1000^2 [m^2]}$$

$$I_{min} = 0.006411 [cm^4]$$

Tabla 17

Datos de perfiles comerciales estructurales cuadrados

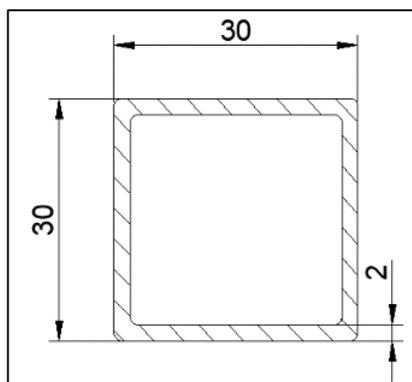
Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13

Nota. Recuperado de (IPAC, 2014)

Podemos ver en la figura 20 que la inercia mínima de perfiles estructurales es a partir de 0.56 cm^4 . Para facilidad de construcción se utiliza perfiles de cuadrados $30 \times 30 \times 2$

Figura 25

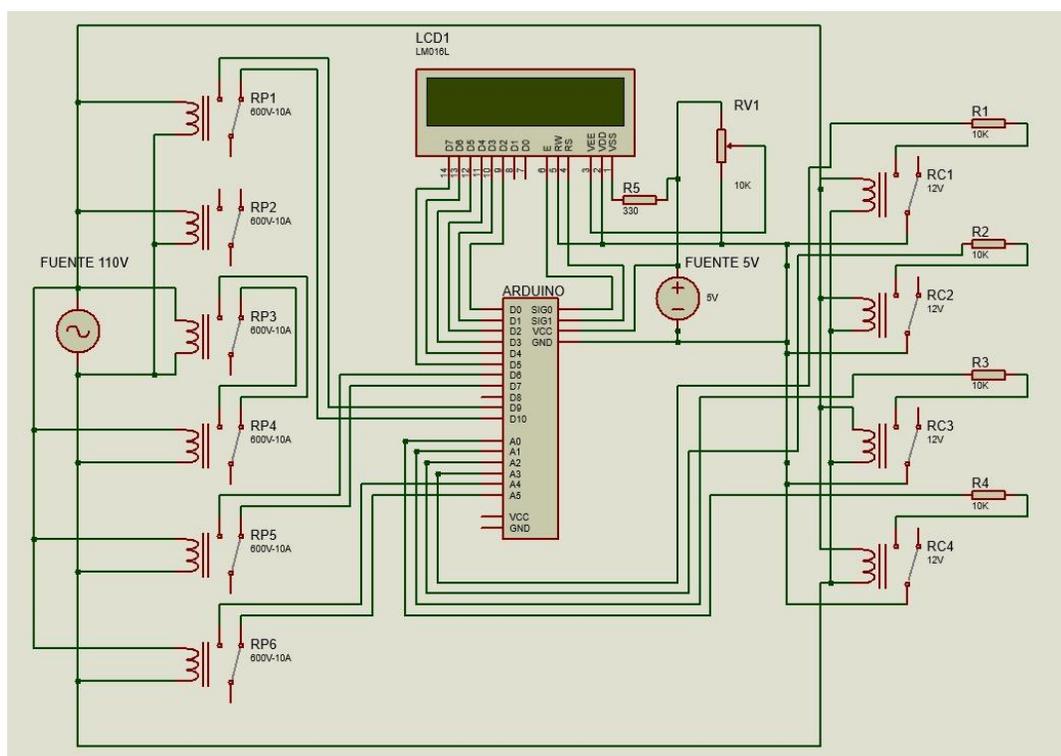
Geometría perfil estructural cuadrado $30 \times 30 \times 2$



Diseño del sistema de control.

Figura 26

Esquema del circuito de control



Elementos de control

- Arduino
- Relays de potencia
- LCD 2X16
- Relays de control
- Resistencias de 1k
- Resistencia de 330 ohm
- Potenciómetro 10k

CAPITULO IV

Resultados

En este capítulo se da a conocer los resultados del diseño de los diferentes sistemas y elementos que conforman la máquina de termoformado.

Resultados del sistema de calentamiento.

