

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE UNA MAQUINA  
TERMOFORMADORA POR VACÍO PARA LAMINAS COMPUESTAS POR PMMA Y  
ATH.

DAVID CAMILO MARTÍNEZ GONZÁLEZ  
ROGER STEVEN TOLOZA LÓPEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2023

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE UNA MAQUINA  
TERMOFORMADORA POR VACÍO PARA LAMINAS COMPUESTAS POR PMMA Y  
ATH.

DAVID CAMILO MARTÍNEZ GONZÁLEZ  
ROGER STEVEN TOLOZA LÓPEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director  
RICARDO ALFONSO JAIMES ROLÓN  
MSC Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2023

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Industrial de Santander por los conocimientos impartidos a lo largo de estos años.

A mi compañero y amigo Roger Steven por su compromiso, entrega y dedicación para con el proyecto.

A mis padres y hermanas por el apoyo y la confianza que me brindaron a lo largo del proceso, por ayudarme a cumplir mis objetivos y motivarme a ser mejor cada día.

**David Martínez**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y mi hermana, especialmente a mi madre Alba Lucia cuyo apoyo y sacrificio constante fueron el mayor impulso en la culminación de este logro.

A mi amigo y compañero de proyecto David Camilo por su respaldo, conocimiento y dedicación puestos en este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander, sus profesores y todo el personal que en conjunto permitieron la culminación de mis estudios, con mención especial al Ingeniero Ricardo Alfonso Jaimes Rolón, director de proyecto.

Un agradecimiento especial a la empresa GAMETAL LTDA a su gerente German García, su administrador Fabian Corzo y toda la planta personal por la confianza, trabajo y conocimientos entregados en el desarrollo de este proyecto.

**Roger Steven Toloza**

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION .....	16
1. OBJETIVOS .....	18
1.1 OBJETIVOS GENERALES .....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
2. INTRODUCCIÓN A LA MATERIA PRIMA.....	20
2.1 LOS TERMOPLÁSTICOS.....	21
2.2 IMPORTANCIA COMERCIAL DE LOS TERMOPLASTICOS.....	23
2.3 CORIAN.....	24
2.4 CORIAN COMERCIALMENTE.....	25
2.5 PROPIEDADES DEL CORIAN.....	25
3. TERMOFORMADO DE LAMINAS PLASTICAS.....	28
3.1. EL TERMOFORMADO .....	28
3.2. ETAPAS DEL PROCESO DE TERMOFORMADO .....	28
3.2.1 CALENTAMIENTO.....	28
3.2.2 MOLDEO.....	29
3.2.3 ENFRIAMIENTO.....	29
3.3 TECNICAS DE TERMOFORMADO.....	29
3.3.1 TERMOFORMADO POR CONTACTO FORZADO.....	30
3.3.1.1 METODO DE MOLDEO POR IGUALACION MACHO-HEMBRA.....	30
3.3.1.2 METODO CON MOLDE DE MACHO COREDIZO.....	31

3.3.2 TERMOFORMADO POR SOPLADO DE AIRE. ....	31
3.3.3 TERMOFORMADO POR ACCION DE VACÍO. ....	32
3.3.3.1 TERMOFORMADO POR ACCION DE VACIO CON MOLDE HEMBRA...32	32
3.3.3.2 TERMOFORMADO POR ACCION DE VACÍO CON MOLDE MACHO.....33	33
3.3.3.3 TERMOFORMADO AL VACÍO CON MOLDE HEMBRA Y MACHO EMBUTIDO. ....	34
3.3.3.4 OTROS METODOS DE TERMOFORMADO AL VACIO. ....	35
4. TERMOFORMADO DE LAMINAS CORIAN.....	37
4.1 HORNEADO. ....	37
4.2 ELECCION DE LAMINA .....	38
4.3 MOLDE. ....	39
4.4 MOLDEO. ....	40
5. ANALISIS DE SELECCIÓN Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO .....	41
5.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD. ....	43
5.1.1 REQUERIMIENTOS DEL CONSUMIDOR. ....	43
5.1.2 ORGANIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	43
5.2 MATRIZ CALIDAD .....	44
5.3. TIPOS DE SUBSISTEMAS .....	46
5.4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS .....	46
5.4.1. Alternativa A .....	46
5.4.2. Alternativa B .....	47
5.4.3. Alternativa C .....	47
5.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	48

5.6. ESPECIFICACIÓN DE ALTERNATIVA GANADORA .....	50
6. CALCULO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS .....	51
6.1 SISTEMA DE CALENTAMIENTO .....	51
6.1.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	51
6.1.2 Propiedades físicas y Térmicas del Corian .....	52
6.1.2.1 Calor específico del Corian .....	52
6.1.3 Potencia eléctrica requerida .....	59
6.2 SISTEMA DE VACÍO .....	69
6.2.1 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO .....	71
6.2.2 CARACTERISTICAS CAMARA DE MOLDEO .....	74
6.3 SISTEMA DE CONTROL Y ELECTRICICO .....	76
6.3.1 SECUENCIA LOGICA DE OPERACIÓN .....	77
6.3.2 ELEMENTOS DE CONTROL DE LA TERMOFORMADORA .....	78
6.3.2.1 CONTROL DE TEMPERATURA .....	78
6.3.2.2 CONTROL DE PRESION .....	79
6.4 INTERFAZ HUMANO-MAQUINA .....	80
6.5 BASTIDOR .....	81
6.6 MOLDE .....	83
7. CALIBRACION Y RESULTADOS .....	84
7.1 CALIBRACION DE LA TERMOFORMADORA .....	85
7.1.1 PRUEBA DEL SISTEMA DE CONTROL .....	85
7.1.2 PRUEBA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO .....	85
7.1.3 PRUEBA DEL SISTEMA DE VACIO .....	86

7.2 PRUEBA DE CICLO COMPLETO CON PROBETA .....	87
7.3 FABRICACION MODELO DE LAVAMOS SEMI-OVALO.....	87
7.3.1 PREPARTACION DEL MATERIAL.....	88
7.3.2 FABRICACION DEL LAVAMANOS .....	89
8. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	91
8.1 INVERSION MONETARIA FABRICACION DE TERMOFORMADORA POR VACIO .....	91
8.2 COTIZACION DE MAQUINA IMPORTADA .....	93
9. CONCLUSIONES.....	95
BIBLIOGRAFIA .....	96
ANEXOS .....	99

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Porcentaje de representación en el mercado de los termoplásticos.....	23
Cuadro 2. Propiedades físicas del Corian .....	26
Cuadro 3. Propiedades mecánicas del Corian .....	27
Cuadro 4. Guía tiempos aproximados de calentamiento.....	38
Cuadro 5. Radios internos máximos permitidos según calibre de lámina. ....	38
Cuadro 6. Matriz Calidad.....	45
Cuadro 7. Principales requerimientos de diseño .....	49
Cuadro 8. Grado de cumplimiento de requerimientos para cada alternativa de diseño .	49
Cuadro 9. Valor promedio de CP .....	59
Cuadro 10. Lista de costos de elementos y consumibles de fabricación .....	92
Cuadro 11. Costos detallados adquisición equipo importado TS-DC-2514.....	94

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Módulo de elongación en función de la temperatura para termoplásticos amorfos y cristalinos.....	22
Figura 2. Lavamanos fabricado en Corian .....	24
Figura 3. Termoformado por igualación Macho-Hembra.....	30
Figura 4. Termoformado por molde macho corredizo .....	31
Figura 5. Termoformado por soplado de aire .....	32
Figura 6. Termoformado por acción de vacío con molde hembra .....	33
Figura 7. Termoformado por acción de vacío con molde macho.....	34
Figura 8. Termoformado por acción de vacío con molde hembra y macho embutido ....	35
Figura 9. Técnica de reborde en lamina Corian .....	39
Figura 10. Inclinación positiva en molde macho.....	40
Figura 11. Lavamanos rectangular tradicional.....	42
Figura 12. Modelo redondo de poceta de fabricación nacional .....	42
Figura 13. Alternativa A-Termoformadora .....	46
Figura 14. Alternativa B-Termoformadora .....	47
Figura 15. Alternativa C-termoformadora .....	48
Figura 16. Probeta de Corian .....	53
Figura 17. Turbina mezcladora.....	54
Figura 18. Toma de peso recipiente poliestireno expandido .....	54
Figura 19. Montaje de termocuplas .....	55
Figura 20. Conexión al detector de temperaturas .....	55
Figura 21. Volumen de control .....	56
Figura 22. Montaje del experimento .....	56
Figura 23. Comportamiento térmico vs tiempo.....	57
Figura 24. Blanace de energias.....	61
Figura 25. Esquema del sistema de calentamiento.....	62

Figura 26. Recubrimiento de resistencias térmicas.....	63
Figura 27. Cajones térmicos inferior y superior .....	69
Figura 28. Esquema del sistema de vacío. ....	70
Figura 29. Bomba de vacío .....	74
Figura 30. Cámara de moldeo.....	74
Figura 31. Cámara de vacío .....	75
Figura 32. Marco con membrana de silicona.....	75
Figura 33. Arduino nano .....	76
Figura 34. Placa PCB.....	77
Figura 35. Termocuplas tipo k para medición de hasta 800°C.....	78
Figura 36. Presostato de control diferencial para baja presión.....	79
Figura 37. Vacuómetro.....	79
Figura 38. Sensores de compuertas .....	80
Figura 39. Tablero de control .....	81
Figura 40. Sistema estructural del bastidor .....	82
Figura 41. Cubiertas metálicas.....	83
Figura 42. Molde tipo macho .....	83
Figura 43. Termoformadora por vacío.....	84
Figura 44. Probetas de Corian para calibración temperatura.....	86
Figura 45. Prueba de termoformado Corian.....	87
Figura 46. Base cortada para fabricación de lavamanos .....	88
Figura 47. Laterales para fabricación de lavamanos.....	89
Figura 48. Etapa de moldeo de laterales de lavámanos .....	89
Figura 49. Lavamanos de contorno ovalado .....	90
Figura 50. Especificaciones y costos estación de termoformado.....	94

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Valores obtenidos experimentalmente para ensayo de calorimetría .....	99
Anexo B. Esquema de montaje circuito panel de control y configuración de circuito para la PCB obtenido por medio del programa PROTEUS .....	101
Anexo C. Cotización estación de termoformado TS-DC-2514 .....	103
Anexo D. Manual de operaciones para Termoformadora por vacío .....	104
Anexo E. Video presentación del prototipo de termoformadora por vacío .....	112
Anexo F. Programación Arduino .....	111
Anexo G. Planos de termoformadora por vacío .....	117

## GLOSARIO

ASTM: Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales

ATH: Trihidróxido de aluminio

CFM: Pies cúbicos por minuto

Cp: Calor específico

K: Constante de conductividad térmica

Lbs: Libra (Unidad de masa)

Seg: Segundos

PMMA: Polimetilmetacrilato

PS: Poliestireno

Psi: Libra de fuerza por pulgada cuadrada (Unidad de medida para presión)

Tg: Temperatura de transición vítrea

Tf: Temperatura de fusión

°C: Grados centígrados

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE UNA MAQUINA TERMOFORMADORA POR VACÍO PARA LAMINAS COMPUESTAS POR PMMA Y ATH.

**AUTORES:** DAVID CAMILO MARTINEZ GONZALEZ, ROGER STEVEN TOLOZA LOPEZ

**PALABRAS CLAVE:** Termoformadora, Corian, Moldeo, Termoformado

### DESCRIPCIÓN:

Las láminas compuestas por PMMA y ATH son utilizadas como material arquitectónico bajo las marcas comerciales Corian y Krion, sus características lo ubican como principal sustituto a la roca natural y la madera, dentro de sus propiedades se encuentra el comportamiento termoplástico permitiendo una versatilidad superior a materiales de construcción convencionales. Aprovechar el potencial estético de estas superficies solidas requiere una técnica de moldeo bajo condiciones estables de temperatura y presión haciendo necesaria la implementación de maquinaria especializada. El objetivo de este proyecto fue diseñar y construir un prototipo de maquina termoformadora funcional que permita elaborar piezas comerciales sin superficies rectas. Para lograrlo se investigó la técnica actual de procesamiento del Corian y Krion empleada en la industria arquitectónica Santandereana y la necesidad de las empresas que suplen el mercado local por la adquisición de una máquina que cumpla los requerimientos estético-funcionales del cliente final. Los parámetros de procesamiento obtenidos del fabricante de superficies solidas Dupont Corian establecen los rangos de temperatura de trabajo, tiempo de horneado y tiempos de enfriamiento. Establecidos los sistemas que componen la maquina se diseña una estructura única capaz de contener el total de las funciones operativas sin interferencia entre los diferentes procesos de termoformado. Se elabora el manual operativo y de puesta en marcha. Por último, se realiza el análisis comparativo entre costos de elaboración del prototipo y la adquisición del equipo por importación.

---

\*Tesis de grado

\*\*Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.  
Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón. MSC Ingeniero Mecánico UIS

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FUNCTIONAL PROTOTYPE OF A VACUUM THERMOFORMING MACHINE FOR SHEETS COMPOSED OF PMMA AND ATH.

**AUTHORS:** DAVID CAMILO MARTINEZ GONZALEZ, ROGER STEVEN TOLOZA LOPEZ

**KEY WORDS:** Thermoforming machine, Corian, Molding, Thermoforming

### DESCRIPTION:

The sheets composed of PMMA and ATH are used as architectural material under the trademarks Corian and Krion, its characteristics place it as a main substitute for natural rock and wood, within its properties is the thermoplastic behavior allowing a versatility superior to conventional construction materials. To take advantage of the aesthetic potential of these solid surfaces requires a molding technique under stable temperature and pressure conditions making the implementation of specialized machinery necessary. The objective of this project was to design and build a prototype of a functional thermoforming machine that can produce commercial parts without straight surfaces. To achieve this, we investigated the current processing technique of Corian and Krion used in the architectural Santanderean industry and the need for companies that supply the local market by acquiring a machine that meets the requirements and aesthetic needed by the customer. Processing parameters obtained from solid surface manufacturer Dupont Corian establish ranges of working temperature, baking time and cooling times. Once the systems that make up the machine are established, a unique structure is designed to be capable of containing the total of operational functions without interference between the different thermoforming processes. The operational and commissioning manual is developed. Finally, a comparative analysis is made between prototype development costs and the purchase of equipment by import.

---

\*Thesis

\*\*Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.  
Director: Ricardo Alfonso Jaimes Rolón. MSC Ingeniero Mecánico UIS

## INTRODUCCION

La industria Santandereana tradicionalmente se compone por tres principales sectores, hidrocarburos, agrícola y el manufacturero; sumado a estos el sector construcción en el departamento viene mostrando un crecimiento económico desde su reactivación en 2020 luego de estar estancado por la pandemia. En el año 2021 según la Cámara de comercio de Bucaramanga<sup>1</sup> solo en la ciudad las ventas de vivienda incrementaron un 70% respecto al año anterior, uno de los principales factores de este crecimiento es la significativa inversión social por parte del estado en programas de vivienda, impulsado por la necesidad social de hogar y un crecimiento poblacional en las principales capitales del país.

La ciudad de Bucaramanga es una de las capitales más importantes del Nororiente Colombiano además de la principal ciudad universitaria de la región; el tránsito de profesionales jóvenes es característico en su área metropolitana, respondiendo a esta nueva tendencia poblacional la ciudad ha venido sufriendo en los últimos cinco años una modernización de sus espacios viales, públicos y edificios de vivienda; un ejemplo destacable en la ciudad es la modernización del campus principal de la Universidad Industrial de Santander allí se integra un trabajo arquitectónico que exige la utilización de técnicas que requieren el uso de materiales de ingeniería en complemento y sustitución de los tradicionales.

Dentro de los materiales de ingeniería empleados en la arquitectura se destacan aquellos que pueden reemplazar la cerámica, roca natural y la madera; los nuevos materiales termoplásticos o superficies solidas conocidos en el mercado como rocas sinterizadas brindan propiedades inexistentes en materiales tradicionales. El Corian material de

---

<sup>1</sup> CAMARA DE COMERCIO DE BUCARAMANGA. 2021 Balance de la construcción en Santander. Bucaramanga: 2021. p 9

construcción moderno desarrollado por Dupont se obtiene de la mezcla del jarabe de Polimetilmetacrilato (PMMA) y polvos de Trihidrato de aluminio (ATH); este termoplástico brinda propiedades destacables como lo menciona su propio fabricante, “Las superficies sólidas DuPont Corian pueden ser lo que usted imagine que puede ser”<sup>2</sup>, lo cual es perfecto para los requerimientos estético-funcionales de la industria.

La demanda del Corian como materia prima de construcción se ve frenada en la ciudad de Bucaramanga debido a la deficiencia de las empresas locales a nivel de procesamiento; ser termoformado una de la principal característica del material esta ventaja no se emplea y se reduce a comportarse como una superficie recta no diferente a la cerámica o mármol sinterizado de bajo costo; debido a la falta de maquinaria especializada no se permita el correcto control de los procesos de cocción y moldeo limitando su versatilidad arquitectónica. Las técnicas tradicionales y manuales en el procesamiento del material ampliamente utilizadas en la ciudad pueden incurrir en daño estético y estructural acarreando costos extra para las empresas.

Los empresarios que visualizan la necesidad de la adquisición de equipos para el correcto termoformado se ven frenados por la falta de componentes disponibles en el mercado nacional y los altos costos de importación. La necesidad de la construcción del prototipo funcional de una maquina termoformadora para materiales de ingeniería se recoge de la industria local que debe recurrir al limitado mercado nacional tercerizando la fabricación de geometrías curvas de otras ciudades principales de Colombia; esta tercerización limita la capacidad de elección del cliente final, así como costos en los proyectos de construcción.

---

<sup>2</sup> DUPONT. Superficie Sólida Corian Haga Visiones Creativas Reales. Lugar de publicación: California - Los Angeles - Edgecast Inc. [Consultado: 28 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://www.corian.es/-home->.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVOS GENERALES**

Contribuir al cumplimiento de la misión de la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, en la aplicación de conocimientos y tecnologías para la industria de la construcción y la decoración en Colombia, con el diseño y creación de un prototipo funcional de una maquina termoformadora por vacío de láminas compuestas por PMMA y ATH de uso industrial y hogar, aplicado a las empresas de este sector en el área metropolitana de Bucaramanga, Santander

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y construir un prototipo funcional de una maquina termoformadora por vacío, que garantice la eliminación de procesos manuales en las etapas de calentamiento y moldeo para el termoconformado de láminas compuestas por PMMA y ATH de calibre  $\frac{1}{2}$ " (12mm), con capacidad de fabricar la geometría principal y sin agujeros de un lavamanos tipo ovalo de medidas: 40cm de eje mayor, 33cm de eje menor y profundidad útil de 12cm; el prototipo contendrá los siguientes subsistemas para su funcionamiento:
  - Bastidor, estructura metálica capaz de integrar los procesos de calentamiento y prensado en una única configuración.
  - Sistema térmico, calentamiento por conducción de plancha caliente realizado por resistencia eléctrica.
  - Sistema de vacío, prensado por membrana con extracción de aire por bomba de vacío.
  - Sistema eléctrico, diseño de circuito eléctrico que permita alimentar los componentes a 120 voltios.

- Interfaz humano-máquina, coordinación y control de los procesos con el diseño y programación de un código ejecutable en microcontrolador.
- Determinar los parámetros del proceso de calentamiento, estableciendo tiempos mínimos y máximos de horneado, por medio de pruebas al material que permita calibrar los sistemas para funcionamiento dentro del siguiente rango de temperatura: por encima de transición vítrea y por debajo de punto de fusión; para garantizar la calidad del producto.
- Crear un manual de operaciones, cuya principal función será determinar todas las etapas en el proceso de termoconformado de las láminas, el orden lógico de las etapas, la correcta calibración de los parámetros, establecer el correcto uso del prototipo, la correcta alimentación del material a la máquina y el transporte de este en las diferentes etapas, por último, determinar limitaciones y precauciones.
- Realizar un análisis comparativo del costo del desarrollo del equipo funcional en contraste con los costos de las maquinas comerciales.

## 2. INTRODUCCIÓN A LA MATERIA PRIMA

Los materiales de ingeniería se clasifican en tres tipos principales: metales, cerámicos y polímeros, siendo los polímeros los más antiguos en cuanto a descubrimiento, pero los más recientes en cuanto a aplicaciones de Ingeniería moderna; actualmente a excepción del Hule, la mayoría de los polímeros usados en ingeniería son sintéticos. Los polímeros son cadenas conformadas por macromoléculas que a su vez se componen de monómeros, el comportamiento de estos elementos puede variar según su composición. Los polímeros pueden dividirse en dos categorías plásticos y hules, los plásticos se subdividen en Termoplásticos y Termoestables.