Matrices de formado

Las matrices de formado fueron fabricadas por medio de fundición. El resultado del proceso se muestra a continuación.

Figura 27

Fundición de matrices para el conformado de mascarillas



Figura 28

Matriz macho y hembra para el conformado de mascarillas



El proceso de fundición se lo realizo con una aleación de aluminio blanco de alta pureza de 99.7 a 99.5%.

Tabla 21

Peso de las matrices de conformado.

Cantidad	Molde	Peso individual [kg]	Peso total [kg]
2	Macho	7.3	14.6
2	Hembra	4.2	8.4

Resultado del sistema de calentamiento

Para el análisis de la transferencia de calor, se planteó el balance de energía, donde se calculaba la potencia eléctrica requerida para calentar los moldes hembra y macho los cuales serán los que transfieran calor a la tela durante el termoformado, la misma que requiere una temperatura mínima de 145 °C.

Se para la validación de los resultados se hizo un análisis por medio de elementos finitos.

- **Molde hembra**

Tabla 22

Datos obtenidos del calentamiento del molde hembra por medio de software FEM

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
1.00E-02	21.878
2.00E-02	21.785
5.00E-02	21.575
0.14	21.316
0.24	21.24
0.34	21.157
0.44	21.135
0.54	21.154

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
0.64	21.201
0.74	21.267
0.84	21.342
0.94	21.325
1	21.318
9.99	21.803
16.843	21.761
23.695	21.76
44.253	22
103.16	24.425
193.06	30.476
282.96	37.627
372.86	45.265
462.76	53.093
552.66	60.958
642.56	68.777
732.46	76.504
822.36	84.11
900	90.579
909	91.327
918	92.074
945	94.302
1026	100.87
1116	108.01
1206	115
1296	121.84
1386	128.53
1476	135.07
1566	141.46
1656	147.72
1746	153.83
1800	157.45
1809	158.05
1818	158.65
1845	160.44
1926	165.69
2016	171.4
2106	176.98
2196	182.43
2286	187.76
2376	192.96

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
2466	198.05
2556	203.03
2646	207.89
2700	210.76

Figura 29

Análisis del calentamiento del molde hembra por medio de FEM.

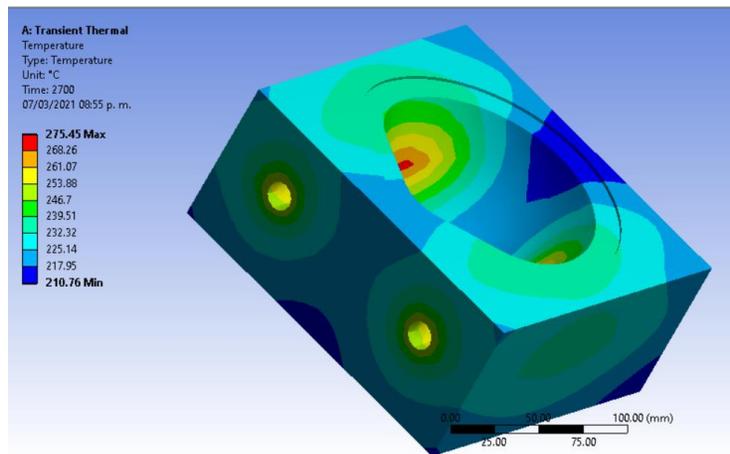


Tabla 23

Datos obtenidos del cálculo analítico de calentamiento del molde hembra.

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
0	19
120	28.1
240	37.2
360	46.3
480	55.4
600	64.5
720	73.6
840	82.8
960	91.9
1080	101.0
1200	110.1
1320	119.2
1440	128.3
1560	137.4

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
1680	146.5
1800	155.6
1920	164.7
2040	173.8
2160	182.9
2280	192.0
2400	201.2

Vemos que la temperatura para 1800 [S] (es decir 30 [min]) es de 157.45 [°C]. Según los cálculos que se realizó en el capítulo anterior, analizando la temperatura para 1800[s] con esas resistencias en el molde hembra se obtiene un valor de 155.6 [°C].

$$\%Error = \frac{|157.45 - 155.6|}{155.6} * 100$$

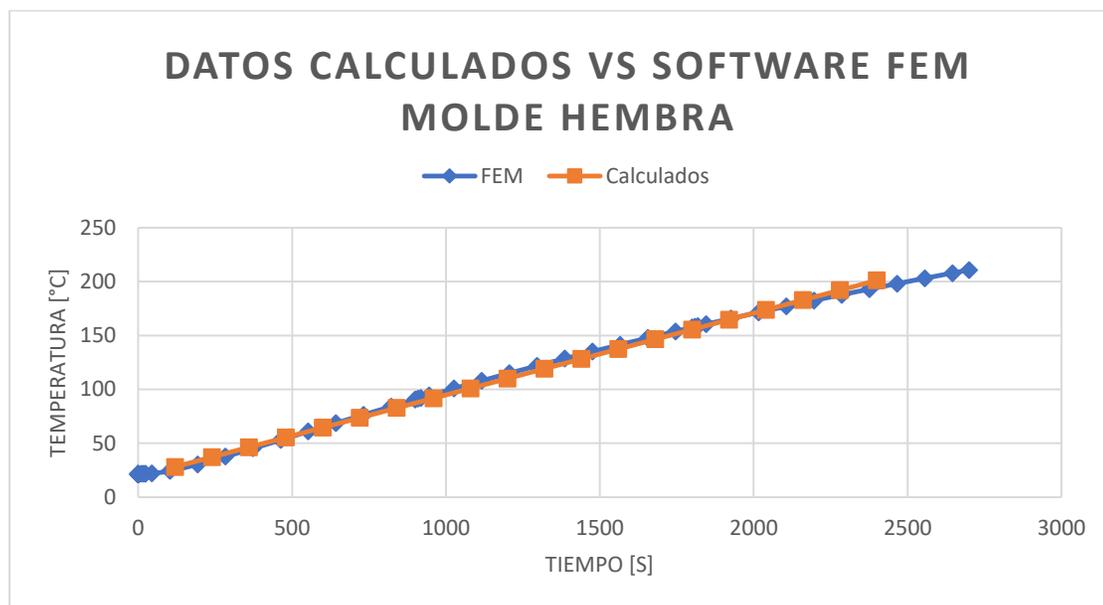
$$\%Error = 0.54\%$$

Al ser un error bastante bajo se acepta valida y acepta los resultados.

- **Molde macho**

Figura 30

Curvas de comparación entre los datos calculados y los obtenidos mediante el Software FEM para el molde hembra



De igual manera que en el molde macho se compara los datos por los dos diferentes análisis para validarlos y aceptarlos.

Tabla 24

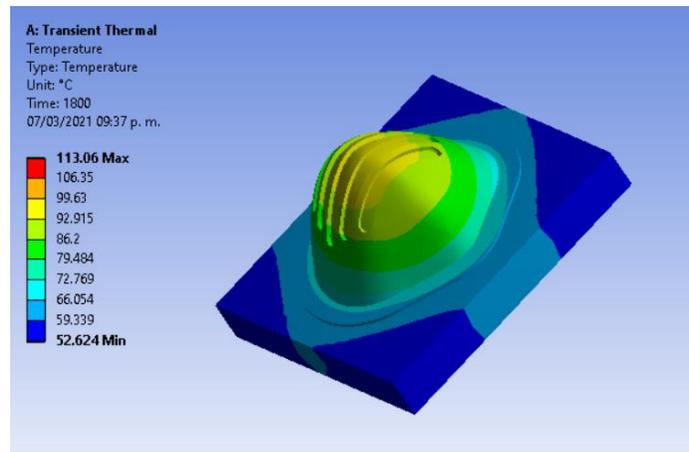
Datos obtenidos del calentamiento del molde macho por medio de software FEM

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
1.00E-02	18.726
2.00E-02	18.631
5.00E-02	18.468
0.14	18.246
0.24	18.14
0.34	18.146
0.44	18.218
0.54	18.33
0.64	18.315
0.74	18.276