Actualmente el uso de los polímeros es superior en volumen comercial a los metales, su importancia comercial se debe a las siguientes ventajas:

- La facilidad a la hora de modelar geometrías intrincadas.
- Poseen propiedades en las cuales la resistencia no es un factor determinante en ingeniería como, mayor resistencia a la corrosión, baja conductividad térmica, baja conductividad eléctrica, algunos polímeros poseen buena relación resistencia- peso y una densidad inferior a la de cerámicos y metales.
- Volumétricamente los polímeros son menos costosos que los metales
- Requieren menos energía a la hora de procesarlos respecto a los metales en términos de volumen, debido a que las temperaturas de trabajo de los primeros son mucho más bajas.
- En presentaciones traslucidas algunos plásticos resultan competitivos por sobre el vidrio gracias a una mayor resistencia a impactos.

En contraste los polímeros poseen algunas limitaciones:

- Menor resistencia en comparación a metales y cerámicos.
- Un módulo de elasticidad bajo.

- Limitadas temperaturas de trabajo debido al ablandamiento o degradación de estos.
- Degradación de algunos polímeros al ser expuestos a la luz de sol recurrente u otras formas de radiación.

## **2.1 LOS TERMOPLÁSTICOS.**

Estos son materiales cuyas cadenas moleculares no son rígidas, son sólidos a temperatura ambiente y al elevar su temperatura unos cientos de grados toman una forma maleable lo que permite conformarlos aplicando una cantidad de presión, los termoplásticos pueden someterse a varios ciclos de procesamiento sin que sus propiedades se vean afectadas significativamente.

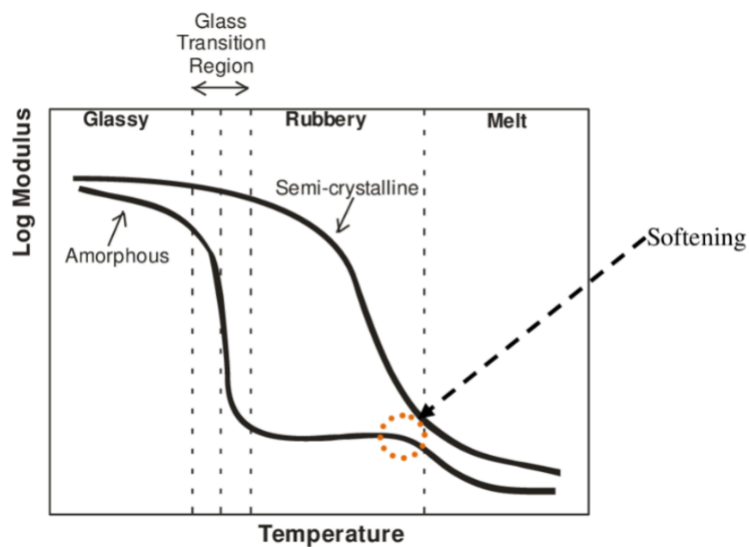
La característica más significativa de los polímeros termoplásticos es su capacidad de pasar de un estado sólido hasta a líquido viscoso por medio de calentamiento y adoptar un estado sólido al enfriarse, esto sin que el material se degrade drásticamente. Sin embargo, los termoplásticos sufren un deterioro químico lento al someterse a varios ciclos de calentamiento y enfriamiento a este proceso se le llama envejecimiento térmico, algunos materiales son más susceptibles a esta degradación y también depende de la temperatura a la que sean expuestos. Las propiedades mecánicas de los polímeros termoplásticos a temperatura ambiente son:

- En comparación a los metales y los cerámicos poseen un módulo de elasticidad hasta 3 veces más bajo.
- La resistencia a tensión es más baja, diez por ciento menos que en los metales.
- Baja Dureza.
- Ductilidad más alta, teniendo un rango de valores entre el uno por ciento para el poliestireno, hasta 500 por ciento o más para el propileno.

En los termoplásticos sus propiedades mecánicas dependen de la temperatura a la que estén expuestos, Para analizar esta relación se subdividen según su estructura, en amorfas y cristalinas. Los termoplásticos amorfos son rígidos y vítreos por debajo de la temperatura de transición vítrea y maleables por arriba de esta, conforme aumenta su temperatura pasan a ser un fluido más viscoso. Los materiales termoplásticos teóricos con cien por ciento de cristalinidad poseen un punto de fusión en el cual el material pasa de un estado sólido a liquido sin mostrar un estado de transición vítrea; para los polímeros reales con un porcentaje menor al cien por ciento de cristalinidad la curva de comportamiento está determinada por la proporción entre las dos fases, es decir que debajo de la temperatura de transición vítrea se muestran sólidos y con resistencia a la deformación y sobre pasada este temperatura la parte amorfa comienza a volverse viscosa y fluida mientras que la parte cristalina permanece intacta.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento del módulo de Elongación en factor del aumento de temperatura para los tipos de termoplásticos amorfos y cristalinos.

Figura 1. Módulo de elongación en función de la temperatura para termoplásticos amorfos y cristalinos



Fuente: VAN DEN BERG, Lisa. Development of 2nd Generation Proteinous Bioplastics. Hamilton: The University of Waikato (2009). 134 p

## 2.2 IMPORTANCIA COMERCIAL DE LOS TERMOPLASTICOS.

Comercialmente los termoplásticos son los polímeros más importantes abarcando el 70% de los polímeros sintéticos producidos.

Entre los termoplásticos comerciales se encuentran componentes moldeados y extruidos, películas y laminas, materiales granulados, fibras, pinturas y lacas; en el Cuadro 1 se muestran algunos de los termoplásticos más importantes con su respectiva presencia en el mercado de los plásticos a nivel mundial.

Cuadro 1. Porcentaje de representación en el mercado de los termoplásticos

<b>Símbolo</b>	<b>Polímero</b>	<b>% en el mercado</b>
POM	Acetales (Polioximetileno)	Menos del 1%
PMMA	Acrílicos (Polimetilmetacrilato)	Cerca del 1 %
ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno	Cerca del 3%
CA	Celulósicos (Acetato de celulosa)	Menos del 1%
PTFE	Fluoropolimeros (Politetrafluoroetileno)	Menos del 1%
PA-6,6	Poliamidas (Nylon 6,6)	1%
PC	Policarbonato	Menos del 1%
PET (TPE)	Poliésteres (Tereftalato de polietileno)	Cerca del 2%
LDPE, HDPE	Polietileno	35 %
PP	Polipropileno	13%
PS	Poliestireno	Cerca del 10%
PVC	Cloruro de polivinilo ( )	16%

Fuente: Elaboración propia. con base en: GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. México: Pearson Educación, 1997, 1062 p. ISBN: 9688808466, 9789688808467

### 2.3 CORIAN.

Definido por su fabricante DuPont, es una superficie sólida que se puede utilizar como material arquitectónico en una gran variedad de aplicaciones residenciales y comerciales. Tiene una excelente reputación y un uso extenso como material para encimeras de cocina, lavamanos, encimeras y paredes de baño, fregaderos de cocina, lavamanos, encimeras y revestimientos de laboratorio; se puede encontrar presente en todo tipo de sectores como hotelería, clínico, bancario, renovaciones arquitectónicas u obras de arte.

Figura 2. Lavamanos fabricado en Corian



Fuente: TTS SURFACES. DESCRIPCION DEL PRODUCTO DUPONT CORIAN. Lugar de publicación: United States - California - San José - Cloudflare Inc. 21 de agosto de 2020. [Consultado: 12 de septiembre de 2023]. Disponible en <https://thermotools.com.co/descripcion-del-producto-dupont-corian/>.

Corian es un material termoplástico homogéneo y compacto sin poros, compuesto por un tercio de resina acrílica PMMA (Polimetilmetacrilato) y dos tercios de materiales naturales ATH (Trihidrato de Aluminio). Fue llevado al mercado en 1967 como alternativa a los

materiales convencionales usados en arquitectura, desde su lanzamiento ha mostrado resistencia al desgaste, así como a la mayoría de los golpes, puede ser un material translucido o tener colores sólidos, incluso puede emular visualmente materiales como la madera y los cerámicos, su mayor atributo es que gracias a sus propiedades termoplásticas puede moldearse en geometrías intrincadas que dejan como limitante solo a la imaginación.

## **2.4 CORIAN COMERCIALMENTE.**

La amplia paleta de colores ofrecida por DuPont hace de Corian un termoplástico con un extenso mercado de posibilidades, además de procesos como el termoformado, las planchas de DuPont pueden manufacturarse con herramientas de carpintería. El fabricante también ofrece varias opciones de grosor, comercialmente encontramos las siguientes opciones:

- Para planchas de 12 mm de grosor por 760 mm de alto y 3658 mm de largo Dupont ofrece toda la paleta de colores estándar.
- Para medidas de 930 mm de altura y 1300 mm de largo con grosores de 4 mm, 6 mm y 19 mm solo están disponibles algunos colores.

## **2.5 PROPIEDADES DEL CORIAN.**

Siendo un material termoplástico Corian puede termoformarse en moldes metálicos o de madera a una temperatura controlada, creando objetos de diseño planos o tridimensionales, incluso se pueden crear efectos de repujado. Las superficies Corian se pueden resanar fácilmente, es decir, muchos de los daños como quemaduras y rayaduras se pueden eliminar fácilmente con un material abrasivo suave o esponjas rígidas, sin tener que reemplazar totalmente el material. El comportamiento de las láminas del material varía según su grosor, estética y acabado, estas poseen una gran resistencia y

durabilidad; conserva un color homogéneo en todo su espesor y no tiende al deterioro o cambio.

La superficie sólida Corian ofrecen superficies lisas y uniones imperceptibles. Una limpieza adecuada no permitirá el desarrollo de microorganismos. Las láminas no son tóxicas ni alergénicas para las personas. Al quemarse, emite un humo claro y gases halógenos tóxicos, el principal producto de desecho por incineración es el dióxido de carbono. Estas propiedades permiten el uso de Corian en zonas públicas de alto tránsito como aeropuertos o zonas delicadas como paredes y recibidores en hospitales y hoteles.

La traslucidez de las planchas Corian permite que muchos diseñadores las usen para iluminar distintos recintos ya sea con lámparas o luminarias esta propiedad es notable para presentaciones de colores claros y planchas delgadas. El material permite la sublimación e impresión directa median la cual se pueden hacer incrustaciones y logotipos en el material.

En la Cuadro 2 mostramos algunas de las principales propiedades físicas del material

Cuadro 2. Propiedades físicas del Corian

<b>Propiedad</b>	<b>Test</b>	<b>Resultados</b>
Densidad	ASTM D792	1.7 g/cm <sup>3</sup>
Peso aproximado por ft cuadrado 6 mm (1/4")		2.2 lbs.
Peso aproximado por ft cuadrado 12 mm (1/2")		4.4 lbs.
Dureza escala Rockwell	ASTM D785	>85
Dureza Impresor Barcol	ASTM D2583	56
Conductividad Térmica		1 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>

Fuente: Elaboración propia, con base en DUPONT CORIAN. Boletín técnico Propiedades de rendimiento de DuPont Corian, 2015. p. 1

En la Cuadro 3 se muestran las principales propiedades mecánicas de las láminas Corian.

Cuadro 3. Propiedades mecánicas del Corian

<b>Propiedad</b>	<b>Test</b>	<b>Resultados</b>
Módulo de Flexión	ASTM D792	$1.2 \times 10^6$ psi
Módulo de Resistencia		2.2 lbs.
Módulo de Tracción	ASTM D638	4.4 lbs.
Resistencia a la Tracción		>85
Resistencia a la Elongación		56
Resistencia a la Compresión	ASTM C365	$1 \text{ W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

Fuente: Elaboración propia, con base en DUPONT CORIAN. Boletín técnico Propiedades de rendimiento de DuPont Corian

### **3. TERMOFORMADO DE LAMINAS PLASTICAS**

#### **3.1. EL TERMOFORMADO**

El calentamiento de un material termoplástico laminado a temperaturas de deformación que permitan su cambio de forma bajo acción mecánica externa para la obtención de piezas útiles es conocido como proceso de termoformado; este proceso en un principio simple se realiza en un estrecho margen de temperatura, siendo esta superior a la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) e inferior a la temperatura de fusión ( $T_f$ ) del material. El cambio de forma o moldeo de la lámina se realiza por la acción directa de moldes, presiones de aire o vacío y fuerza mecánica. La pieza moldeada según requerimiento puede o no necesitar un procesamiento extra como cortes de rebabas, pinturas o acabados superficiales.

Las ventajas del termoformado son, la obtención de piezas de alta precisión en geometrías de gran o pequeño tamaño, la producción de grandes cantidades, fabricación de piezas ligeras con alta resistencia, el empleo del mismo equipo para la fabricación de piezas en diferentes materiales y la poca o nula necesidad del empleo de máquinas herramienta y equipo pesado.

#### **3.2. ETAPAS DEL PROCESO DE TERMOFORMADO**

El proceso consiste en un ciclo de tres etapas, dejando de lado las acciones que involucran maquinas herramientas externas, acabados superficiales y acción de aditivos o pegantes; se contemplan las etapas de Calentamiento, Moldeo y Enfriamiento.

**3.2.1 CALENTAMIENTO.** El calentamiento consiste en la elevación de la temperatura del material a rangos óptimos de moldeo, en esta etapa se debe controlar además el tiempo de aplicación de la temperatura. Cada termoplástico contempla una temperatura de calentamiento precisa, la cual no solo es superior a su temperatura de transición vítrea e

inferior a la temperatura de fusión; se debe garantizar que la temperatura fijada conserva la integridad física y estructural de la lámina termoformable. El tiempo de calentamiento se fija en alcanzar la uniformidad térmica de la lámina, ahorrando gastos de energía innecesarios; el método de calentamiento influirá directamente en el tiempo y gasto energético de esta etapa, los métodos empleados comúnmente son, radiación infrarroja ideal para materiales de espesor bajo; convección mediante uso de gas o resistencia eléctrica con corriente de aire forzado garantizando una mayor uniformidad del proceso y conducción en plancha caliente por una o dos caras, ideal para el ahorro energético en grandes espesores de lámina.

**3.2.2 MOLDEO.** Según la técnica de termoformado seleccionada esta etapa puede consistir en uno o dos pasos; idealmente el proceso consta de un paso en el cual la lámina previamente calentada toma su forma final, la acción de moldeo se lleva a cabo empleando moldes de única o varias piezas, tradicionalmente metálico, de madera o silicona; el moldeo se produce en la cámara de moldeo, su acción suele ser rápida evitando disminución de temperatura en la lámina, la fuerza ejercida es uniforme y mantenida.

**3.2.3 ENFRIAMIENTO.** La pieza ya formada permanece bajo presión en la cámara de moldeo el tiempo necesario para tomar la geometría final, este tiempo de enfriamiento determina cuando es posible manipular la pieza sin perder la forma adquirida; el tiempo de enfriamiento depende de las propiedades del material y el calibre de lámina, esta etapa va desde un segundo por milímetro de material a tres minutos por milímetro de material.

### **3.3 TECNICAS DE TERMOFORMADO**

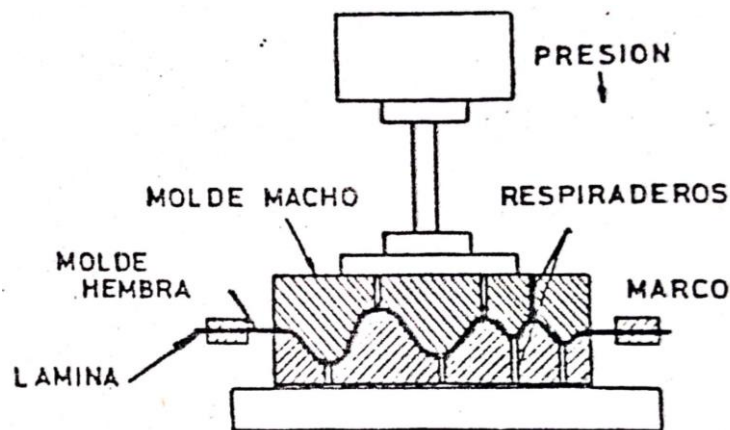
El termoformado es empleado principalmente en la fabricación de envases, empaques y revestimientos<sup>3</sup>, pero la elaboración de elementos y piezas por este método de fabricación está presente en la industria automotriz, electrodomésticos y electrónica, arquitectónica, cuidado dental, producción de prototipos, iluminación entre otros.

Abarcando más de un 80% del mercado mundial del plástico, el termoformado está adaptado a tres técnicas principales de acción, el termoformado por contacto forzado, termoformado por soplado de aire, termoformado por vacío.

**3.3.1 TERMOFORMADO POR CONTACTO FORZADO.** Esta técnica emplea métodos de moldeo por acción directa de una fuerza, el molde y el material son sometidos a prensado sin involucrar aire o vacío en contacto directo con el material laminado.

**3.3.1.1 METODO DE MOLDEO POR IGUALACION MACHO-HEMBRA.** Es el más costoso de los métodos de moldeo en el termoformado, involucra el uso de matrices emparejadas por macho y hembra que son fabricadas de acero o aluminio, la acción de moldeo se da por un atrapamiento a la lámina de material previamente ablandada entre los moldes según muestra la Figura 3. La fuerza es ejercida por acción de una prensa hidráulica o neumática. Este método garantiza la fabricación de piezas con geometrías complejas o intrincadas; al finalizar el moldeo es necesario recortar el material de rebaba sobrante ya sea por medio de cizalla o pulido.

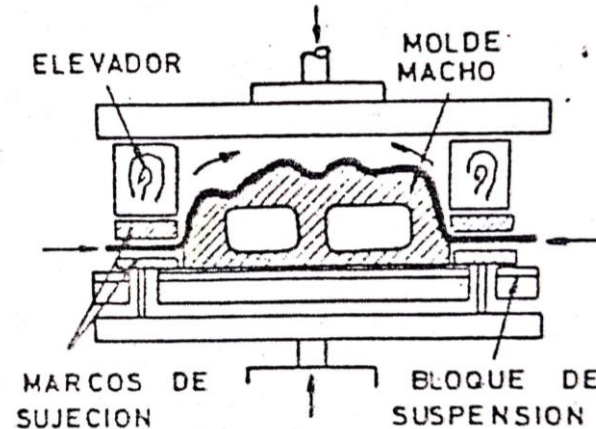
Figura 3. Termoformado por igualación Macho-Hembra



Fuente: ROJAS GARCÍA, Hernán. Plásticos (materiales y procesos). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1993

**3.3.1.2 METODO CON MOLDE DE MACHO COREDIZO.** La lamina previamente calentada es sujeta para mantenerse en su sitio, posteriormente el macho es forzado por medio de acción directa de una prensa hacia la lámina la cual sufre un estiramiento tomando la forma del molde como muestra la Figura 4. Esta técnica no garantiza la fabricación de piezas con geometrías de gran detalle, el molde se caracteriza por no poseer orificios para liberación de aire estancado. Producto de la sujeción se emplea más material del que corresponde a la pieza final, es necesaria la remoción de rebabas y material sobrante posterior al moldeo.

Figura 4. Termoformado por molde macho corredizo

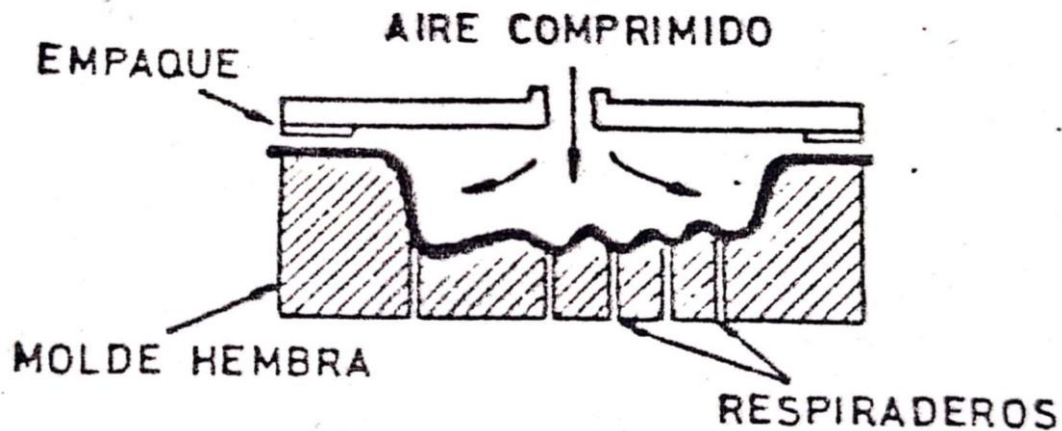


Fuente: ROJAS GARCÍA, Hernán. Plásticos: materiales y procesos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander DTO de ingeniería mecánica, 1993. 150 pg

**3.3.2 TERMOFORMADO POR SOPLADO DE AIRE.** Es un método con resultados óptimos en la fabricación de piezas con alto detalle superficial y geometrías complejas; en este se involucra aire comprimido que ejerce fuerza sobre la lámina previamente calentada empujándola contra un molde hembra Figura 5, el molde debe poseer respiraderos que permitan la evacuación de aire estancado entre la pieza y el molde; la presión del aire se determina según el proceso y el nivel de detalle requerido. El uso de empaques y un entorno hermético garantizan el correcto uso de la fuerza de presión

sobre la lámina, la correcta lubricación evita daños superficiales en la separación de la pieza del molde.