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
0.84	18.25
0.94	18.236
1	18.231
9.99	18.651
15.889	18.59
21.789	18.538
39.487	18.411
82.791	18.212
172.69	18.423
262.59	19.255
352.49	20.595
442.39	22.304
532.29	24.258
622.19	26.361
712.09	28.544
801.99	30.758
851	31.968
900	33.175
909	33.397
918	33.618
945	34.281
1026	36.239
1116	38.367
1206	40.441
1296	42.456
1386	44.41
1476	46.303
1566	48.135
1656	49.906
1746	51.618
1800	52.624

Figura 31

Análisis del calentamiento del molde macho por medio de FEM

**Tabla 25**

Datos obtenidos del cálculo de calentamiento del molde macho

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
0	19
120	21.1635346
240	23.3270693
360	25.4906039
480	27.6541385
600	29.8176732
720	31.9812078
840	34.1447424
960	36.3082771
1080	38.4718117
1200	40.6353463
1320	42.798881
1440	44.9624156
1560	47.1259503
1680	49.2894849
1800	51.4530195

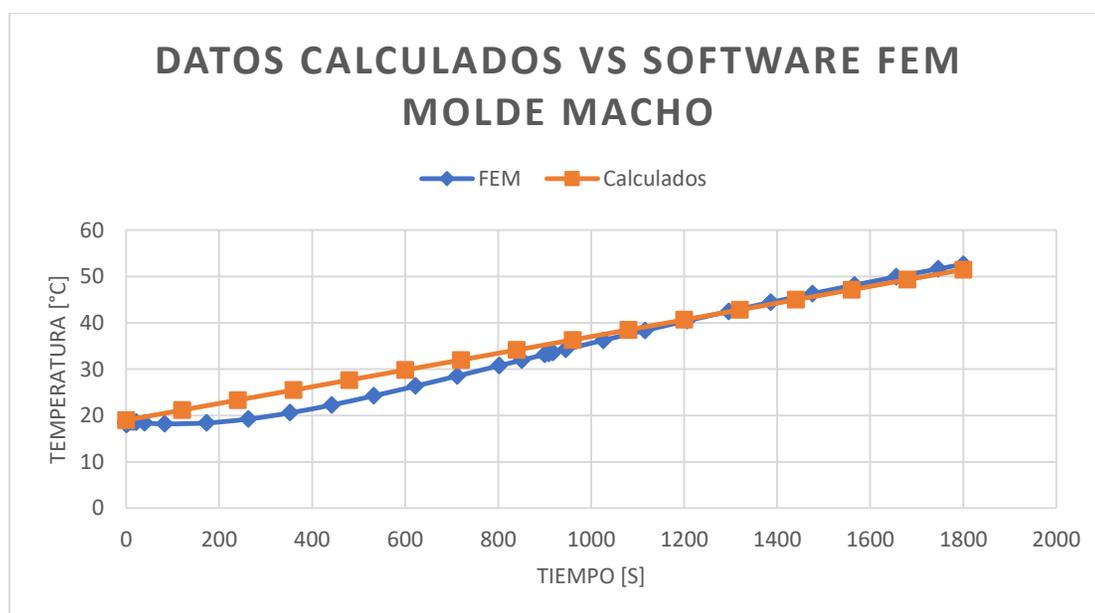
Vemos que la temperatura para 1800 [S] (es decir 30 [min]) es de 52.624 [°C]. Según los cálculos que se realizó en el capítulo anterior, analizando la temperatura para 1800[s] con esas resistencias en el molde hembra se obtiene un valor de 51.45 [°C].

$$\%Error = \frac{|52.64 - 51.45|}{51.45} \cdot 100$$

$$\%Error = 2.31\%$$

Figura 32

Curvas de comparación entre los datos calculados y los obtenidos mediante el Software FEM para el molde macho



Finalmente se tiene:

Tabla 26

Datos de las resistencias adquiridas para la máquina de termoformado

Cantidad de resistencias	Molde	Potencia Individual	Potencia total	Dimensiones			Material
				Diámetro	Altura	Espesor	
2	Hembra	450[W]	900[W]	5/8 [in]	17 [cm]	1 [mm]	Acero
1	Macho	200 [W]	200 [W]	5/8 [in]	8 [cm]	1 [mm]	Inoxidable

Pruebas de calentamiento de los moldes con las resistencias.

- **Molde hembra**

Para verificar la veracidad de los cálculos, se hace prueba de calentamiento a las resistencias dentro de los moldes y se analiza los tiempos de calentamiento.

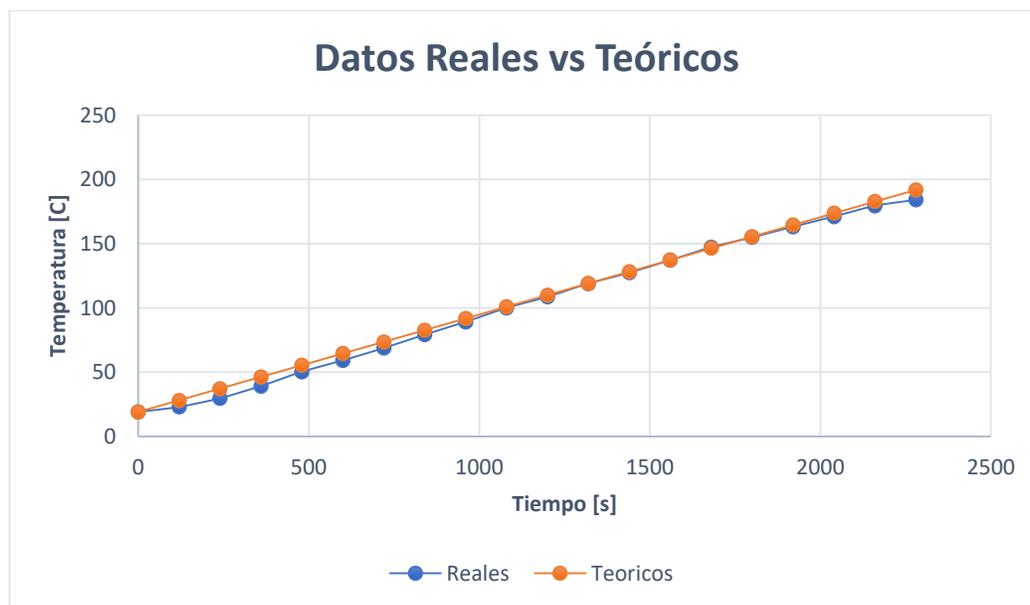
Tabla 27

Datos reales obtenidos del calentamiento del molde hembra

Tiempo [s]	Temperatura [°C]
0	19
120	23
240	29.75
360	39.25
480	50.25
600	59.25
720	68.75
840	79.25
960	89.25
1080	100
1200	108.75
1320	119
1440	127.5
1560	137.25
1680	147.25
1800	155
1920	163.25
2160	179.5
2280	184.24

Figura 33

Curvas de comparación entre los datos calculados y los reales para el calentamiento del molde hembra.



De igual manera analizamos la temperatura a los 1800[s], a partir de los datos de las tablas 23 y 19.

$$\%Error = \frac{|155.6 - 155|}{155} \cdot 100\%$$

$$\%Error = 0.39\%$$

Los moldes se calientan a las temperaturas esperadas, se obtiene un error de menos del 1% con respecto a los datos calculados, por ende, cumplen con lo requerido.

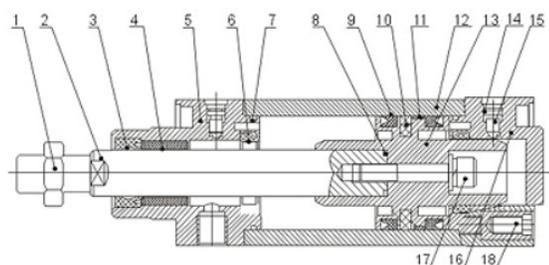
Resultados del sistema neumático

El sistema neumático será el que proporcione la fuerza de presión sobre los moldes para el termoformado.

- El sistema neumático trabajara con un cilindro doble efecto $\Phi 32 \times 200$ [mm] para efectuar la secuencia diseñada en el capítulo anterior.