Figura 5. Termoformado por soplado de aire



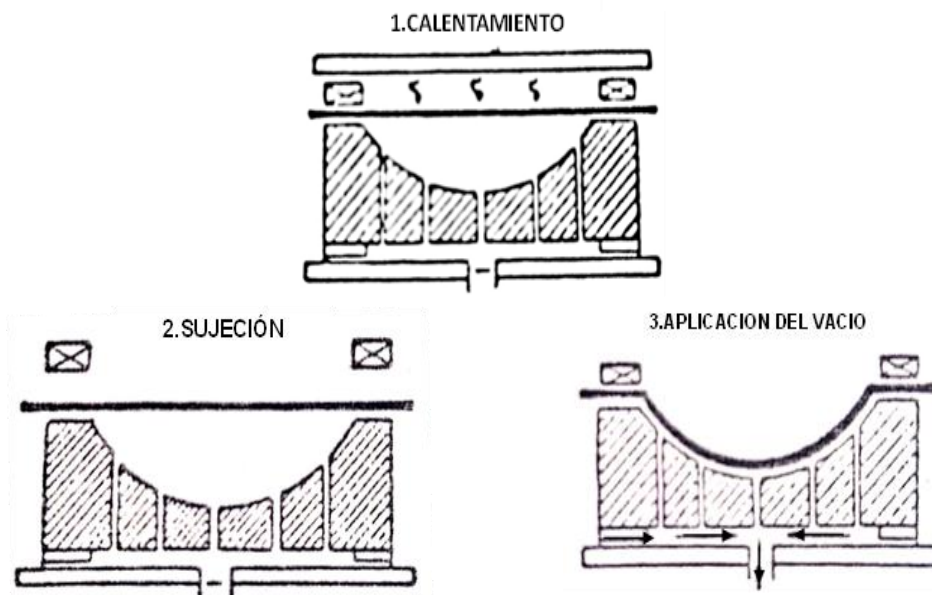
Fuente: ROJAS GARCÍA, Hernán. Plásticos (materiales y procesos). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1993

**3.3.3 TERMOFORMADO POR ACCION DE VACÍO.** La formación de piezas por acción directa de vacío es la técnica de termoformado con más métodos disponibles, también la más aplicada a nivel industrial predominando en la producción de empaques plásticos de alimentos; la utilización de uno u otro método del termoformado por acción de vacío depende de factores como, el grosor de material laminado, profundidad de la pieza deseada, tamaño de pieza y calidad de detalles superficiales ya sean grabados o esquinas redondeadas.

**3.3.3.1 TERMOFORMADO POR ACCION DE VACIO CON MOLDE HEMBRA.** Los moldes tipo hembra en el termoformado por vacío permiten el excelente copiado de detalles finos y texturas superficiales en las piezas producidas; este método está limitado a elementos no profundos, siendo propenso a producirse adelgazamiento excesivo en los fondos ya que allí el material se encuentra sometido a mayor estiramiento; junto con el uso de moldes macho son los dos métodos de moldeo por vacío de más fácil aplicación,

en ambos casos el molde debe disponer de agujeros o respiraderos que permitan la succión del aire a través de su cuerpo. El conformado con molde hembra puede llevarse a cabo por medio de marco de sujeción o cámara de vacío por membrana, el proceso inicia con la etapa de sujeción del material laminado, asegurada la lámina al marco se procede al calentamiento controlado del plástico, se retira el sistema de calentamiento y el marco es fijado al sistema de moldeo, se debe garantizar un sello hermético para dar paso a la aplicación de vacío, una vez que se enfrié el material este es retirado para corte de sobrantes. El proceso se realiza según muestra la Figura 6.

Figura 6. Termoformado por acción de vacío con molde hembra

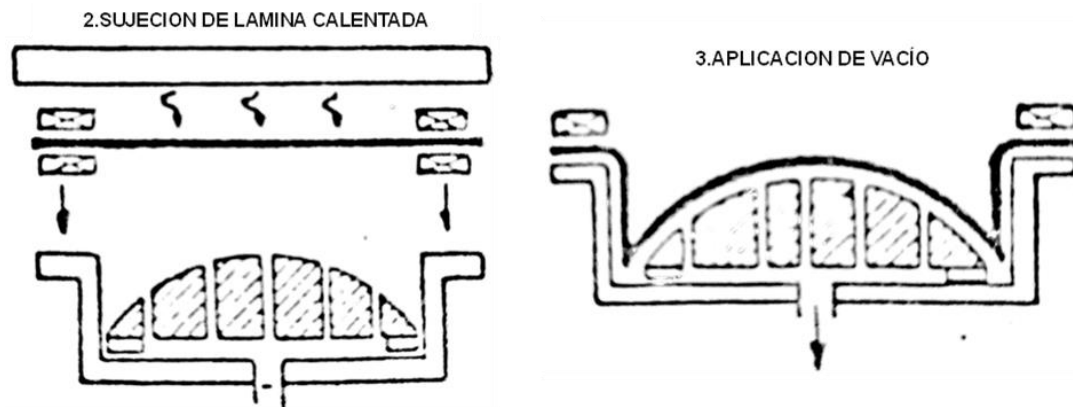


Fuente: ROJAS GARCÍA, Hernán. Plásticos (materiales y procesos). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1993

**3.3.3.2 TERMOFORMADO POR ACCION DE VACÍO CON MOLDE MACHO.** Las piezas producidas por este método cuentan con una sección superior más gruesa y adelgazamiento excesivo en las zonas de mayor embutido del molde. Los pasos de termoformado son idénticos al moldeo por acción de vacío con molde hembra, aunque en este caso el trabajo se realiza empleando un molde tipo macho; en la Figura 7 se representan las fases de sujeción posterior al calentamiento y aplicación de vacío con

molde macho. Las piezas producidas por este método son propensas a imperfectos geométricos y superficiales si no se controla la temperatura superficial del molde, produciendo rigidez prematura en las secciones superiores del material laminado.

Figura 7. Termoformado por acción de vacío con molde macho

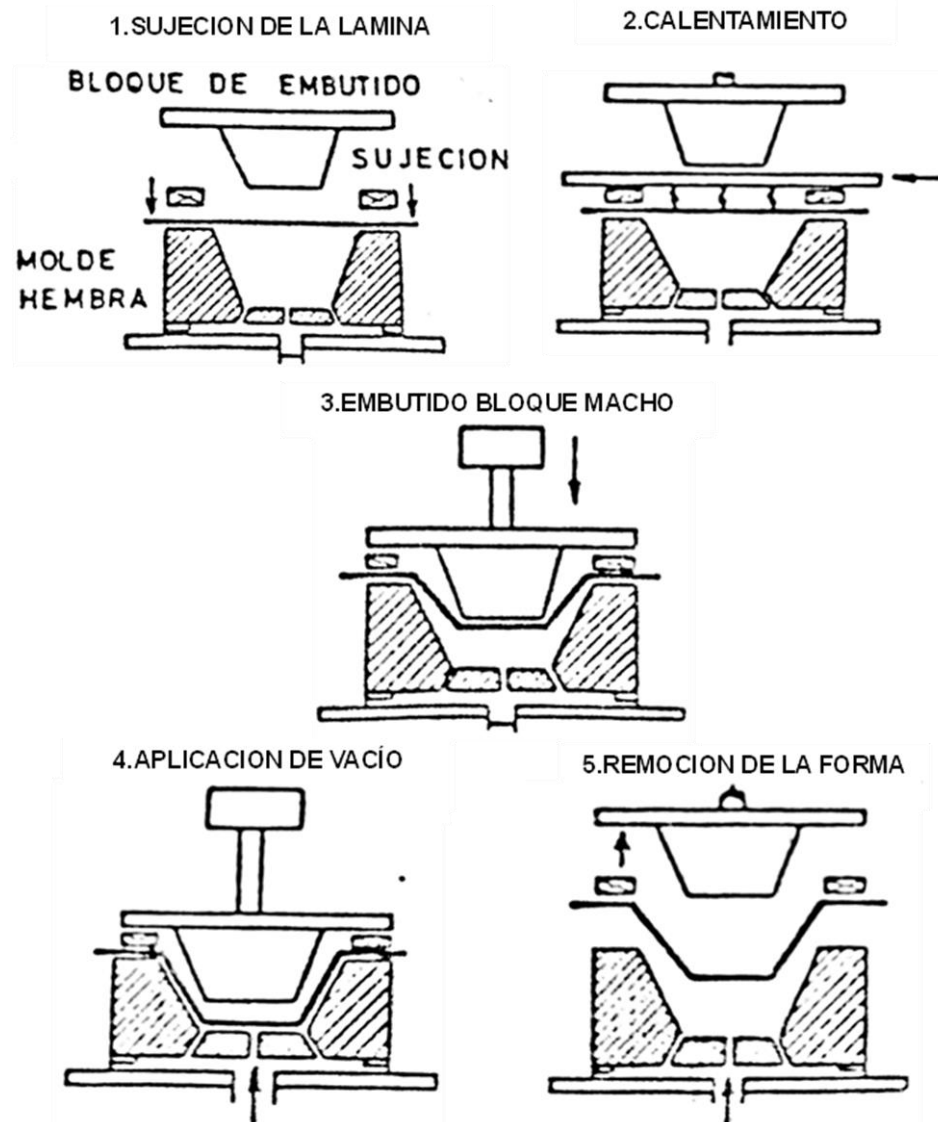


Fuente: ROJAS GARCÍA, Hernán. Plásticos (materiales y procesos). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1993

### 3.3.3.3 TERMOFORMADO AL VACÍO CON MOLDE HEMBRA Y MACHO EMBUTIDO.

Los métodos de conformado utilizando moldes hembra y macho generan adelgazamiento en las piezas termoformadas y limitaciones para la fabricación de elementos hondos; resolver estos adelgazamientos y limitación de profundidad requiere más de un elemento en la acción de moldeo. El uso de un macho embutido y molde hembra resulta óptimo para la fabricación de piezas profundas con grosores de pared uniformes; el bloque macho de embutido debe calentarse evitando el cambio brusco de temperatura en la lámina de material antes de la aplicación de vacío. El proceso completo requiere la siguiente secuencia, sujeción del material al marco del molde hembra, la aplicación de vacío, embutido del bloque macho o preforma del material, aplicación de vacío, enfriamiento y remoción de la pieza, la secuencia se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Termoformado por acción de vacío con molde hembra y macho embutido



Fuente: ROJAS GARCÍA, Hernán. Plásticos (materiales y procesos). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 1993

**3.3.3.4 OTROS METODOS DE TERMOFORMADO AL VACIO.** Los métodos de moldeo por acción de vacío antes descritos abarcan la mayor parte de procesos de termoformado presentes en la industria, pero existen piezas cuya geometría o característica del material requiere métodos de moldeo orientados en evitar errores puntuales. Estos métodos son:

- **Termoformado al vacío con molde macho revestido.** Este método cuyo proceso es muy similar al termoformado al vacío con molde hembra y macho embutido. Es utilizado en la fabricación de elementos profundos; el proceso utiliza únicamente un molde macho en lugar del molde hembra, y sin emplear ningún otro elemento rígido para la acción de moldeo; en este caso el marco de sujeción es móvil y permite el embutido contra el molde macho, seguido de la aplicación de vacío, enfriamiento y remoción del elemento moldeado.
- **Termoformado al vacío con atrapamiento de aire.** Basado en el método de molde con macho revestido, este proceso se utiliza cuando el elemento moldeado tendrá mucha profundidad y se debe garantizarse un espesor de pared con pocas variaciones, como el moldeo de elementos con espesores de pared muy reducidos que puedan sufrir rotura o no cumplan su propósito final si hay zonas de adelgazamiento. La única diferencia al moldeo con macho revestido la da una adaptación en el marco de sujeción creando una burbuja de aire al momento de sellar la lámina, esta burbuja desaparece al aplicarse la acción de vacío.
- **Termoformado al vacío con macho forzado.** Los métodos descritos hasta ahora funcionan de forma óptima en materiales termoplásticos rígidos, pero se producen imperfectos cuando el material laminado plástico tiene cualidades elásticas como polímeros ABS y algunos acrílicos<sup>3</sup>

## **4. TERMOFORMADO DE LAMINAS CORIAN**

El termoformado de láminas Corian requiere condiciones de temperatura y presión óptimas según lo expone su fabricante Dupont. A continuación, se enumeran los pasos para la aplicación de la técnica para moldeado por membrana de vacío:

- 1) Elección del tipo de horno y calibración de parámetros tiempo y temperatura.
- 2) Calentamiento de la lámina.
- 3) Extracción de la lámina y colocación sobre el molde previamente preparado.
- 4) Fijación de elementos extra, como bloques de moldeo auxiliar.
- 5) Aplicación de vacío y atrapamiento del material contra el molde por medio de membrana.
- 6) Enfriamiento del modelo sin liberación de la presión de vacío.
- 7) Liberación de vacío y enfriamiento final del material.

### **4.1 HORNEADO.**

Para el precalentamiento del material se necesita de un horno, elementos de control de temperatura y temporizador. El horno se debe calibrar entre los 135°C y 205°C, temperaturas menores producirán un blanqueamiento y rigidez de la lámina, temperaturas mayores producirán burbujas sobre la superficie, así como un tono amarillento y opaco.

Los tiempos de calentamiento varían según el tipo de horno y el método de aplicación de calor, el Cuadro 4 muestra un aproximado de tiempos de calentamiento según el espesor de lámina. Para la selección del horno, el uso de hornos eléctricos permite un control más preciso de la temperatura de proceso. Los métodos de horneado de Corian que resultan exitosos son el horno de plancha caliente conductiva y el horno de aire caliente de tipo convectivo, si bien ambos hornos garantizan un horneado óptimo los tiempos de procesamiento determinan la mejor opción, por medio de ensayos por parte del fabricante

se ha podido determinar que un horno de planchas calientes por contacto requiere  $\pm 1$  minuto de horneado a 170°C por milímetro de material, para un horno de convección por aire caliente se requieren  $\pm 4,2$  minutos de horneado por milímetro de material<sup>4</sup> a 170°C. El calentamiento de la lámina de Corian debe realizarse de manera uniforme sobre toda la superficie y al mismo tiempo.

Cuadro 4. Guía tiempos aproximados de calentamiento

GROSOR DE LA HOJA	TEMPERATURA DEL HORNO	TIEMPO DE CALENTAMIENTO*
1/4" (6 mm)	300° F (149° C)	30-60 min.
	350° F (177° C)	15-30 min.
1/2" (13 mm)	300° F (149° C)	45-80 min.
	350° F (177° C)	25-60 min.
3/4" (19 mm)	300° F (149° C)	75-105 min.
	350° F (177° C)	50-85 min.

Fuente: MULTILAN, Manual de Transformación del Corian. México. 306pg.

#### 4.2 ELECCION DE LAMINA.

Las láminas de Corian vienen en tres presentaciones de calibre comercial; el grosor del material se elige según el requerimiento de diseño y teniendo en cuenta las curvaturas y radios presentes en el modelo final; las limitaciones de radios mínimos permitidos por grosor se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Radios internos máximos permitidos según calibre de lámina.

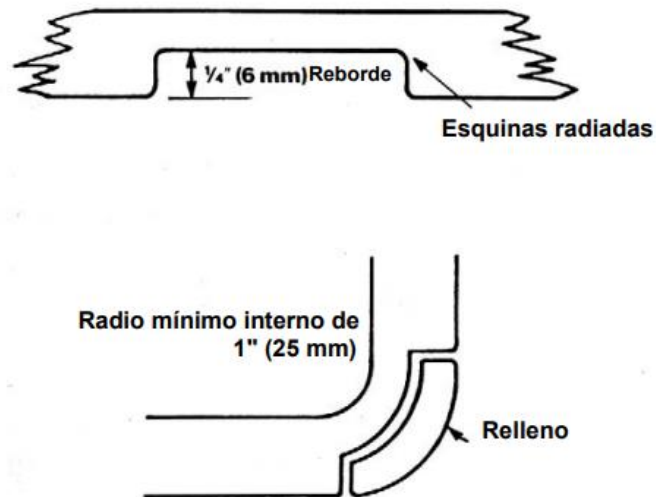
GROSOR DE LA HOJA	RADIO INTERNO MÁXIMO
1/4" (6 mm)	1" (25 mm)
1/2" (13 mm)	3" (76 mm)
3/4" (19 mm)	5" (127 mm)

Fuente: MULTILAN, Manual de Transformación del Corian. México. 306pg.

Cuando el elemento a modelar contenga radios internos máximos a los permitidos para el grosor de la pieza, se debe recurrir a la técnica del reborde de radios, esto es la

reducción del grosor del material en las áreas específicas de curvatura que permitan pequeños radios sin que el material sufra blanqueamiento por estiramiento excesivo. Una vez el material es moldeado se procede a rellenar como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Técnica de reborde en lamina Corian

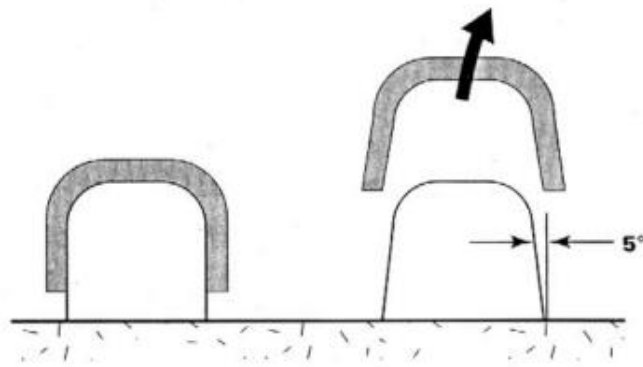


Fuente: MULTILAN, Manual de Transformación del Corian. México. 306pg.

### 4.3 MOLDE.

Los moldes se eligen según la convexidad de la pieza a moldear, se emplea el uso de molde macho o hembra, el molde macho representa una mejor elección en la mayoría de los casos evitando la creación de arrugas en el material; cuando la elección de molde sea hembra, este debe contener biseles o redondeos en zonas de cambio de inclinación. los moldeos profundos sean macho o hembra requieren de un molde con diseño de pared inclinada positiva con mínimo 5 grados<sup>4</sup> que permita la extracción del modelo una vez quede rígido según muestra la Figura 10.

Figura 10. Inclínación positiva en molde macho



Fuente: MULTILAN, Manual de Transformación del Corian. México. 306pg.

Los materiales para la creación de los moldes deben ser económicos e Isotrópicos, funcionando de forma óptima el M.D.F y la madera tipo Triplay<sup>4</sup>; esto evita el atrapamiento, pérdida del elemento moldeado o pérdida del molde por contracción del material una vez este frío.

#### 4.4 MOLDEO.

El moldeo de láminas de Corian no requieren la aplicación de grandes presiones si se cuenta con un diseño óptimo del molde y un correcto proceso de calentamiento, siendo posible el conformado de las láminas desde los 15 psi en adelante, lo importante es garantizar la quietud del material durante el proceso de enfriamiento. La presión de moldeo se debe mantener hasta que el material este a 82°C como mínimo<sup>4</sup>. En el emparejamiento del material precalentado y el molde, se recomienda que este último contenga una ligera capa de talco que facilite la posterior separación de la pieza del molde en caso de contracciones no calculadas en el material.

## 5. ANALISIS DE SELECCIÓN Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Partiendo de la necesidad existente en el sector constructor por la adquisición de una máquina para el proceso de termoformado de láminas Corian en la ciudad de Bucaramanga, se hace evidente que se debe partir del mercado existente para cubrir sus falencias. Indagando acerca del proceso actual de transformación de las láminas de material con los contratistas, comerciantes y empresas se establece que la mayor demanda del Corian está presente en el servicio de modernización de cocinas, baños y áreas de recepción; por medio de visitas a los talleres de procesamiento del material se establecen las limitaciones actuales en un proceso que se evidencia es prácticamente artesanal. A continuación, se describirá el proceso tradicional mediante el cual se trabajan las láminas Corian, así como las inconveniencias en cada una de las partes del proceso.

- La primera etapa del proceso de termoformado consiste en calentar el material hasta una temperatura en la cual sea conformable, para esta etapa tradicionalmente se usan hornos de panadería o sopletes y se expone el material al fuego directo, dichos métodos no permiten tener un control de temperatura en el material lo cual reduce su deducción del punto de conformidad a un parámetro únicamente visual adquirido empíricamente por el operario encargado del proceso, por otra parte la exposición directa al fuego, afecta la apariencia del material generando procesos extra de pulido para alcanzar una estética óptima
- Una vez llevado el material a un estado conformable es sujetado por medio de mordazas contra un molde de madera con la forma final requerida, en esta etapa se fuerza el material manualmente tramo por tramo, es necesaria la asistencia de varias personas que se distribuyen entre guiar el material, sujetar el molde y recalentar los segmentos del material donde no se tenga la conformidad necesaria, principalmente la sujeción con mordazas crea una huella en el material afectando su estética, finalmente el no tener una presión constante y continua se refleja en el resultado mostrando diferencias entre el diseño requerido y el obtenido.

Buscando evitar el complicado proceso de termoformado los talleres de la ciudad de Bucaramanga no ofrecen diseños curvos al cliente, limitándose a generar curvas en el material solo cuando es estrictamente necesario. Un modelo habitual de lavamanos fabricado en la ciudad de Bucaramanga se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Lavamanos rectangular tradicional



Fuente: elaboración propia

Otra opción que tienen las empresas de la ciudad de Bucaramanga para la oferta de modelos curvos es la adquisición de pocetas con empresas fabricantes en las ciudades de Medellín o Bogotá Figura 12; y acoplarse al limitado catálogo que estas ofrecen.