Figura 34

Partes del cilindro neumático doble efecto



NO.	Designation	NO.	Designation
1	Piston Rod Nut	2	Piston Rod
3	Front Cover Seal Ring	4	Bearing
5	Front Cover	6	Buffering O-Ring
7	O-Ring	8	Piston rod O-Ring
9	Piston O-Ring	10	Magnet(Optional)
11	Wear Ring	12	Barrel
13	Piston	14	Cushion Seal
15	Cushion Needle	16	Back Over
17	Hex Socket Screw	18	Profile Bolt

Nota. Recuperado de (Ningbo Xinchao Automation Component CO., 2011)

Tabla 28

Elementos para el sistema electroneumatico

Cantidad	Dispositivo
1	Cilindro doble efecto $\Phi 32 \times 200$ [mm]
1	Válvula neumática con solenoide 5/2
3	Relé
1	Arduino

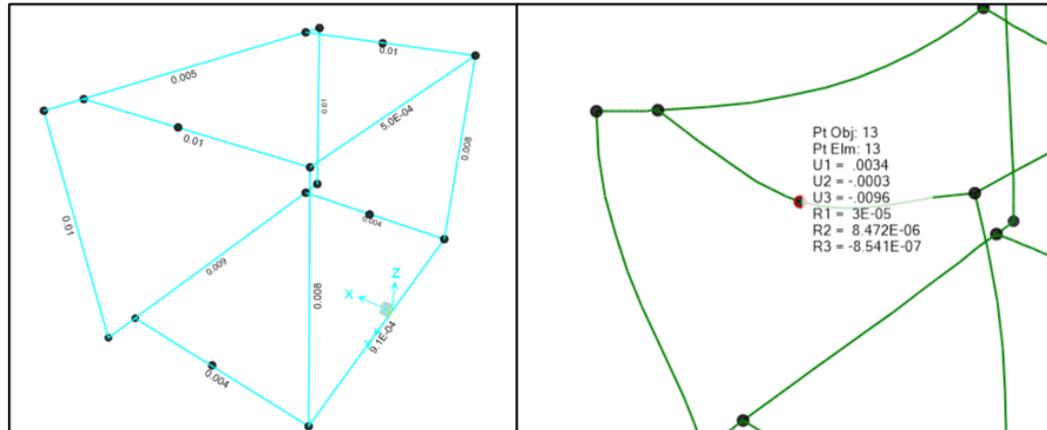
Resultados del diseño de la estructura metálica

La estructura metálica es la encargada de dar soporte a todos los elementos de la máquina de termoformado, por lo con su diseño se espera sobre todo seguridad. Ya que en caso de falla podría causar un serio accidente al operador

Al seleccionar el perfil cuadrado 30x30x2, la inercia es más que suficiente para las cargas requeridas, analizando la demanda capacidad de todos los elementos se ve que no alcanzan ni el 1% de su capacidad de trabajo.

Figura 35

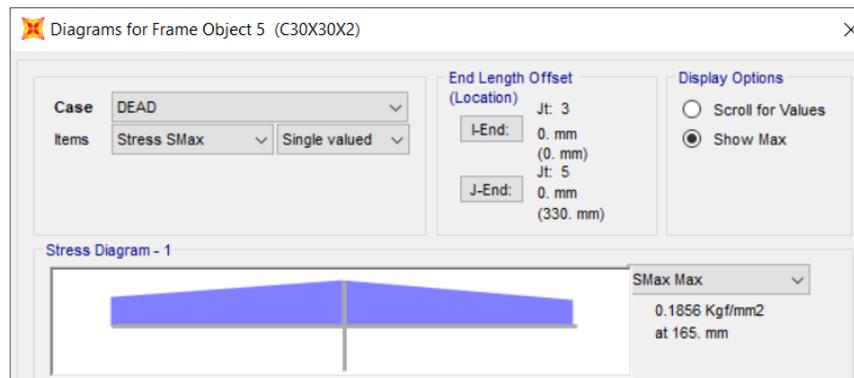
Demanda-capacidad de la estructura y deflexión máxima



Para el cálculo del factor de seguridad, verificamos el esfuerzo máximo de la estructura.

Figura 36

Esfuerzo máximo de la estructura.



Por lo tanto,

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{M\acute{a}x}}$$

$$N = \frac{25.47 [kg_f/mm^2]}{0.1856 [kg_f/mm^2]} = 141$$

Al tener un factor de seguridad bastante alto, garantiza una buena estabilidad de la estructura para un trabajo seguro para el operador.