Figura 12. Modelo redondo de poceta de fabricación nacional



Fuente: URANUS. Ficha técnica lavamanos y pocetas acrílicas. 2022. 14 p.

## **5.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN CALIDAD.**

### **5.1.1 REQUERIMIENTOS DEL CONSUMIDOR.**

1. Efectividad.
2. Segura.
3. Económica.
4. Fácil reparación.
5. Bajo consumo.
6. Larga vida.
7. Fácil operación.
8. Fácil limpieza.
9. Repuestos.
10. Garantía.
11. Capacidad.
12. Compacta.
13. No contaminante.
14. Buena apariencia.
15. Innovador.

### **5.1.2 ORGANIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS.**

Factores operativos:

- Seguridad
- Bajo consumo
- Fácil operación
- Capacidad
- Fácil limpieza
- Fácil reparación

Factores de eficiencia:

- Efectiva
- Innovadora

Factores económicos:

- Repuestos
- Economía
- Larga vida
- Garantía

Factores ambientales:

- No contaminante

Factores estéticos:

- Buena apariencia
- Compacta

## **5.2 MATRIZ CALIDAD**

Se establece la matriz calidad en el Cuadro 6, se tienen en cuenta los requerimientos de comerciantes y operarios de talleres de procesamiento sombreadas de color amarillo y posicionados en la fila superior del cuadro; los requerimientos por parte del diseñador se posicionan en la columna del extremo derecho sombreadas de color rosa. El valor de relevancia para el cruce de requerimientos se asignará según valores de 0, 1, 3 o 9. El ponderado resultado de la multiplicación del valor de importancia y el valor asignado de relevancia, se encontrarán en la primera columna a la izquierda.

Cuadro 6. Matriz Calidad

		Importancia	Normatividad	Diseño	Funcionalidad	Mantenibilidad	Ergonomía	Manufacturabilidad	Materiales	Efectividad	Costo	Seguridad	Estética	Operatividad	Resistencia	Innovación	Potencia
		15	0	9	9	3	0	0	3	9	1	0	0	3	1	0	3
Efectiva		0	0	135	135	45	0	0	45	135	15	0	0	45	15	0	45
Segura		14	3	42	0	9	3	0	9	42	14	9	1	42	9	3	42
Económica		13	9	39	0	39	0	9	117	0	9	13	9	42	39	39	117
Facil reparación		12	9	108	0	9	3	12	0	36	108	36	0	36	9	0	0
Bajo consumo		11	0	99	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0
Larga vida		10	3	90	3	9	0	0	90	0	90	0	0	30	90	30	0
Facil operación		9	0	27	3	0	9	0	0	81	0	27	0	81	0	0	27
Facil limpieza		8	1	24	0	9	0	0	1	0	24	0	9	0	24	0	0
Repuestos		7	9	63	3	9	0	21	3	0	63	0	0	21	0	1	7
Garantía		6	0	3	0	3	0	0	3	0	3	3	0	0	9	0	0
Capacidad		5	0	1	9	0	0	0	0	45	0	0	0	45	45	0	45
Compacta		4	3	12	9	0	3	0	9	0	0	0	3	0	1	3	0
No contaminante		3	0	0	0	3	0	0	0	0	3	9	0	9	0	0	0
Innovadora		2	0	9	0	0	3	0	3	0	0	0	9	0	0	9	0
Buena apariencia		1	0	3	0	0	9	0	3	0	0	0	9	0	0	9	0
	380	707	258	570	186	150	470	339	557	229	242	309	505	157	234		

Fuente: elaboración propia

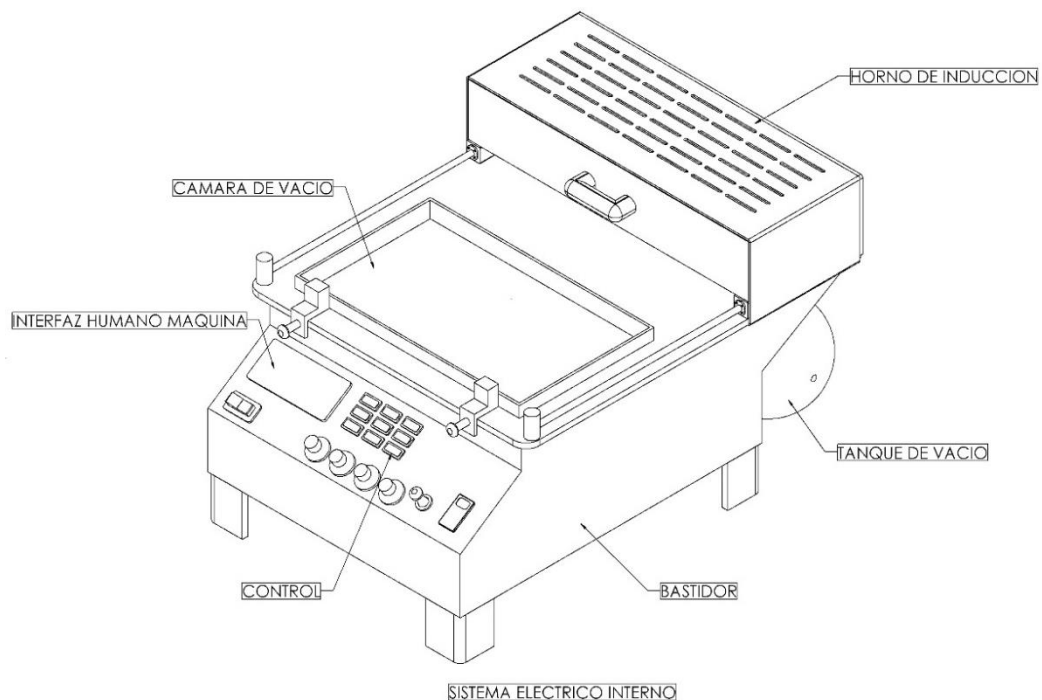
### 5.3. TIPOS DE SUBSISTEMAS

- Sistema eléctrico.
- Sistema de control.
- Sistema térmico.
- Sistema de vacío.
- Bastidor.
- Interfaz humano-maquina.

### 5.4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

**5.4.1. Alternativa A.** Termoformadora compacta con horno de precalentamiento a nivel superior de tipo radiante y cámara de vacío situada frente al horno y a nivel inferior según Figura 13. El diseño cuenta con tanque de almacenamiento de vacío.

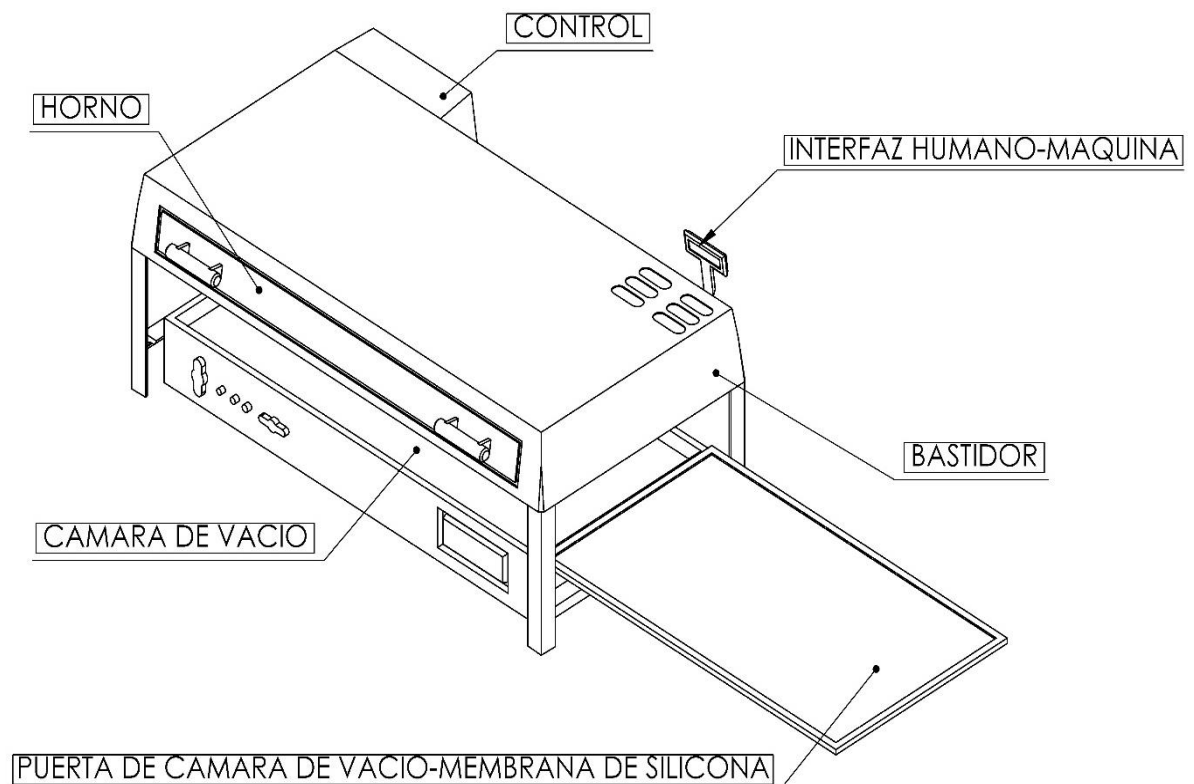
Figura 13. Alternativa A-Termoformadora



Fuente: elaboración propia

**5.4.2. Alternativa B.** Termoformadora con horno a nivel superior, y cámara de vacío inmediatamente debajo del horno, el piso del horno se abre y deja posicionar por gravedad la lámina de material ablandado en la cámara de moldeo, posteriormente un marco corredizo con membrana de silicona sella la cámara de vacío Figura 14.

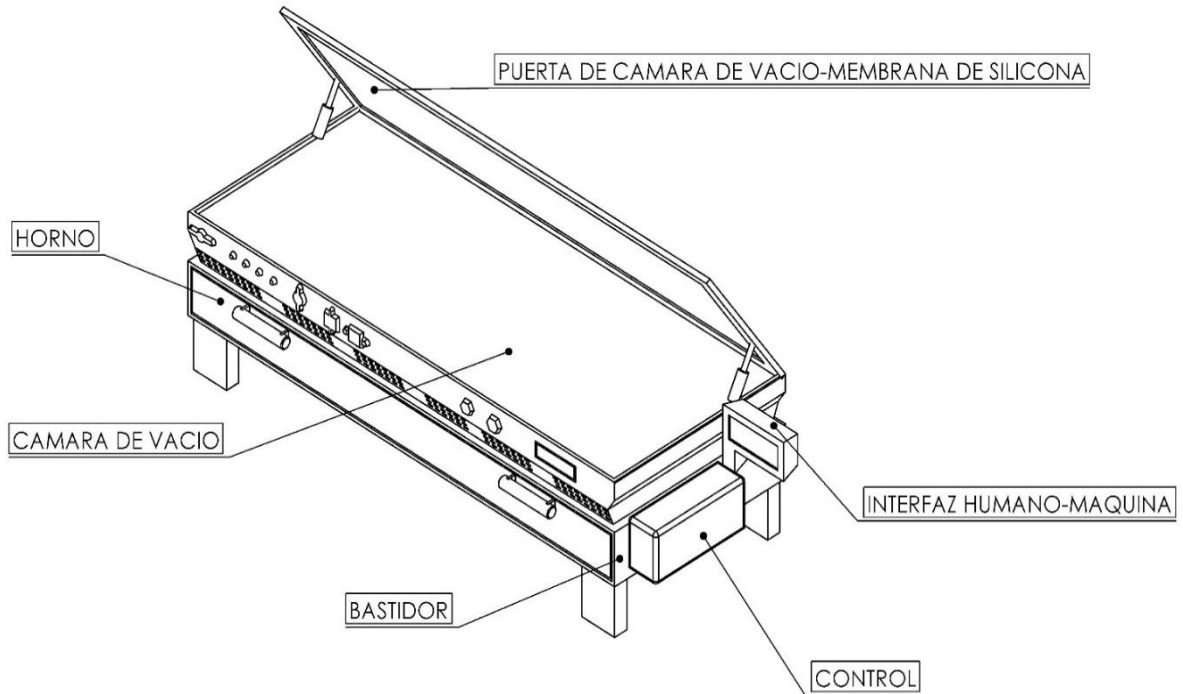
Figura 14. Alternativa B-Termoformadora



Fuente: elaboración propia

**5.4.3. Alternativa C.** Termoformadora con horno de precalentamiento por medio de doble plancha caliente posicionado a nivel inferior, cámara de moldeo a nivel superior con membrana de silicona, sin tanque de vacío, interfaz humano-maquina a los laterales o posicionada en el frente, botonera frontal. Ver Figura 15.

Figura 15. Alternativa C-termoformadora



Fuente: elaboración propia

## 5.5. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

El Cuadro 7 muestra el porcentaje de relevancia de los 5 requerimientos con mayores ponderados obtenidos de la matriz calidad:

- Diseño
- Mantenibilidad
- Costo
- Resistencia
- Materiales

Se establece la selección de alternativa asignando un valor de 0 a 5 para evaluar el grado de cumplimiento de los requerimientos en cada una de las alternativas. Cuadro 8

Cuadro 7. Principales requerimientos de diseño

$C_1 = 707$	Diseño	$\%C_1 = \frac{707}{2809} * 100 = 25,17\%$
$C_2 = 570$	Mantenibilidad	$\%C_2 = \frac{570}{2809} * 100 = 20,29\%$
$C_3 = 557$	Costo	$\%C_3 = \frac{557}{2809} * 100 = 19,83\%$
$C_4 = 505$	Resistencia	$\%C_4 = \frac{505}{2809} * 100 = 17,98\%$
$C_5 = 470$	Materiales	$\%C_5 = \frac{470}{2809} * 100 = 16,73\%$
Total= 2809		

Fuente: elaboración propia

Cuadro 8. Grado de cumplimiento de requerimientos para cada alternativa de diseño

		A		B		C	
$C_1$	25,17%	3,5	0,88	2,5	0,63	4,5	1,13
$C_2$	20,29%	4	0,81	3,2	0,65	3,2	0,65
$C_3$	19,83%	2	0,4	2	0,4	3,8	0,75
$C_4$	17,98%	4,2	0,76	4	0,72	4	0,72
$C_5$	16,73%	4,2	0,7	4	0,67	4,2	0,7
		3,54697		3,06353		3,95733	

Fuente: elaboración propia

## **5.6. ESPECIFICACIÓN DE ALTERNATIVA GANADORA**

Se establece como ganador el modelo C, este integra los procesos de calentamiento y moldeo por vacío en una sola estructura, el modelo es compacto y aprovecha la disposición de los diferentes sistemas de forma óptima.

El sistema de calentamiento se encuentra en la parte inmediatamente inferior del sistema de vacío, lo cual permite mayor rapidez de transporte entre procesos, la altura de la apertura del horno se establece como la óptima para requerir del mínimo esfuerzo físico por parte del operario; en la parte frontal se encontrarán el sistemas de control tanto del horno, como de la cámara de vacío, también el frontal se posiciona la interfaz humano-maquina donde se establecerán la información del proceso, temperatura y tiempo, la presión en el área de vacío será controlada por un presostato de baja. En la botonera se incorporan los pulsadores de inicio y fin de proceso, junto con la parada de emergencia.

Se establece un sistema eléctrico interno evitando exposición de cables y demás elementos críticos; el sistema de vacío contara con una base de soporte rígido para el posicionamiento de los moldes, con una tapa superior apoyada en pistones para facilitar el abrir y cerrar la cámara, la tapa superior contara con membrana de silicona, esta es la encargada de ejercer el atrapamiento para que la lámina de Corian precalentado tome la forma del molde; la bomba se encontrara oculta en la parte inferior-trasera de la maquina con conexión al sistema de moldeo superior.

## 6. CALCULO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS

### 6.1 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Partiendo del requerimiento de diseño dispuesto para la termoformadora, la fabricación de un lavamanos curvo en Corian, y teniendo presente el área de material necesario para su fabricación se determinarán los parámetros y geometría de los componentes, así como requerimientos para un óptimo procesamiento.

Los pasos que se siguen para el diseño del sistema son:

1. Elección del tipo de transferencia de calor
2. Definir parámetros y propiedades físicas del material Corian
3. Hallar la potencia eléctrica requerida
4. Características geométricas del horno

**6.1.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.** La empresa Multilam proporciona el Manual de transformación Corian en el cual se describe los procesos y parámetros requeridos para la fabricación de componentes con Corian. Para el sistema de calentamiento este manual proporciona un aproximado del tiempo de calentamiento en función del grosor de las láminas, así como tipos de transferencia de calor exitosas para Corian comprobadas de forma experimental, la primera de ellas es la prensa de plancha calentada (Conducción) y la segunda en cámara de aire caliente (Convección), descartando la transferencia por radiación.

Se selecciono el horno por prensa de plancha calentada (Conducción) debido a su mayor eficiencia en costo energético, al requerir un menor tiempo de calentamiento y generando una mejor distribución, para garantizar un calentamiento optimo se empleará un sistema de doble plancha térmica en contacto con ambas caras de la lámina de Corian.

**6.1.2 Propiedades físicas y Térmicas del Corian.** De la ficha técnica del material proporcionada por el fabricante Dupont, se toman los valores necesarios para realizar el análisis térmico y cálculos, con el fin de hallar la potencia requerida en el sistema.

Parámetros necesarios:

- $K$  = Constante de conductividad térmica
- $C_p$  = Calor específico
- $A$  = área de la lámina
- $e$  = Grosor de la lamina
- $\rho$  = Densidad de lámina
- $m$  = Masa de lámina

Los parámetros son tomados de las fichas técnicas del material, a excepción de la constante de conductividad térmica ( $K$ ) y el valor del calor específico ( $C_p$ ).

**6.1.2.1 Calor específico del Corian.** Debido a la falta de información técnica al respecto, se requirió realizar el montaje de un sistema termodinámico en laboratorio para encontrar un valor aproximado del  $C_p$  por medio de un análisis de transferencia de calor adaptando el experimento de calorimetría de Antoine Lavoisier. Los componentes utilizados fueron:

- Probeta de material
- Recipiente aislante de Poliestireno Expandido
- 3 termocuplas tipo K
- Bascula
- Detector de temperatura de resistencia
- Motor 9 voltios
- Batería 9 voltios
- Turbina pequeña
- Horno refractario eléctrico

- Eje mecanizado
- Soportes de poliestireno expandido

El experimento se realizó en las siguientes etapas:

- **Primera etapa preparación de elementos.** Para la probeta se preparó una muestra de 7 cm de alto, 10 cm de ancho y 12 mm de espesor; por medio de una báscula se obtiene el valor del peso de la probeta 144,3 gramos Figura 16, a la probeta se le realiza una perforación hasta su centro, donde se introduce una termocupla tipo k.

Figura 16. Probeta de Corian



Fuente: elaboración propia

Al motor de 9 voltios se ensamblaron el eje mecanizado y la turbina Figura 17, de esta manera se logra el motor fuera del volumen de control

Figura 17. Turbina mezcladora



Fuente: elaboración propia

Se realiza la medición del peso del recipiente de poliestireno expandido Figura 18, para el cuerpo principal del recipiente se toma un peso de 20,8. Este cuenta con soportes en el fondo los cuales sujetarían la probeta durante el experimento.

Figura 18. Toma de peso recipiente poliestireno expandido



Fuente: elaboración propia

En la tapa del recipiente se realizan cuatro perforaciones para introducir tres termocuplas y la turbina Figura 19.

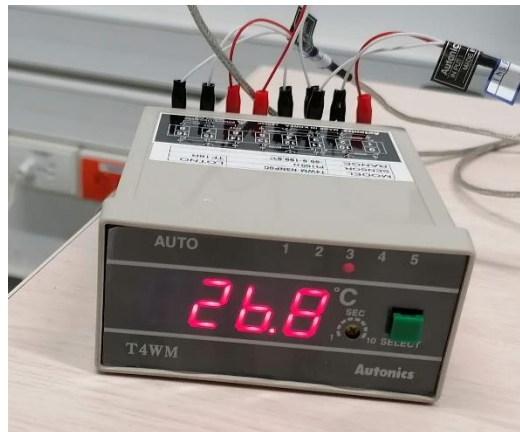
Figura 19. Montaje de termocuplas



Fuente: elaboración propia

Se realiza la conexión de las termocuplas al detector de temperatura, verificando el canal respectivo de lectura de cada termocupla, y el correcto censo de valores Figura 20. Se verifica la correcta operación y funcionamiento del horno eléctrico.

Figura 20. Conexión al detector de temperaturas



Fuente: elaboración propia

Finalmente, la nevera se llena de agua hasta el borde con el fin de tener un volumen de control Figura 21, se ubicaron las tres termocuplas en la tapa de tal manera que midieran la temperatura del poliestireno expandido, el agua, y la lámina de Corian que se

encontraría inmersa en el agua dentro de la nevera respectivamente; la turbina se encarga de generar movimiento en el agua para una mejor distribución de temperatura en el fluido.

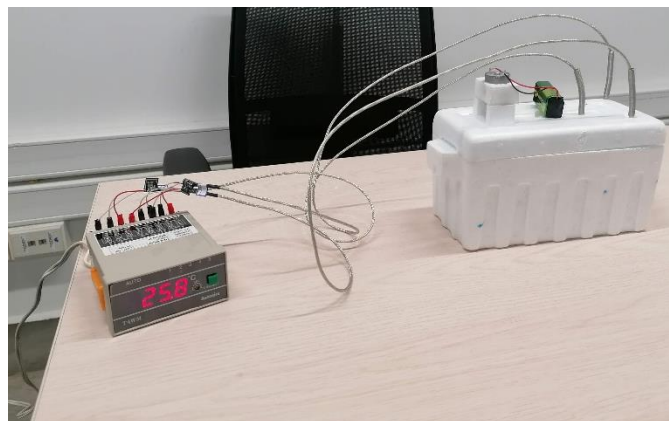
Figura 21. Volumen de control



Fuente: elaboración propia

- **Segunda etapa, calentamiento.** Se introdujo la probeta dentro del horno eléctrico hasta aumentar su temperatura a de 80°C, esta temperatura evita la evaporación del agua al momento de la inmersión; se extrajo la muestra y se puso en el interior de la nevera, se colocó en posición la tapa, así como la termocupla que debe medir la temperatura de la muestra la Figura 22 muestra el montaje del experimento.

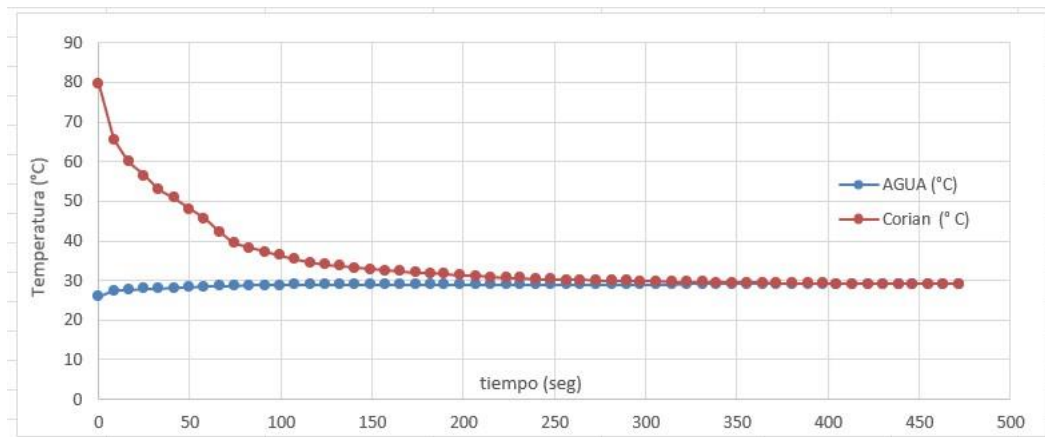
Figura 22. Montaje del experimento



Fuente: elaboración propia

- **Toma de medidas.** Se tomaron valores de la temperatura en cada una de las termocupas cada ocho segundos partiendo de un tiempo  $t = 0$  seg, se tomaron muestras de temperatura hasta que el sistema térmico se niveló mostrando la misma temperatura en los tres elementos medidos. El total de valores medidos se encuentran en el Anexo A.
- **Análisis de resultados.** Los datos tomados en el experimento alimentaran las ecuaciones de transferencia de calor, hallando un  $C_p$  para cada intervalo de tiempo, y promediando estos valores. Se descartan los valores extremos obtenidos en la toma de valores, la gráfica de los valores de temperatura y tiempo para el agua y la probeta se muestra en la Figura 23.

Figura 23. Comportamiento térmico vs tiempo



Fuente: elaboración propia

- **Cálculo del valor de  $C_p$ .** El experimento de calorimetría se basa en suponer que el calor desprendido por un elemento del sistema es directamente proporcional al calor obtenido por el otro u otros elementos, esta suposición plantea un sistema totalmente aislado en el cual no se generan pérdidas o estas son despreciables. Se planteo una adaptación del experimento de calorimetría realizando un análisis termodinámico del sistema de la siguiente manera:

1. Se definieron los valores de las propiedades necesarias para realizar los cálculos:

- $A_i$ = Area transferencia de calor poliestireno expandido
- $K_i$ = Constante de conductividad térmica Poliestireno expandido
- $e_i$ = Espesor de pared del recipiente de Poliestireno expandido
- $\Delta T_i$  = Diferencial de temperatura para el Corian
- $m_a$  = Masa de agua en el recipiente
- $C_{p_a}$ = Calor específico del agua
- $\Delta T_a$  = Diferencial de temperatura para el Corian
- $m_c$ = Masa probeta de Corian
- $\Delta T_c$  = Diferencial de temperatura para el Corian

2. Se definió el comportamiento térmico del sistema por medio de la ecuación 1:

$$Q_c = Q_a + Q_i \quad (1)$$

Donde  $Q_c$  es el calor desprendido por la probeta de Corian,  $Q_a$  el calor absorbido por el agua y  $Q_i$  el calor absorbido por el recipiente de poliestireno expandido, definiendo cada una de estas, tenemos:

$$Q_c = m_c * C_{p_c} * \Delta T_c$$

$$Q_a = m_a * C_{p_a} * \Delta T_a$$

$$Q_i = \frac{K_i * A_i * \Delta T_i}{e_i}$$

Reemplazando las definiciones de cada calor en la ecuación 1 tenemos:

$$Q_c = (m_a * C_{p_a} * \Delta T_a) + \frac{K_i * A_i * \Delta T_i}{e_i}$$

$$m_c * Cp_c * \Delta T_c = (m_a * Cp_a * \Delta T_a) + \frac{K_i * A_i * \Delta T_i}{e_i}$$

$$Cp_c = \frac{(m_a * Cp_a * \Delta T_a) + \frac{K_i * A_i * \Delta T_i}{e_i}}{m_c * \Delta T_c}$$

De esta manera se obtiene cada valor de Cp (Calor específico) para el Corian para todas las mediciones realizadas, en el Cuadro 9 se muestran los valores iniciales y finales respectivamente obtenidos en las mediciones, así como el valor promediado del Cp para el Corian.

Cuadro 9. Valor promedio de CP

Tiempo (s)	Corian (° C)	Agua (°C)	PS (°C)	DT Corian	DT Agua	Q. Corian	Q. Agua	Q. Icopor	Cp Corian
8,2758	65,5	27,4	26,8	14	1,4	5,44299	5,252	0,190	2,69428
471,72	29,1	29,1	27,7	50,4	3,1	12,0750	11,63	0,444	1,66031
									1,73591

Fuente: elaboración propia

**6.1.3 Potencia eléctrica requerida.** Como requerimiento inicial se asigna un área de calentamiento igual al área de superficie extendida del modelo de lavamanos más un largo extendido de 50mm. De esta forma  $L_c = L + 50$  mm en donde L es la longitud del área mínima y  $L_c$  la longitud del área de calentamiento. Para el modelo de lavamanos seleccionado el área de la lámina es de 460 mm de largo y 420 mm de ancho, calculando los valores tenemos:

$$L_c \text{ largo} = 460\text{mm} + 50\text{mm} = 510 \text{ mm}$$

$$L_c \text{ Ancho} = 420\text{mm} + 50\text{mm} = 470 \text{ mm}$$

Definidas las dimensiones de la superficie conductora se procede con el cálculo de la temperatura de esta superficie, se realizó un balance de energía para determinar el calor transferido por conducción a la lámina plástica, este calor debe ser el necesario para llevar la lámina a la temperatura de ablandamiento.

*Calor transferido:*  $Q_a = Q_{T_1-T_2}$

El calor necesario para calentar la lámina por unidad de tiempo será definido por la ecuación 2:

$$Q_i = \frac{Cp_c * m * \Delta T}{t} \quad (2)$$

Donde:

$Cp_c$  : Calor específico del Corian

$m$ : Masa de la lámina a calentar

$\Delta T$ : Delta de temperatura final e inicial en la lamina

$t$  : Tiempo de calentamiento

El tiempo de calentamiento es el tiempo que la lámina se encuentra dentro del horno hasta alcanzar la temperatura de ablandamiento, para el caso particular en el Manual de transformación Corian<sup>4</sup> se establece un tiempo de calentamiento específico para el material de 2 minutos por cada milímetro de grosor, la lámina seleccionada para el moldeo posee un grosor de 12 mm sin embargo el tiempo específico es para calentadores con una sola placa de calentamiento, al contar con 2 superficies conductoras en el diseño se requiere un tiempo de calentamiento de 12 minutos.

El calor transferido a la lámina por una superficie conductora, puede definirse como:

$$Q_{1 \leftrightarrow 2} = \frac{K_s * A_s * (T_1 - T_2)}{e_i}$$

Donde

$K_s$  : Conductividad térmica de la superficie conductora

$A_s$  : Área superficial de la superficie conductora

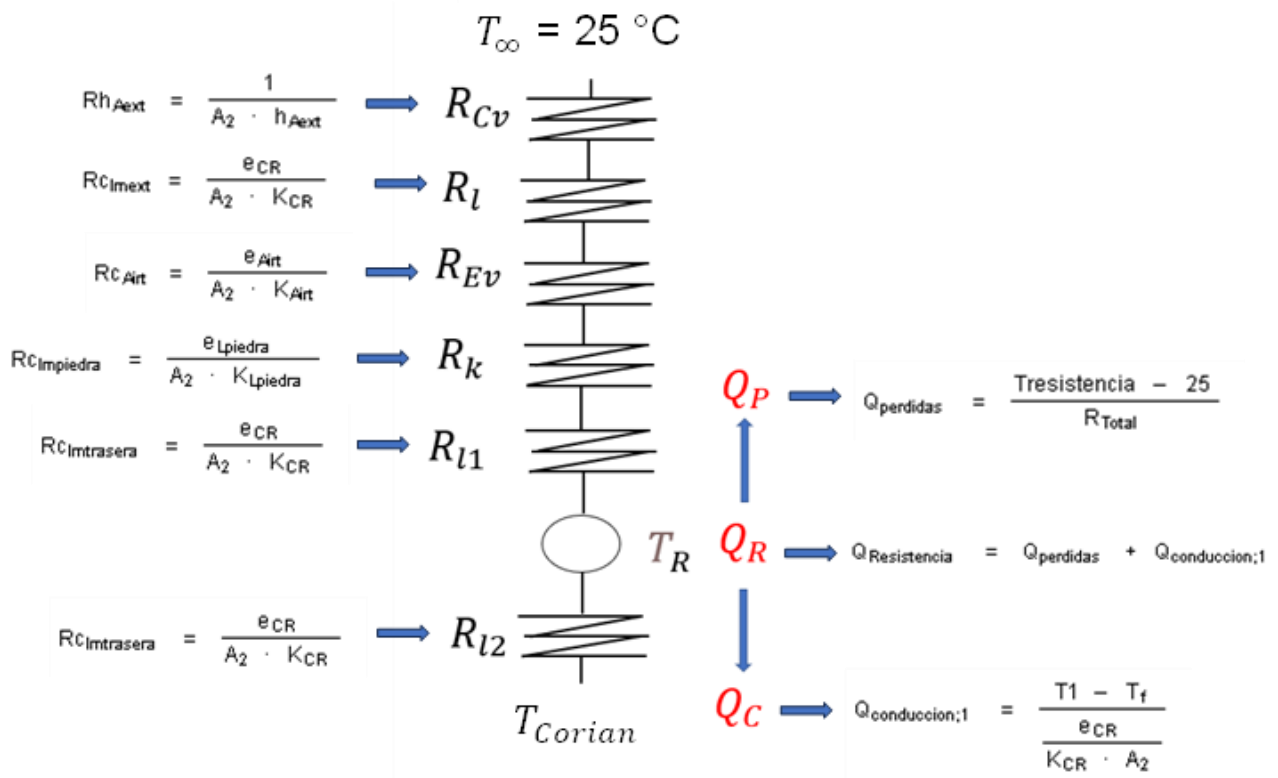
$T_1$  : Temperatura final de la lámina Corian

$T_2$  : Temperatura inicial de la lámina Corian

$e_s$  : Espesor superficie conductora

Debido al bajo espesor de la superficie conductora (1,2 mm) la temperatura superficial de las resistencias utilizadas y la lámina conductora pueden deducirse muy cercanas con una diferencia despreciable, sin embargo, esta resistencia térmica que ejerce la superficie conductora se tiene en cuenta en el balance de energía presentado en la Figura 24.

Figura 24. Balance de energías



Fuente: elaboración propia

Donde:

$T_R$  = Temperatura superficial de la resistencia

$R_{l1}$  = Resistencia térmica lamina de forraje

$R_k$  = Resistencia térmica lana de piedra

$R_{Ev}$  = Resistencia térmica convección en lana de piedra

$R_l$  = Resistencia térmica armazón maquina

$R_{l2}$  = Resistencia térmica superficie conductora

$T_\infty$  = Temperatura ambiente

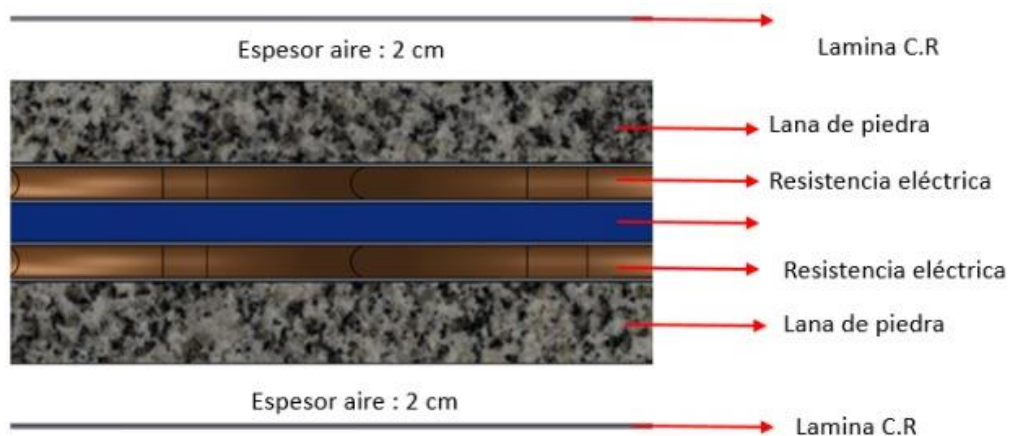
$Q_p$  = Calor de perdidas

$Q_R$  = Calor desprendido por la resistencia

$Q_C$  = Calor absorbido por la lámina de Corian

En la Figura 24 se muestra el diagrama térmico para una sola superficie conductora, pero como se menciona anteriormente, el sistema diseñado cuenta con 2 planchas térmicas Figura 25 en azul y al centro la lámina de Corian, no obstante, las superficies son térmicamente simétricas por lo que se plantean diagramas idénticos para las 2 superficies.

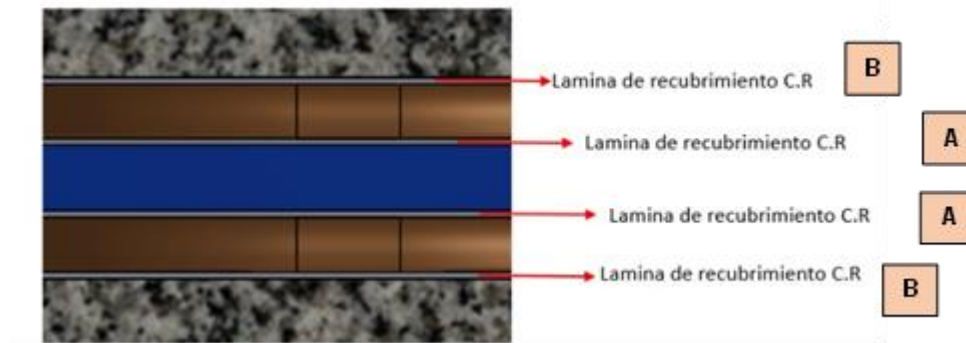
Figura 25. Esquema del sistema de calentamiento



Fuente: elaboración propia

En la Figura 26 se aprecia una vista de detalle en el recubrimiento de las resistencias eléctricas

Figura 26. Recubrimiento de resistencias térmicas



Fuente: elaboración propia

Reemplazando y resolviendo el sistema planteado en la Figura 24 obtenemos:

$$R_{l1} = \frac{e_{cr}}{A_2 * K_{Cr}} = \frac{0,0012 \text{ m}}{0,239 \text{ m}^2 * 51,9 \frac{W}{m * K}} = 0,0001156 \frac{K}{W} = R_{l2}$$

Donde:

$e_{cr}$  = Espesor lamina A de recubrimiento

$A_2$  = Área superficial de lámina A de recubrimiento

$K_{Cr}$  = Conductividad térmica lámina A de recubrimiento

$$R_k = \frac{e_L \text{ piedra}}{A_2 * K_L \text{ piedra}} = \frac{0,0254 \text{ m}}{0,239 \text{ m}^2 * 0,033 \frac{W}{m * K}} = 3,22 \frac{K}{W}$$

Donde:

$e_L$  = Espesor lamina B de recubrimiento

$A_2$  = Área superficial de lámina B de recubrimiento

$K_L$  = Conductividad térmica lámina B de recubrimiento

$$R_{Ev} = \frac{e_{Air}}{A_2 * K_{air}} = \frac{0,02 \text{ m}}{0,239 \text{ m}^2 * 0,02 \frac{W}{m * K}} = 4,184 \frac{K}{W}$$

Donde:

$e_{Air}$  = Espesor lamina A de recubrimiento

$A_2$  = Área superficial del horno en contacto con el Aire

$K_{Air}$  = Conductividad térmica Aire

$$R_l = \frac{e_{cr}}{A_2 * K_{cr}} = \frac{0,0012 \text{ m}}{0,239 \text{ m}^2 * 51,9 \frac{W}{m * K}} = 0,000096 \frac{K}{W}$$

Donde:

$e_{cr}$  = Espesor lamina B de recubrimiento

$A_2$  = Área superficial de lámina externa

$K_{cr}$  = Conductividad térmica de lámina externa

$$R_{Cv} = \frac{1}{A_2 * h_{Aext}} = \frac{1}{0,239 \text{ m}^2 * 20 \frac{W}{\text{m}^2 * K}} = 0,2092 \frac{K}{W}$$

Donde:

$A_2$  = Área superficial de lámina B

$K_{cr}$  = Conductividad térmica de lámina externa

Resistencia térmica total hacia el ambiente equivale a:

$$R_{Total} = R_{l1} + R_k + R_{Ev} + R_l + R_{Cv}$$

$$R_{Total} = 0,000096 \frac{K}{W} + 3,22 \frac{K}{W} + 4,184 \frac{K}{W} + 0,000096 \frac{K}{W} + 0,2092 \frac{K}{W}$$

$$R_{Total} = 7,613 \frac{K}{W}$$

Obtenido el valor total de las resistencias térmicas, se calcula el valor de la temperatura superficial de la resistencia térmica. reemplazando los valores calculados para el calor perdido, se tiene:

$$Q_P = \frac{T_R - \infty}{R_{Total}}$$

$$Q_P = \frac{T_R - 25^\circ C}{7,613 \frac{K}{W}}$$

Teniendo en cuenta que la temperatura requerida para el ablandamiento del Corian es de 165°C, el calor transferido a la lámina Corian será:

$$Q_C = \frac{T_1 - T_F}{R_{l2}}$$

$$Q_C = \frac{T_1 - T_F}{\frac{e_{cr}}{K_{CR} * A_2}}$$

$$Q_C = \frac{T_1 - T_F}{\frac{e_{cr}}{K_{CR} * A_2}}$$

$$Q_C = \frac{T_R - 165^\circ C}{\frac{0,0012 m}{51,9 \frac{W}{m * K} * 0,239 m^2}}$$

Reemplazando tenemos que el calor desprendido por la resistencia es:

$$Q_R = Q_P + Q_C$$

$$Q_R = \frac{T_R - 25^\circ C}{7,613 \frac{K}{W}} + \frac{T_R - 165^\circ C}{\frac{0,0012 m}{51,9 \frac{W}{m * K} * 0,239 m^2}}$$

Se tiene el calor desprendido por la resistencia en función de la temperatura superficial de esta, por otra parte, el calor requerido para calentar la lámina Corian será el mismo absorbido por la lámina durante el proceso

$$Q_i = Q_C$$

$$\frac{Cp_c * m_c * \Delta T}{t} = \frac{T_1 - T_F}{R_{l2}}$$

$$\frac{1,73591 \frac{Kj}{Kg * K} * 2,73Kg * (165 - 25)^\circ C}{1440} = \frac{T_R - 165^\circ C}{\frac{0,0012 m}{51,9 \frac{W}{m * K} * 0,239 m^2}}$$

Despejando y resolviendo  $T_R$ :

$$T_R = \left[ \frac{1,73591 \frac{Kj}{Kg * K} * 2,73Kg * (165 - 35)^\circ C}{1440} * \frac{0,0012 m}{51,9 \frac{W}{m * K} * 0,239 m^2} \right] + 165^\circ C$$

$$T_R = 165^\circ C$$

Obtenemos entonces que los calores son:

$$Q_P = 18,41 W$$

$$Q_C = 484 W$$

$$Q_R = 502,4 W$$

El anterior planteamiento se realiza para una sola superficie, al asumir que las 2 superficies son simétricas en cuanto a diseño y propiedades térmicas y físicas, se afirma que el al realizar el mismo planteamiento para las 2 superficies conductoras, la única variación será el tiempo de calentamiento que pasará de 24 minutos a 12 minutos.