Además, se analiza la estructura cuando esté trabajando a plena carga con el pistón ejerciendo presión sobre los moldes, misma que será descargada para la estructura.

La presión que ejerce el pistón neumático sobre los moldes es de 2.22 [kPa], la cual será soportada por la parte inferior de la estructura.

Añadiendo esta presión sobre el molde tenemos una fuerza total igual a F_{Ea} , donde,

$$F_{Ea} = 177.57 [N] \cdot \frac{1 [N]}{9.807 [kg_f]}$$

$$F_{Ea} = 18.10 [kg_f]$$

La fuerza total en la parte inferior de la estructura sería de

$$P_w = (11.4 + 18.1) [kg]$$

$$P_w = 29.5 [kg]$$

Por áreas cooperantes la carga en cada perfil sería:

$$F_{wa} = \frac{29.5 [kg]}{2 \cdot 0.240 [m]}$$

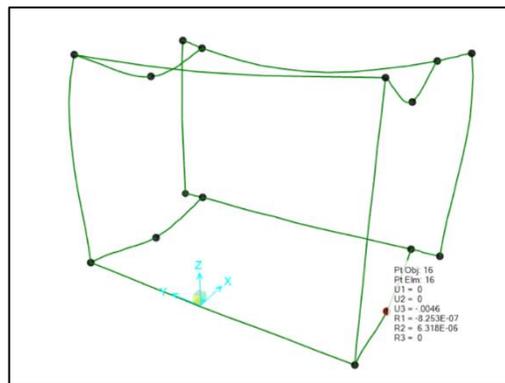
$$F_{wa} = 61.46 [kg]$$

Se modifica carga sobre los perfiles inferiores de la estructura

La deflexión máxima en los perfiles de apoyo en la parte inferior de la estructura es de 0.0046 [mm].

Figura 39

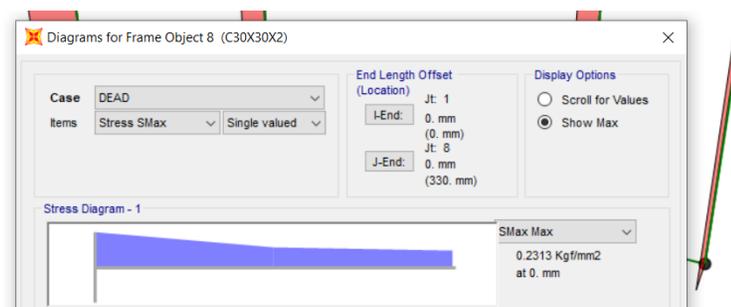
Deflexión máxima en los perfiles inferiores de la estructura cuando el pistó trabajan sobre los moldes



Analizando el factor de seguridad para este caso tenemos que:

Figura 40

Esfuerzo de la estructura a plena carga



$$N = \frac{S_y}{\sigma_{M\acute{a}x}}$$

$$N = \frac{25.47 [kg_f/mm^2]}{0.2313 [kg_f/mm^2]} = 110$$

CAPITULO V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó una máquina de termoformado asistida por un pistón neumático que suministra una presión de 2.22 [kPa] a los moldes macho y hembra fabricados por medio de fundición de aluminio aleado con una pureza de 99.7% cuyo calentamiento se lo hace por conducción térmica con la ayuda de resistencias eléctricas de 450 [W] y 200[W] para realizar el conformado de mascarillas.
- Se construyó 4 matrices de conformado 2 machos y 2 hembras a través de un proceso de fundición, los cuales fueron diseñados previamente mediante un software CAD, para imprimir moldes en 3D que servirían como base para ser moldeados en arena sílice previo a su fundición.
- Se diseñó un sistema de calentamiento capaz de transferir calor a los moldes hasta una temperatura de 145 [°C] en un tiempo de 28 minutos, mismo a partir del cual la maquina estará lista para empezar a trabajar. A partir de la puesta a punto de la máquina (28 minutos), esta conformara 2 mascarillas en un tiempo de 28 segundos, es decir que se tiene una producción de 4 mascarillas cada 56 segundos (menos de un minuto). El diseño del sistema de calentamiento se lo valido con un software de análisis por medio de elementos finitos FEM, el cual validó los cálculos realizados analíticamente.
- Se diseñó una estructura capaz de soportar los pesos de todos los elementos y componentes de la máquina de termoformado, la misma que a la vez brinda seguridad al usuario. Se diseñó por medio de cálculos analíticos, y métodos numéricos con la

ayuda de un software estructural, mismo que valido la eficiencia de la estructura, obteniendo un factor de seguridad de 110, para cuando la maquina se encuentre ejerciendo presión sobre los moldes.