La relación de potencia requerida por área será de:

$$R_R = \frac{Q_R}{A_C}$$

Donde:

$$A_C = 0,46 m * 0,42 m = 18,11 in * 16,53 in = 226,11 in^2$$

$$R_R = \frac{502,4 W}{226,11 in^2} = 2,22 \frac{W}{in^2}$$

Hallando el calor requerido para toda la superficie aprovechable:

$$Q_T = R_R * A_S$$

Donde:

$$A_S = 0,51 m * 0,47 m = 20,07 in * 18,5 = 371,3 in^2$$

De esta forma:

$$Q_T = 2,22 \frac{W}{in^2} * 371,3 in^2$$

$$Q_T = 825.6 \text{ W}$$

Por capacidad del fabricante se seleccionaron resistencias de relación 1000W por metro

$$P_R = Q_T * 3$$

$$P_R = 825.6 \text{ W} * 3$$

$$P_R = 2476,8 \text{ W}$$

Se calcula la longitud de cada resistencia:

$$L_R = 2476,8 \text{ W} * \frac{1\text{m}}{1000 \text{ W}}$$

$$L_R = 2,4768 \text{ m}$$

Teniendo una longitud mínima necesaria de 2,4768 m y al requerirse una distribución de temperatura uniforme en las superficies conductoras se diseña una resistencia en serpentín con trayecto de 2,6 m para garantizar esta distribución térmica necesaria.

**6.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL HORNO.** El horno cuenta con 2 cajones simétricos inferior y superior respectivamente, cuyas caras exteriores cumplen el papel de planchas calientes, dentro de estos cajones se encuentran las resistencias. Para proteger el sistema eléctrico y neumático dentro de la máquina, se dispone de lana de roca de 2,54 cm de espesor ubicadas sobre las resistencias.

Para garantizar un óptimo contacto de la lámina Corian con las superficies conductoras se ubicó una separación mínima entre cajones de 7mm, el montaje sobre resortes del cajón superior permite su movilidad ampliando la separación a 12 mm una vez se inserta la lámina de Corian, de esta manera la lámina Corian queda prensada entre las 2 superficies con una presión que no afecta el ablandamiento.

El cajón inferior cuenta con un sistema de rieles el cual permite deslizarlo hacia afuera y retirar el material y continuar con el proceso en cámara de vacío. La temperatura en la superficie será regulada por dos termocuplas ubicadas en la superficie interna de los cajones. En la Figura 27 se muestra la disposición de las resistencias térmicas dentro del cajón inferior y el montaje del cajón superior en el bastidor.

Figura 27. Cajones térmicos inferior y superior



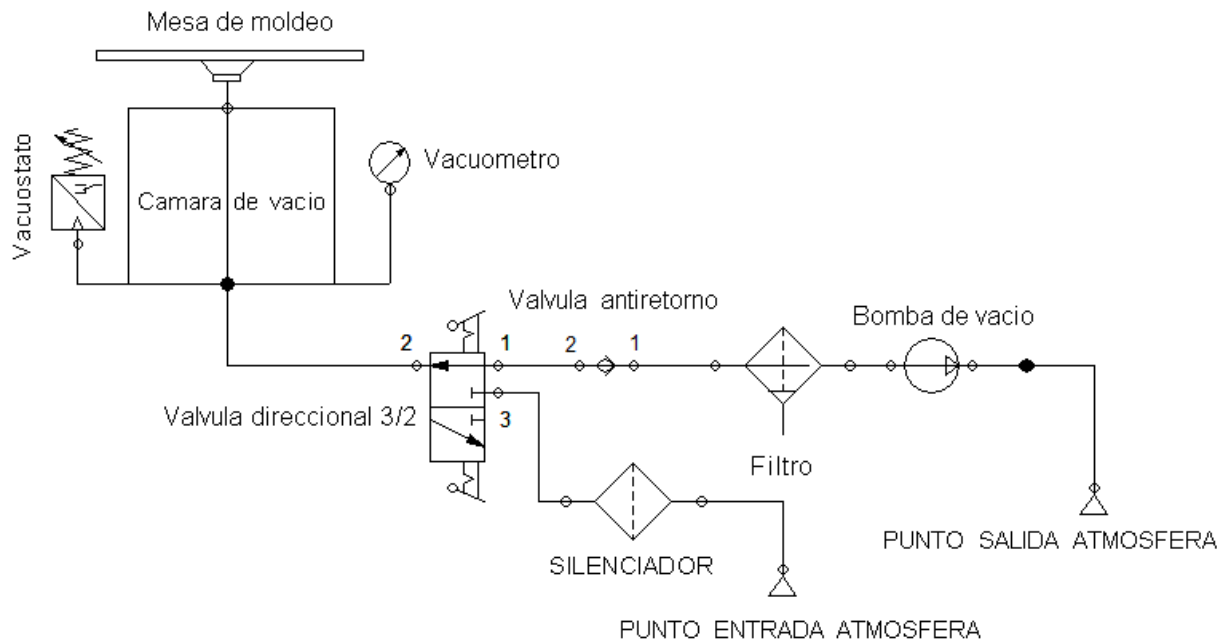
Fuente: elaboración propia

## 6.2 SISTEMA DE VACÍO

El sistema de vacío es el encargado de ejercer la fuerza de moldeo por medio de la acción de vacío, el aire del sistema será evacuado por bomba de vacío; la constricción de la lámina precalentada contra el molde se ejercerá por medio de membrana de silicona; el proceso de moldeo se lleva a cabo en la mesa de moldeo. El sistema contará con dos áreas claves: la cámara de moldeo y la cámara de vacío. El esquema completo del sistema de vacío se muestra en la Figura 28.

El sistema de vacío se diseña de forma que no requiera un tanque de precarga de vacío, contará con una cámara de vacío para facilitar la captación del volumen de aire contenido en la cámara de moldeo; a la precámara de vacío se establecen tres conexiones: Alimentación a bomba de vacío, Alimentación a Presostato de baja y Alimentación al vacuómetro Como lo muestra la.

Figura 28. Esquema del sistema de vacío.



Fuente: elaboración propia

El sistema de vacío cuenta con los siguientes elementos:

- Bomba de vacío, ejerce la presión necesaria para el moldeo
- válvula direccional 3/2, de acción manual
- Válvula antirretorno, encargada de contener la presión en la cámara de vacío, si bien la bomba de vacío suele contar con un sistema antirretorno, la válvula protege de posibles fugas en el recorrido de mangueras y uniones.
- Presostato de baja, controlara la presión presente en la cámara de vacío, energizara y apagara la bomba de vacío.
- Vacuómetro, dispuesto en la botonera, permitirá el control visual del proceso
- Filtro de aire, encargado de proteger la bomba de material particulado que pueda entrar por la cámara de moldeo

- Silenciador (Dispuesto a la salida de alivio de la válvula direccional que libera la presión de vacío contenida en la Cámara de moldeo una vez termine el proceso de moldeo)

Los cálculos del sistema se centrarán en la selección de la bomba de vacío la cual genera la presión para llevar a cabo el moldeo. La presión máxima de trabajo se establece en 20inHg o una presión absoluta de aproximadamente 5psi.

**6.2.1 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE VACÍO.** La selección de la bomba se llevará a cabo teniendo en cuenta dos factores: Capacidad de presión de vacío generada y Capacidad de bombeo. El cálculo de la Capacidad de bombeo se realiza por medio de la Ecuación 3<sup>3</sup>

Cálculo de la capacidad de bombeo:

$$S = \frac{V_{total}}{\Delta t} \ln \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad (3)$$

Donde:

- $V_{total}$  = Volumen a vaciar
- $\Delta t$  = Tiempo de vaciado
- $P_1$  = Presion absoluta inicial
- $P_2$  = Presion absoluta final

Para el cálculo volumen total del sistema  $V_{total}$  se tienen en cuenta los siguientes volúmenes:

- *Volumen Camara de vacío*

---

<sup>3</sup> AVALLONE, Eugene. A, ED y BAUMEISTER III, Theodore, ED. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. 3 ed. México: MCGRAW-HILL, C1995. Vol. 2

- *Volumen Camara de moldeo (Volumen del molde) + (Volumen sobrante)*
- *Volumen Mangueras*

Donde:

$$V_{total} = V_{camara} + V_{molde} + V_{mangueras}$$

$$V_{mangueras} = \frac{\pi d^2}{4} \times L(m)$$

El volumen de aire contenido en los diferentes elementos como válvulas y filtros se consideran despreciables para este cálculo. Se establece tiempo de vaciado  $\Delta t = 10sg$  como un tiempo óptimo en el cual el material no tendrá pérdida de calor significativo. Para los volúmenes de molde, cámara de vacío y cámara de moldeo se emplearon modelos tridimensionales generados en el CAD SolidWorks

Cálculos volúmenes de los elementos de diseño.

- Aire en la cámara al cerrar la puerta

$$V_{manto\ silicona} - Volumen\ molde - Volumen\ Corian = V_{cámara}$$

$$0,0175m^3 - 0,009m^3 = 0,0068m^3 \approx 0,007m^3$$

- Aire en cámara moldeo

$$V_{pre} = 0,018m^3$$

- Aire en mangueras de 8mm diámetro por 5 metros

$$V1 = \pi r^2 L = \pi (0,004)^2 \times 5 = 2.52 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Volumen total para evacuar

$$V_{total} = 0,007\text{m}^3 + 0,018\text{m}^3 + 0,000252\text{m}^3 = 0,0252\text{m}^3$$

Capacidad bombeo (Vaciado)

$$S = \frac{V_{total}}{\Delta t} \ln\left(\frac{P1}{P2}\right) \quad (3)$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ Bomba} = \frac{0,0252\text{m}^3}{10\text{sg}} \times \ln\left(\frac{15\text{Psi}}{5\text{Psi}}\right) = 0,00276 \frac{\text{m}^3}{\text{sg}} = 9,96 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{ Bomba} = 5,8\text{CFM} = [5,8\text{CFM}]$$

Tomando los 5,8 *CFM* como el valor necesario para evacuar el volumen de aire total del sistema y la presión de -20inHg de presión de moldeo necesaria, se escoge una bomba de vacío de dos etapas de la marca SpartsNet Figura 29 con capacidad de bombeo de 5,9*CFM* o 163*L/min* y presión de vacío mínima de 15 Micrones de mercurio. Datos de la bomba seleccionada:

- Marca: SpartsNet
- Modelo: SP-VPA5,9DSG
- Capacidad de aire desplazada: 5,9*CFM* o 163 L/min
- Capacidad ultima de vacío: 15MICROM (micrones de mercurio)
- Voltaje de operación: 115V/60HZ
- Potencia: 190W
- Velocidad motor 3440rpm
- Numero de etapas: 2
- Capacidad máxima de aceite: 14onz/420ml

Figura 29. Bomba de vacío



Fuente: elaboración propia

**6.2.2 CARACTERISTICAS CAMARA DE MOLDEO.** Las dos zonas claves del sistema de vacío las componen:

- La cámara de moldeo: se lleva a cabo el proceso de formado de las piezas Figura 30, cuenta con perforaciones que posibilitan la captación del aire
- La cámara de vacío: facilita la conexión de los elementos necesarios para el control y la captación del aire a evacuar presente en la cámara de moldeo Figura 31. Contiene la conexión del Vacuómetro, captación de la bomba de vacío y Presostato de baja.

Figura 30. Cámara de moldeo



Fuente: elaboración propia

Figura 31. Cámara de vacío



Fuente: elaboración propia

Todos los elementos del sistema de vacío deben garantizar un cierre hermético, para esto a la cámara de moldeo se adiciona un marco con membrana de silicona y cierre tipo refrigerador Figura 32 que mantenga la presión contenida.

Figura 32. Marco con membrana de silicona



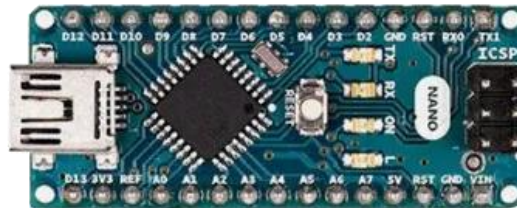
Fuente: elaboración propia

### 6.3 SISTEMA DE CONTROL Y ELECTRICICO

La coordinación y control de los sistemas de vacío y térmico son esenciales para un proceso de termoformado exitoso; la lámina Corian requiere de un control preciso en temperatura de calentamiento y presión de moldeo mantenida; el sistema de control fue desarrollado para ser autónomo en la medición de los parámetros de temperatura y presión de vacío también en el control de encendido y apagado de las resistencias eléctricas y la bomba de vacío. El sistema de control cuenta con la capacidad de restringir la operación de la maquina si detecta la apertura de áreas críticas como el horno y la cámara de moldeo.

El control es secuencial y programado con el software Arduino Anexo F, este es el encargado de controlar los sistemas de calentamiento, presión de vacío y puertas cerradas. La termoformadora cuenta con un Arduino nano Figura 33, un microcontrolador con 14 pines de entrada y 14 de salida.

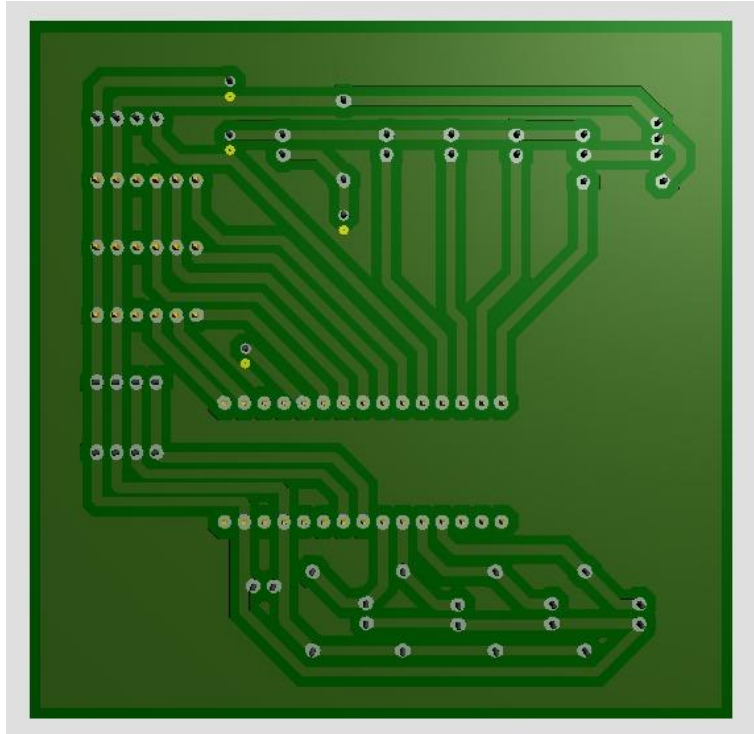
Figura 33. Arduino nano



Fuente: MCI electronics

El microcontrolador estará integrado a una placa rígida de conexión o PCB Figura 34 para permitir la fácil conexión de los diferentes elementos electrónicos sin requerir de soldaduras; el orden óptimo de conexión, así como la ruta de conexión electrónica de la PCB se realizó por medio del programa PROTEUS en el Anexo B se muestra el resultado obtenido de la posición de conexión para cada elemento sobre la PCB.

Figura 34. Placa PCB



Fuente: elaboración propia

**6.3.1 SECUENCIA LOGICA DE OPERACIÓN.** La secuencia lógica de operación de la maquina requiere que esta esté conectada a una fuente de energía de 110Voltios y amperaje de 43Amperios, la secuencia de funcionamiento sin incluir procesos de limpieza, preparación de molde y calibración de presostato de baja consiste en los siguientes pasos:

1. Energizar placa de control
2. Cierre de compuertas del horno y cámara de moldeo
3. Alimentar datos de temperatura y tiempo para precalentamiento del horno
4. Iniciar precalentamiento del horno
5. Ingresar lámina de material al horno
6. Alimentar datos de tiempo y temperatura para precalentamiento del material
7. Iniciar proceso de precalentamiento del material

8. Alimentar datos de tiempo y temperatura para calentamiento del material
9. Iniciar proceso de calentamiento del Corian
10. Apertura del horno y retiro del material blando del horno
11. Cierre de compuerta del horno
12. Apertura de compuerta cámara de moldeo
13. Colocación de lámina blanda en cámara de moldeo, cierre de compuerta de moldeo
14. Alimentar datos de tiempo para moldeo
15. Conservación de la presión de moldeo y enfriamiento del material
16. Retiro de pieza moldeada de la cámara de moldeo
17. Desenergizar placa de control

**6.3.2 ELEMENTOS DE CONTROL DE LA TERMOFORMADORA.** Cada uno de los procesos de la termoformadora cuenta con sus elementos de control correspondientes

**6.3.2.1 CONTROL DE TEMPERATURA.** El control de calentamiento es realizado por el promedio de dos termocuplas tipo k adheridas internamente a las superficies conductoras como lo muestra la Figura 35, estas envían la señal a la placa Arduino para definir el encendido o apagado de los relés eléctricos que alimentan las resistencias.

Figura 35. Termocuplas tipo k para medición de hasta 800°C



Fuente: elaboración propia

El tiempo de calentamiento se define previamente por el operario según el calibre del material y es ingresado al sistema de control por medio de la interfaz humano-maquina.

**6.3.2.2 CONTROL DE PRESION.** La presión de vacío en la cámara de moldeo es controlada por medio de un presostato de baja presión de control diferencial Figura 36

Figura 36. Presostato de control diferencial para baja presión



Fuente: elaboración propia

El operario cuenta con un vacuómetro Figura 37 posicionado en el tablero de control el sirve para tomar registro de la presión de vacío, esto le permite tomar decisiones como la continuidad, parada o alteración de los parámetros del conformado.

Figura 37. Vacuómetro



Fuente: elaboración propia

**6.3.2.3 CRONTOLES DE PUERTA CERRADA.** Se usaron sensores de contacto para final de carrera en las puertas de los sistemas de calentamiento y vacío, en la Figura 38 se muestran estos sensores, de lado izquierdo para la puerta del horno y del lado derecho el de cámara de vacío. La señal de puerta cerrada es necesaria para poder iniciar cualquiera de los dos procesos, garantizando la seguridad del operario y las condiciones óptimas del proceso de termoformado

Figura 38. Sensores de compuertas



Fuente: elaboración propia

#### **6.4 INTERFAZ HUMANO-MAQUINA.**

Para el interfaz humano maquina se cuenta con un tablero de control operable por perillas, interruptores y pulsadores Figura 39 que permiten la alimentación de parámetros y puesta en marcha del proceso; se integra también una pantalla LCD que permite la lectura de los parámetros de operación, como el tiempo restante de proceso o temperatura, los elementos que encontrara el operario son:

- Interruptor de arranque: Inicia los sistemas de control
- Paro de emergencia: Detiene todos los procesos de la máquina.

- Perilla de selección: permite seleccionar entre el proceso de calentamiento o presión.
- Pantalla led: Muestra los estados del proceso, temperatura, tiempo y hora.
- Perilla de función: Edita lo valores del proceso, temperatura, tiempo de calentamiento, tiempo de vacío.
- Interruptor de inicio: Inicia el proceso seleccionado, calentamiento o presión de vacío.
- Perilla de direccional: Dirige el flujo del sistema de vacío controlando la válvula direccional 3/2 de acción manual.
- Interruptor de fin: Termina el proceso seleccionado.
- Vacuómetro: Lectura de presión en precámara de vacío

Figura 39. Tablero de control

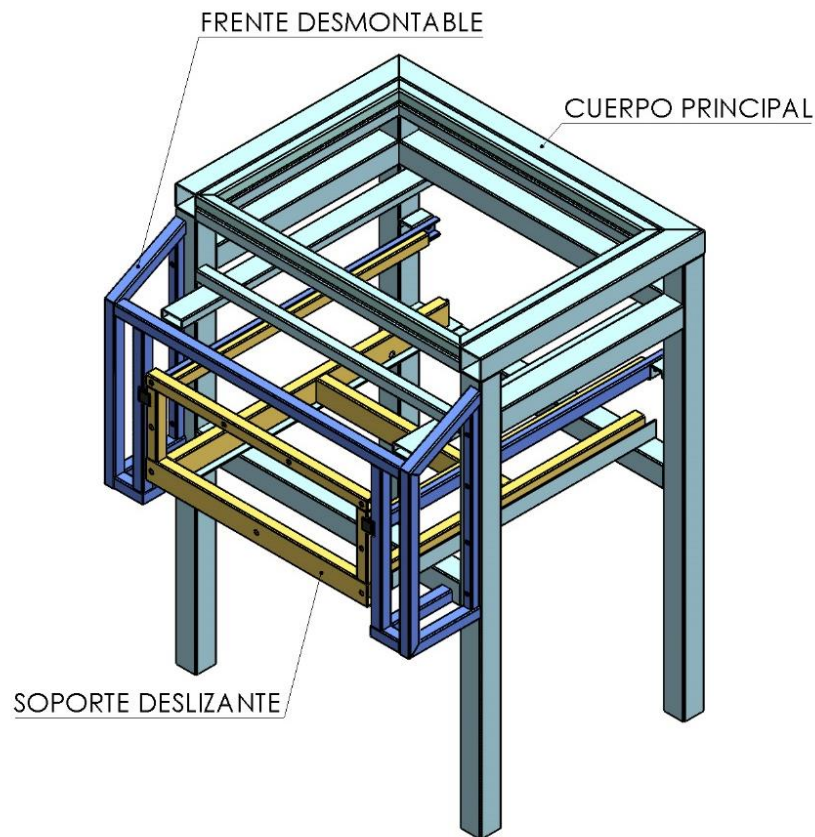


Fuente: elaboración propia

**6.5 BASTIDOR.** El sistema estructural de la maquina debe contener el total de los sistemas que hacen posible el funcionamiento de la termoformadora y permitir la organización de los diferentes elementos sin que haya interferencia o daño cruzado entre los diferentes sistemas. El Bastidor debe tener la resistencia mecánica necesaria para la presión a la que estará sometido el sistema de vacío.

En la Figura 40 se propone una estructura modular en tubería cuadrada de 2x2" y 1x1" de calibre 18. El bastidor se compone de 3 módulos soldados que se unen entre sí por medio de tornillería.

Figura 40. Sistema estructural del bastidor



Fuente: elaboración propia

El sistema estructural está revestido por una cubierta metálica que encierra y protege los elementos que componen los diferentes sistemas. Las cubiertas metálicas sirven además como protección al operario, evitando el contacto con los cajones del horno y las planchas calientes, así como la no manipulación del sistema eléctrico y de control interno. Para evitar la corrosión de la estructura y las cubiertas metálicas se aplicará pintura electrostática Figura 41.

Figura 41. Cubiertas metálicas



Fuente: elaboración propia

**6.6 MOLDE.** El molde está construido en madera MDF, la forma del molde se logró gracias al corte laser de rodajas que posteriormente son pegadas de forma secuencial con silicona roja térmica, este se pule para llevarlo a la forma deseada Figura 42.

Figura 42. Molde tipo macho



Fuente: elaboración propia

## 7. CALIBRACION Y RESULTADOS

Una vez finaliza la selección y cálculo de los diferentes sistemas, se da paso a la instalación final de la maquina termoformadora por vacío Figura 43, a este punto cada uno de los sistemas que la componen se encuentran instalados y listos para operación, aun así la maquina no se encuentra en óptimas condiciones para iniciar un proceso de termoformado optimo, se requiere la puesta a punto de los parámetros para cada etapa y confirmación del correcto funcionamiento de los elementos interconectados. En el Anexo E se encuentra el enlace del video con la descripción de la termoformadora.

Figura 43. Termoformadora por vacío



Fuente: elaboración propia

## **7.1 CALIBRACION DE LA TERMOFORMADORA**

Para la calibración de la maquina termoformadora se plantean tres etapas en las que se busca comprobar el correcto funcionamiento de los elementos internos prestando principal atención al control de los ciclos de encendido para las resistencias eléctricas y la bomba de vacío.

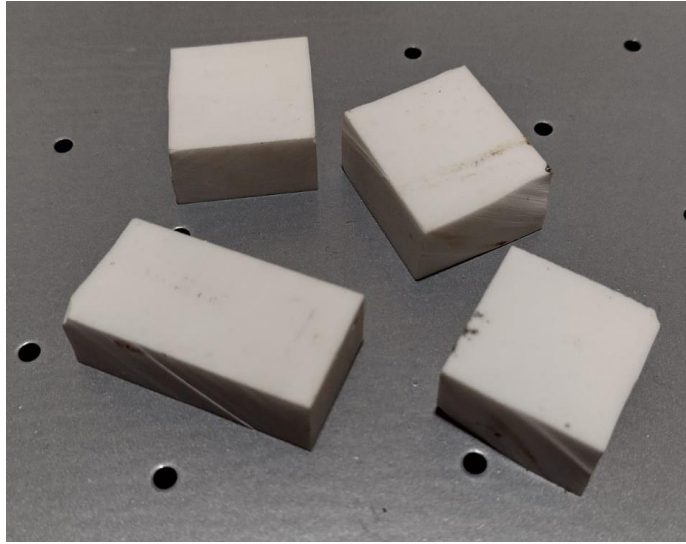
**7.1.1 PRUEBA DEL SISTEMA DE CONTROL.** Como el encargado de mantener la integridad y correcto ciclo del proceso, el sistema de control es el primero en ser calibrado, se busca que el sistema responda ante cambios abruptos en el ciclo de trabajo, como aperturas de las puertas una vez iniciado el calentamiento, la correcta señalización de alarmas y no permitir que la bomba o las resistencias eléctricas produzcan condiciones críticas que comprometan la integridad de la maquina y del operario.

Por medio del panel de control se procedió a programar ciclos de trabajo cortos que permitan confirmar el correcto funcionamiento de los elementos eléctricos sin llevarlos a una condición normal de operación, esto alimentando el sistema con temperaturas y tiempos bajos de calentamiento, así como tiempos bajos para el proceso de vacío.

Una prueba más larga consistió en desconectar de la red eléctrica tanto las resistencias como la bomba de vacío, operando el sistema en valores muy altos de temperatura y tiempo, así como el tiempo de vacío, con el fin de interrumpir el proceso repetidamente por medio de la apertura de puertas, fin de proceso y parada de emergencia. Una vez culminan las pruebas se pudo confirmar el correcto funcionamiento del sistema de control de la máquina.

**7.1.2 PRUEBA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.** Para esta prueba se programa un ciclo de calentamiento completo de 12 minutos con horno desocupado, una vez se confirma la integridad de los demás sistemas, ningún daño producto del calentamiento interno de la máquina ni el sobrecalentamiento de las cubiertas del bastidor se repite la prueba en múltiples oportunidades alimentando el horno con probetas de Corian de aproximadamente 1"x1" Figura 44.

Figura 44. Probetas de Corian para calibración temperatura



Fuente: elaboración propia

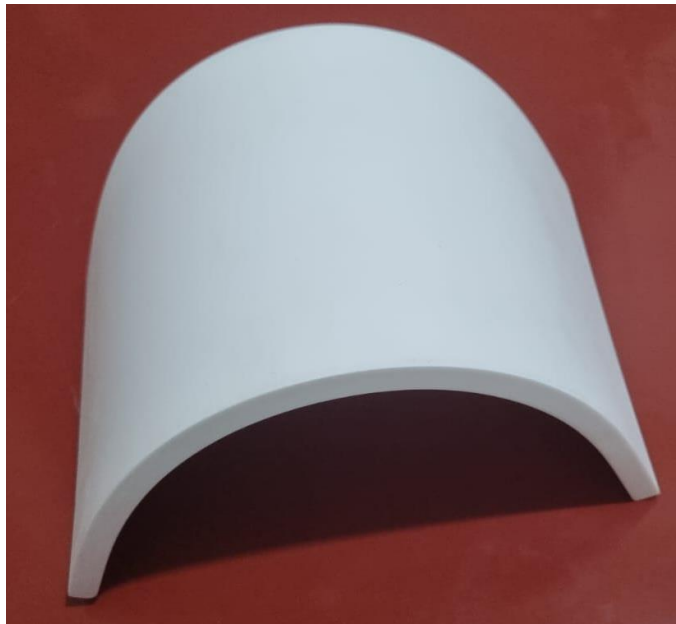
Se pudo comprobar que se crea una caída de temperatura de 15°C aproximadamente cuando las planchas térmicas entran en contacto con la lámina de Corian, también que el tiempo de precalentamiento del horno partiendo desde temperatura ambiente debe ser de 2 minutos, lo cual permite llevar el horno a una temperatura de 200°C durante este tiempo no se puede ingresar material al horno o sufrirá sobrecalentamiento, cambio de color y creación de burbujas superficiales; cuando la temperatura desciende hasta los 165°C que es la temperatura del proceso se deben adicionar 15 segundos de calentamiento extra antes de ingresar la lámina de material. Una vez cumplidas estas condiciones el horno está listo para un óptimo proceso de calentamiento.

**7.1.3 PRUEBA DEL SISTEMA DE VACIO.** El sistema de vacío no solo debe proporcionar la fuerza necesaria de moldeo, debe además garantizar esa misma fuerza contenida durante todo el tiempo de enfriamiento del material conformado. Las pruebas aplicadas a este sistema están orientadas en confirmar la no pérdida de presión durante el ciclo de trabajo, también el correcto encendido y apagado de la bomba. Una vez se selló correctamente todas las aberturas descubiertas se da por óptimo el sistema de vacío de la máquina termoformadora.

## 7.2 PRUEBA DE CICLO COMPLETO CON PROBETA

Finalizadas las etapas de calibración, la termoformadora se somete a una prueba de ciclo completo alimentando el proceso con una probeta de lámina Corian de largo 42cm y ancho 18cm con un grosor de 12mm. El resultado de esta prueba fue el correcto termoformado de una superficie curva generada con el material de prueba Figura 45. Se pudo establecer que el tiempo de enfriamiento es de 40 minutos para alcanzar una temperatura inferior a los 85°C.

Figura 45. Prueba de termoformado Corian



Fuente: elaboración propia

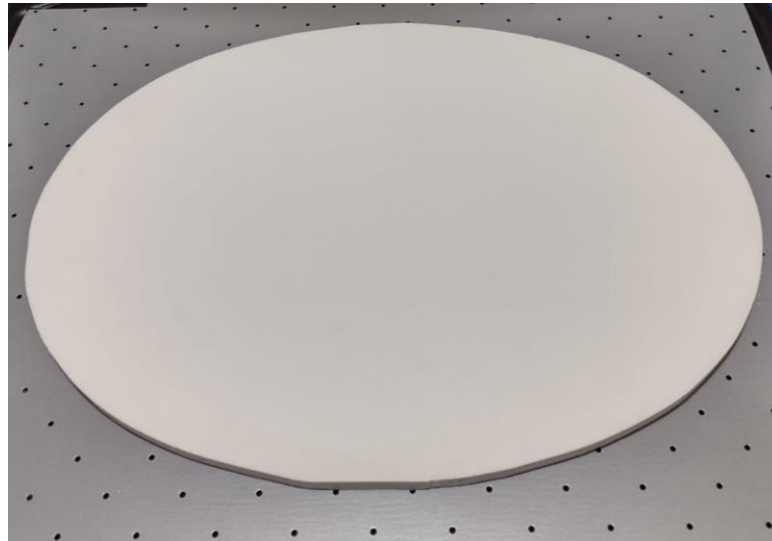
## 7.3 FABRICACION MODELO DE LAVAMOS SEMI-OVALO

La prueba de capacidad operativa de la termoformadora se realiza efectuando el moldeo de un lavamanos semi ovalado con una profundidad de 12cm. El modelo final obtenido

por el proceso de termoformado no contará con el agujero central de desagüe ya que se considera como una tarea ajena a la capacidad operativa de esta máquina; se prestará principal atención a la estética superficial y simetría del elemento conformado.

**7.3.1 PREPARTACION DEL MATERIAL.** El calibre de lámina Corian seleccionado es de 12mm de espesor, grosor empleado comercialmente en lavados y encimeras fabricadas en Corian. Para el termoformado del elemento es necesario recurrir al uso del software Solidworks el cual permite desarrollar un modelo tridimensional y de este obtener un desarrollo del elemento plano, así el material puede ser cortado en cierra de banda, imágenes de la base y laterales en la Figura 46 y Figura 47, de esta forma se obtiene un contorno preciso que elimine la necesidad de un proceso de corte perimetral de rebabas y sobrantes.

Figura 46. Base cortada para fabricación de lavamanos



Fuente: elaboración propia

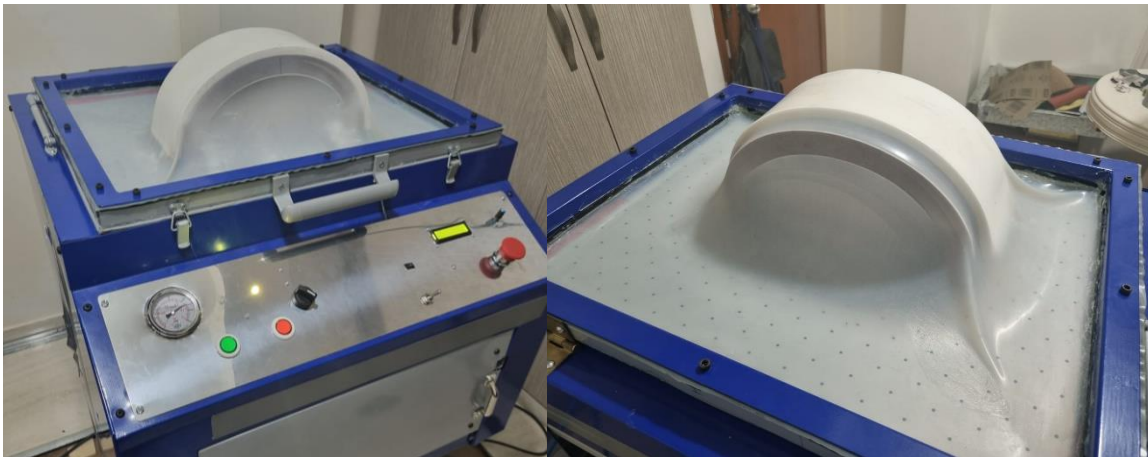
Figura 47. Laterales para fabricación de lavamanos



Fuente: elaboración propia

**7.3.2 FABRICACION DEL LAVAMANOS.** Por medio de un ciclo completo de termoformado se pudo obtener el modelo de lavamos semi ovalado, debido a la dificultad geométrica en la creación del molde, el lavamanos consiste en la unión de tres piezas, solo los laterales son termoformados, la Figura 48 muestra la etapa de moldeo en cámara de vacío para los laterales.

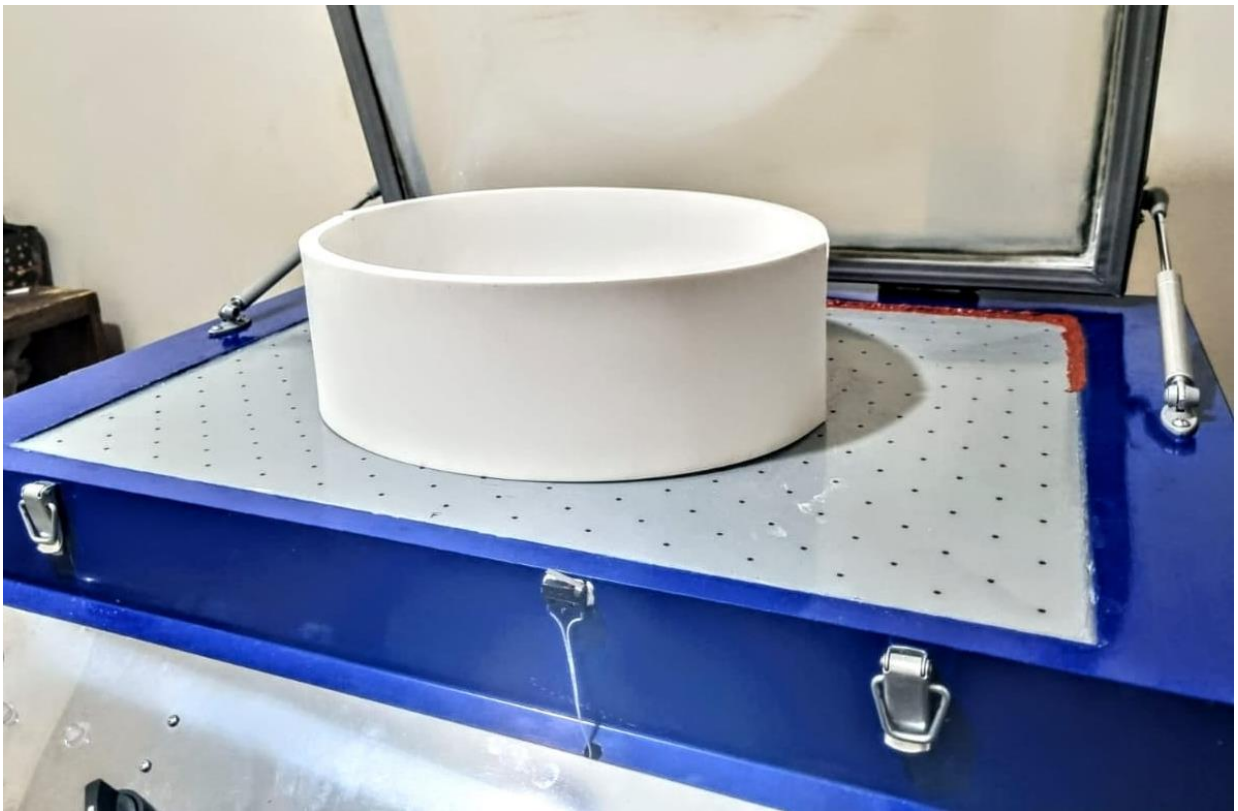
Figura 48. Etapa de moldeo de laterales de lavámanos



Fuente: elaboración propia

Una de las características del Corian es su capacidad de unión sin juntas perceptibles, este proceso solo requiere de un pulido a las caras a unir y el uso de pegante especializado. Los procesos de unión de las piezas y perforación del agujero de desagüe requieren tratamiento en taller externo, el único proceso ajeno a las funciones de la maquina termoformadora que se les aplica a los elementos conformados es un pulido manual con lija de agua. La Figura 49 muestra el lavamanos acoplado sin pegar una vez culmina la etapa de termoformado y pulido.

Figura 49. Lavamanos de contorno ovalado



Fuente: elaboración propia

## **8. ANÁLISIS ECONÓMICO**

Según la empresa TTS Surface una de las principales distribuidoras de láminas Corian en Colombia, existen cerca de quinientos talleres de termoformado en el país, de estos muy pocos cuentan con maquinaria especializada para el termoformado de superficies solidas. Realizando consultas y cotizaciones para la adquisición de termoformadora se comprueba que las únicas opciones que se ofrecen son la adquisición de maquinaria importada de Europa, China y Estados Unidos.

Para interés particular de este proyecto se realizará una comparación de costos entre la adquisición de un equipo de termoformado importado y la inversión realizada para la construcción del prototipo funcional de una termoformadora; los equipos dispuestos para adquisición por importación deben contar con la capacidad para el termoformado de láminas Corian de 12mm de grosor.

La empresa fabricante de equipos de termoformado seleccionada para la cotización de importación fue GLOBAL VACUUM PRESSES, la cual cuenta con estaciones de termoconformado por vacío que integran en una misma estructura horno y cámara de moldeo. La cotización obtenida por GLOBAL VACUUM PRESSES se encuentra en el Anexo C.

### **8.1 INVERSION MONETARIA FABRICACION DE TERMOFORMADORA POR VACIO**

La fabricación de la termoformadora requirió la búsqueda y compra de los equipos y elementos necesarios para su montaje, evidenciándose lo limitado que resulta el mercado nacional en la adquisición de ciertas piezas esenciales; con miras a futuros cambios por mantenimiento y repuestos la totalidad de los elementos adquiridos se encuentran en empresas comercializadoras nacionales, los gastos de transporte entre empresas por ejemplo taller de soldadura, taller de pintura y lugar de ensamblaje final se integraron en las diferentes actividades que los involucran. Lista detallada de precios en Cuadro 10.