- Se dimensionó las medidas para las mascarillas (ver Figura 10) en base a otras que se encuentran en el mercado, capaz de que brinde protección en zonas del rostro (como nariz y boca) accesibles a partículas y virus del ambiente para evitar un posible contagio.
- Se construyó una máquina capaz de fabricar mascarillas compactas entre sus 3 capas de tela no tejida de poliéster y polipropileno, que por la composición de sus fibras (ver Figura 9) brindan protección ante agentes externos dañinos para el usuario.

Recomendaciones

- Antes de utilizar la maquina es necesario que la persona que va a utilizar tiene que haber revisado el manual de usuario para comprender el funcionamiento de la máquina.
- Al trabajar con temperaturas alrededor de 150 grados centígrados es recomendable utilizar guantes de protección y ropa de trabajo para evitar accidentes.
- Se recomienda que previo al encendido de la maquina verificar la posición inicial del pistón, ya que esta debe estar inicialmente en su posición A1 es decir el vástago fuera del cilindro.
- Al momento de encender las resistencias eléctricas, los moldes machos y hembra deben estar juntos, para una mayor eficiencia energética, aprovechando de mejor manera el calentamiento de estos, evitando así mayores pérdidas de calor por convección natural con el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo. (2010). *Esacademic*. Obtenido de Termoconformado:

<https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/1138843>

Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2004). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico:

International Thomson Editores S. A.

Berins, M. L. (1991). *Plastics Engineering Handbook Of The Society of the Plastics Industry*. New

York: Springer Science & Business Media.

Biossmann. (2020). *Biossmann*. Obtenido de Biossmann: [https://biossmann.com/tela-no-tejida-](https://biossmann.com/tela-no-tejida-de-polipropileno.html)

[de-polipropileno.html](https://biossmann.com/tela-no-tejida-de-polipropileno.html)

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc

Graw Hill Education.

Capella, F. (2020). *Interempresas*. Obtenido de Termoforma: Procedimiento, maquinaria y

materiales : <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/3765-Termoformado->

[Procedimiento-maquinaria-y-materiales.html](https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/3765-Termoformado-)

Carrion Fite, D. F. (2014). *Materials Pel Disseny De Productes Textils Poliester*. Catalunya:

Universidad Politecnica de Catalunya.

Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y Masa*. McGraw Hill Interamericana.

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Mexico: McGRAW-

HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Mexico:

PRENTICE Hall.

IPAC. (2014). *IPAC*. Obtenido de IPAC: <http://www.ipac-acero.com/>

Mississippi, U. S. (1996). *Polyesters*. Obtenido de <https://www.pslc.ws/spanish/pet.htm>

Morales, R. A., & Candal, M. V. (2006). Diseño y fabricación de un molde de termoformado utilizando herramientas CAD/CAE. *Scielo*.

Morhain, C. (2001). *Microestructura y Propiedades Mecánicas de Compuestos de Polipropileno con Hidroxido de Magnesio y de Aluminio Moldeados por Inyección*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.

Myer , K. (2017). *Applied Plastics Engineering Handbook Processing, Materials, and Applications*. Oxford: Elsevier & Book Aid International.

Ningbo Xinchao Automatization Component CO., L. (2011). *XCPC*. Obtenido de XCPC: <http://www.xcpcpneumatic.com/TDNC-50X100.html>

OMS. (2020). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de Organizacion Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>

Plastigas. (2012). *Manual Técnico Termoformado*. Mexico: Plastigas Mexico S. A.

Tapia, M. I. (2021). El textil no tejido (TNT) funciona mejor que las telas. *Vivir con ciencia*, págs. 1-5.

Anexos