Cuadro 10. Lista de costos de elementos y consumibles de fabricación

<b>PRESUPUESTO DE INVERSION</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>SISTEMA DE CALENTAMIENTO</b>			
Resistencias termicas	2	\$ 170.000,00	\$ 340.000,00
Lana de piedra 1" x 1m <sup>2</sup>	1	\$ 140.000,00	\$ 140.000,00
Malla calibre 18 1m <sup>2</sup>	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
lamina galvanizada calibre 18 1 m x 2 m	1,5	\$ 114.500,00	\$ 171.750,00
SUBTOTAL			\$ 666.750,00
<b>SISTEMA DE VACIO</b>			
Bomba de vacio 5,9 CFM	1	\$ 1.200.000,00	\$ 1.200.000,00
Vacuometro	1	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00
Presostato	1	\$ 160.000,00	\$ 160.000,00
Valvula direccional 3/2	1	\$ 90.000,00	\$ 90.000,00
Filtro de aire	1	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
Valvula antiretorno	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
Racores, uniones y acoples neumaticos	20	\$ 4.000,00	\$ 80.000,00
Lamina C.R calibre 16 1m x 2m	1,5	\$ 143.125,00	\$ 214.687,50
Membrana de silic. calibre 16 0,8 m x 1,2 m	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
Tuberia cuadrada de 1" x 1" calibre 18 x 6m	1	\$ 25.500,00	\$ 25.500,00
SUBTOTAL			\$ 2.135.187,50
<b>SISTEMA BASTIDOR</b>			
Tuberia cuadrada de 2" x 2" calibre 18 x 6m	1	\$ 56.200,00	\$ 56.200,00
Tuberia cuadrada de 1" x 1" calibre 18 x 6m	2	\$ 25.500,00	\$ 51.000,00
Tuberia rectangular de 1" x 2" calibre 18 x 6m	0,5	\$ 38.250,00	\$ 19.125,00
Lamina C.R calibre 20 4 ft x 8 ft	1	\$ 91.600,00	\$ 91.600,00
Pintura electrostatica	1	\$ 500.000,00	\$ 500.000,00
SUBTOTAL			\$ 717.925,00
<b>SISTEMA DE CONTROL Y ELECTRICO</b>			
Arduino	1	\$ 64.000,00	\$ 64.000,00
Pantalla Led	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Modulo reloj	1	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
Bateria reloj	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Moduladores termocuplas	2	\$ 40.000,00	\$ 80.000,00
Modulo encoder y perilla	1	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Rele estado solido	3	\$ 40.000,00	\$ 120.000,00
Resistencias termicas	6	\$ 100,00	\$ 600,00
Baquela	1	\$ 26.000,00	\$ 26.000,00
Jack electronico	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Leds neopixel	2	\$ 1.300,00	\$ 2.600,00
Fuente	1	\$ 16.000,00	\$ 16.000,00
Cable ribbon	3	\$ 6.000,00	\$ 18.000,00
Terminal hembra 40 pines	3	\$ 1.400,00	\$ 4.200,00
Terminal 2515	2	\$ 350,00	\$ 700,00
SUBTOTAL			\$ 382.600,00

<b>MOLDE</b>			
Molde en MDF	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 200.000,00
<b>TALLER</b>			
Soldador	1	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00
Tiempo en taller	1	\$ 350.000,00	\$ 350.000,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 650.000,00
<b>CONSUMIBLES</b>			
Siliconas de sellado	1	\$ 500.000,00	\$ 500.000,00
Lijas			
Alambre			
Correas de caucho			
Pegante epoxico			
Bisagras			
Manijas			
Actuadores			
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 500.000,00
<b>TOTAL</b>			\$ 5.252.462,50

Fuente: elaboración propia

## 8.2 COTIZACION DE MAQUINA IMPORTADA

En la cotización solicitada a la empresa GLOVAL VACUUM PRESSES para su estación de termoformado profesional se muestra en la Figura 50. Aunque el modelo seleccionado cuenta con un área de trabajo muy superior al diseño de termoformadora desarrollado en este proyecto se plantearon las siguientes consideraciones para su elección:

- Capacidad de termoformar laminas Corian de 12 mm
- Menor costo de importación (Transporte e Impuestos aduaneros)
- Facilidad de contacto con la empresa comercializadora
- Confianza del mercado en la marca

La cotización de la máquina de importación no incluye costos de transporte por carretera a los que pueda haber cabida.

Figura 50. Especificaciones y costos estación de termoformado.

**Estación de termoconformado Duo Cross-Flow**

**Información del producto**

- ▶ Prensa de membrana al vacío con horno de aire caliente
- ▶ Sistema de calentamiento por convección "Cross-Flow" patentado por Global
- ▶ Tablero compacto HPL de 18 mm con hasta 32 puntos de succión
- ▶ Ranuras multiperforadas para una evacuación uniforme del aire
- ▶ Bomba de vacío rotativa de paletas, libre de aceite y mantenimiento
- ▶ Máx. presión de vacío 8,5 t/m<sup>2</sup>
- ▶ Presostato para modo bomba continua o automática
- ▶ Sistema electrónico de control de temperatura con "Auto-tuning"
- ▶ Horno termoaislante con cajón corredizo
- ▶ Varias membranas disponibles
- ▶ 400 Voltios, 3~, 50 Hz



Codigo	Área de prensado total <sup>1</sup>	Zona de calentamiento	Bomba de vacío	Membrana	Precio en Euro
TS-DC-2514	264 x 142 cm	240 x 100 cm	40 m <sup>3</sup> /h	SI	24.360,-
TS-DC-3114	324 x 142 cm	300 x 100 cm	40 m <sup>3</sup> /h	SI	25.560,-
TS-DC-3714	384 x 142 cm	360 x 100 cm	40 m <sup>3</sup> /h	SI	26.760,-

<sup>1</sup> Dimensiones interiores del marco de la membrana

Fuente: GLOBAL VACUUM PRESSES. Estación termoconformado Dúo Cross-Flow TS-DC. España. 2023

La lista de costos de importación detallada se muestra en el Cuadro 11 para el modelo TS-DC-2514.

Cuadro 11. Costos detallados adquisición equipo importado TS-DC-2514

CONCEPTO	PORCENTAJE SOBRE VALOR DE ADQUISICION	TARIFA
ADQUISICION DEL EQUIPO	****	\$ 104.880.000,00
TRANSPORTE PUERTO A PUERTO	****	\$ 7.965.000,00
GRAVAMEN IMPORTACIONES MAQUINARIA PROVENIENTES DE ESPAÑA	0%	\$ 0,00
OTROS IMPUESTOS	19%	\$ 19.927.200,00
GESTION DE LA DOCUMENTACION	****	\$ 860.000,00
TOTAL		\$ 133.632.200,00

Fuente: elaboración propia

## 9. CONCLUSIONES

El prototipo de termoformadora por vacío para laminas compuestas por PMMA y ATH trabaja con un voltaje de 110V y un amperaje de 48 Amperios. Incorporados en un mismo bastidor se encuentran el sistema de calentamiento de doble plancha caliente con control electrónico de temperatura y sistema de moldeo con capacidad de generar un vacío de 34 psi. Se recomienda la operación de la maquina solo a través de su tablero de control y bajo la guía del manual de usuario suministrado en este documento.

Se determino el precalentamiento del horno en 2 minutos para alcanzar una temperatura de 200°C, una vez la temperatura haya disminuido a 165°C se realiza un segundo precalentamiento de 15 segundos; esto garantiza una temperatura uniforme en las dos superficies conductoras para iniciar el proceso de calentamiento. Se establece un tiempo de calentamiento de 1 minuto por milímetro de grosor de material a una temperatura de 160°C  $\pm$ 10°C.

El prototipo es funcional para el termoformado de láminas compuestas por PMMA y ATH de calibres 6mm, 9mm y 12mm; con área superficial de 51cm x 43 cm; que generen modelos de máximo 15 cm de altura.

Esta propuesta de diseño crea una oferta hasta ahora inexistente en el mercado nacional, representando una alternativa que contrasta con los altos costos de importación de maquinaria especializada para el termoformado de lamias compuestas por PMMA y ATH.

La oferta comercial de un taller de termoformado se limita a la capacidad de diseño y desarrollo de moldes en base a la complejidad del modelo final requerido. Se establece el molde como elemento determinante en el éxito o fracaso del termoformado más allá de la capacidad misma de procesamiento de la máquina.

## BIBLIOGRAFIA

AVALLONE, Eugene. A, ED y BAUMEISTER III, Theodore, ED. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. 3 ed. México: MCGRAW-HILL, C1995. Vol. 2

CAMARA DE COMERCIO DE BUCARAMANGA. Balance de la construcción en Santander. Bucaramanga: 2021. 21p

DUPONT CORIAN. Boletín de producto: Descripción del producto DuPont Corian, 2015. 4 p. [Consultado: 28 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://www.corian.es/-documentation->

DUPONT CORIAN. Boletín técnico: Propiedades de rendimiento de DuPont Corian, 2015. p. 1 [Consultado: 28 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://www.corian.es/-documentation->

DUPONT CORIAN. Diseño e información técnica: The Corian Book, 2007. 43p

DUPONT CORIAN. Resumen de Técnicas de Transformación. Bélgica: ENDLESS EVOLUTION, 2004. 28p

DUPONT. Superficie Sólida Corian Haga Visiones Creativas Reales. Lugar de publicación: California - Los Angeles - Edgecast Inc. [Consultado: 28 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://www.corian.es/-home->.

DUPONT CORIAN. ¿Qué es Corian? Libertad para crear alto rendimiento. ENDLESS EVOLUTION, 2014. 8 p [Consultado: 28 de agosto de 2023]. Disponible en: <https://www.corian.es/-documentation->

ESPAÑA, Jairo Ernesto y DELGADO, Juan Carlos. Termoformadora al vacío alimentada por rodillo diseño y construcción. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica, 2005. 136p

FORERO, Daniel Ferney; SANTANA, Daniel Henrique y PIRACUN, Hugo Leonardo. Diseño de máquina de termoformadora didáctica para el laboratorio de materiales de ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Trabajo de grado Especialista en Gestión de Proyectos de ingeniería. Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2018. 143p

LÓPEZ, Juan Sebastián y LOZANO, Edwing Alexander. Diseño de una máquina de termoformado multifuncional didáctica para el laboratorio de procesos en la fundación Universidad de América. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bogotá D.C: Fundación Universidad de América. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería mecánica, 2021. 185p

MULTILAN. Manual de Transformación del Corian. México. 306p

ROJAS GARCÍA, Hernán. Plásticos: materiales y procesos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander DTO de ingeniería mecánica, 1993. 150p

URANUS. Ficha técnica lavamanos y pocetas acrílicas. Medellín: 2021. 14p

VAN DEN BERG, Lisa. Development of 2nd Generation Proteinous Bioplastics. Hamilton: The University of Waikato (2009). 134p

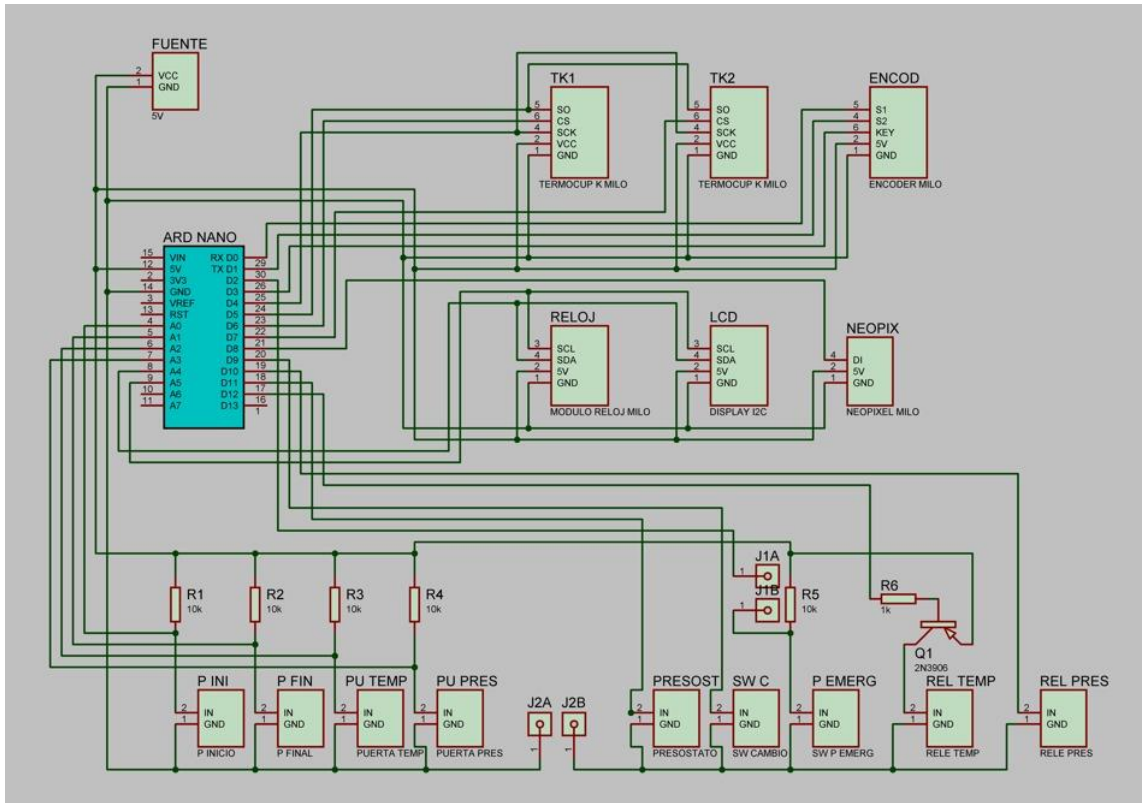
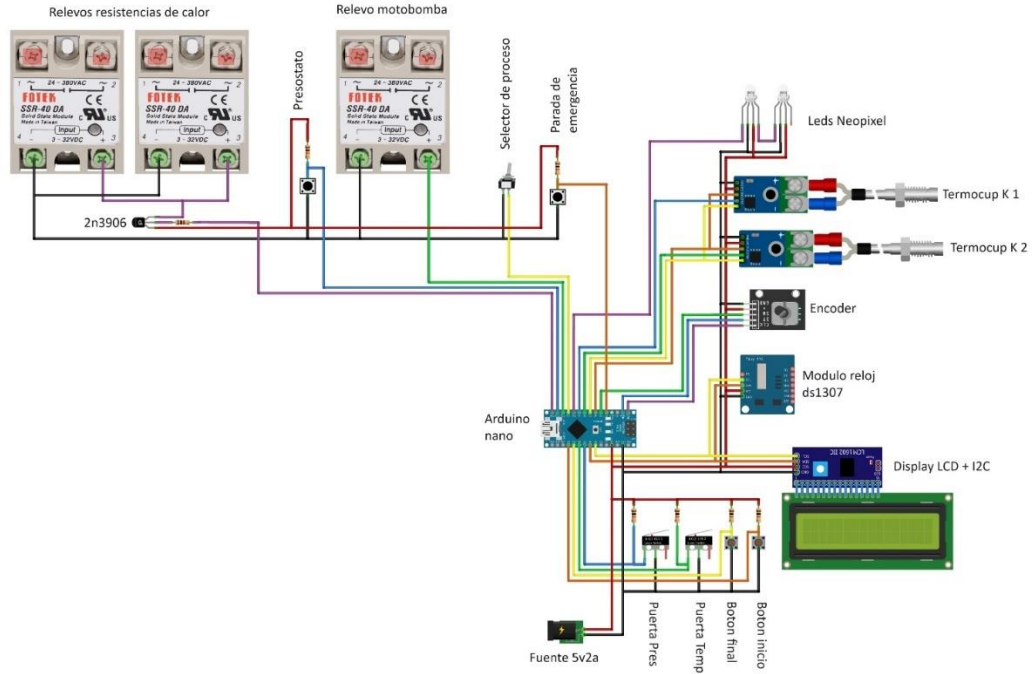
## ANEXOS

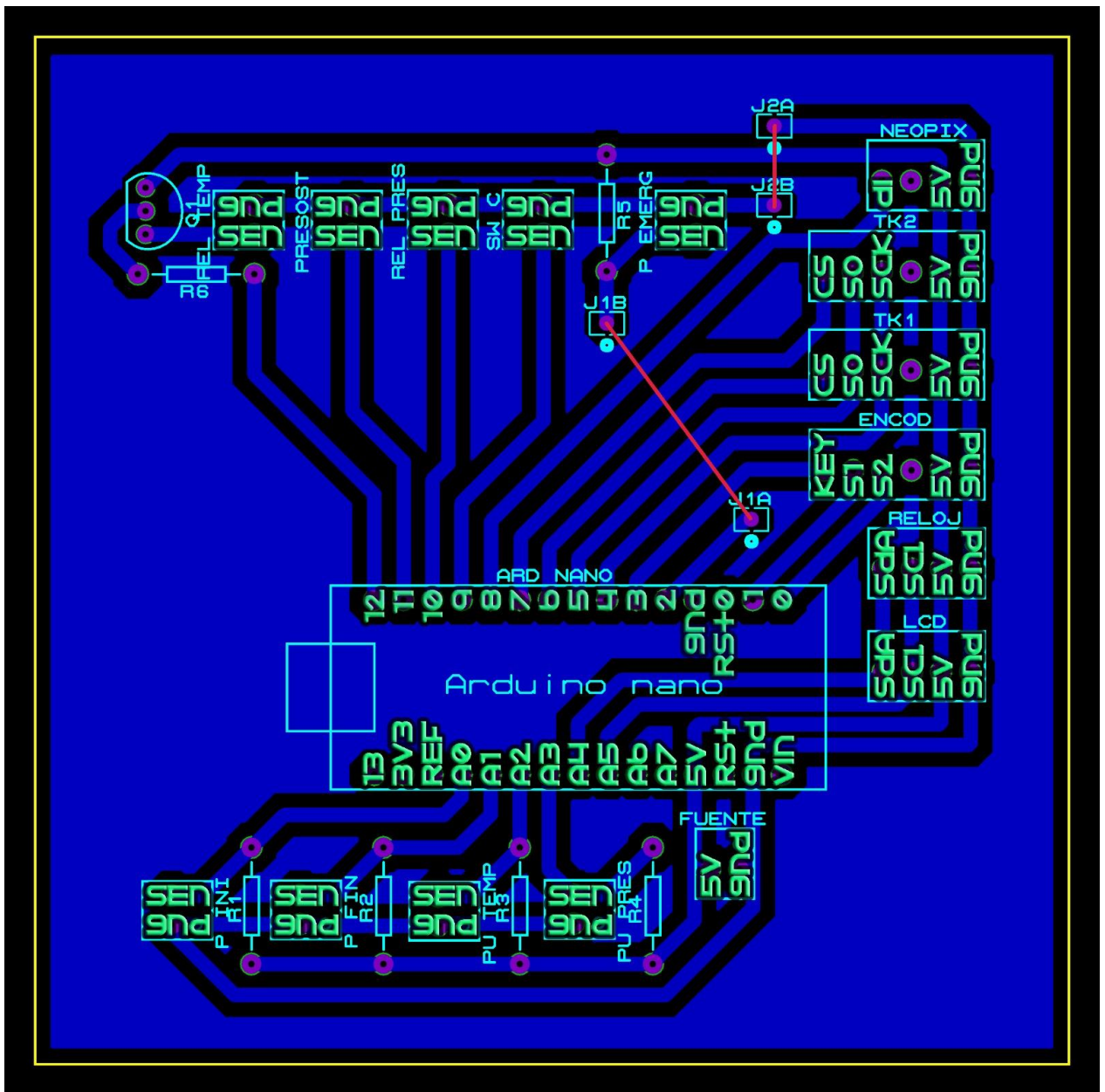
### Anexo A. Valores obtenidos experimentalmente para ensayo de calorimetría

P. Recipiente (°C)	Dt Corian	DT Agua	Q. Corian	Q. Agua	Q. Icopor	Cp Corian
26	0	0	0	0	0	0
26,8	14	1,4	5,44299253	5,25263269	0,19035984	2,69428399
27,1	19,5	1,6	6,16164198	6,00300878	0,1586332	2,18975496
27,2	23	1,9	7,35065941	7,12857293	0,22208648	2,21478785
27,3	26,5	2	7,72584746	7,50376098	0,22208648	2,02038402
27,3	28,6	2,2	8,53967684	8,25413708	0,28553976	2,06923146
27,4	31,5	2,3	8,91486489	8,62932513	0,28553976	1,96127224
27,5	33,8	2,4	9,29005294	9,00451318	0,28553976	1,90473761
27,6	37,2	2,6	10,0721557	9,75488927	0,3172664	1,87634701
27,7	40	2,7	10,4473437	10,1300773	0,3172664	1,81000411
27,8	41,2	2,8	10,8225318	10,5052654	0,3172664	1,82039369
27,8	42,2	2,8	10,8225318	10,5052654	0,3172664	1,7772564
27,9	43,1	2,8	10,7908051	10,5052654	0,28553976	1,73504302
27,9	44,2	2,9	11,1977198	10,8804534	0,3172664	1,75566235
27,9	44,9	2,9	11,1977198	10,8804534	0,3172664	1,72829122
27,9	45,4	2,9	11,1977198	10,8804534	0,3172664	1,70925718
27,9	45,8	2,9	11,1977198	10,8804534	0,3172664	1,69432917
27,9	46,3	2,9	11,1977198	10,8804534	0,3172664	1,67603188
27,9	46,6	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,72575531
27,9	47	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,71106803
28	47,2	3	11,5729079	11,2556415	0,3172664	1,69915957
27,9	47,5	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,69305679
27,9	47,7	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,68595802
27,9	47,9	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,67891853
27,9	48,1	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,67193758
27,9	48,4	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,66157433
27,9	48,6	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,65473658
27,9	48,8	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,64795487
27,9	48,9	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,64458482
27,9	49,1	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,6378859
27,9	49,2	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,63455686
27,9	49,3	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,63124133
27,9	49,4	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,62793922
27,9	49,5	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,62465046
27,9	49,5	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,62465046
27,9	49,6	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,62137495
27,9	49,7	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,61811263
27,9	49,7	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,61811263
27,9	49,8	3	11,6046345	11,2556415	0,34899304	1,61486341

27,9	49,8	3,1	12,0115492	11,6308295	0,38071968	1,67148834
27,9	49,9	3,1	12,0115492	11,6308295	0,38071968	1,66813866
27,9	50	3,1	12,0115492	11,6308295	0,38071968	1,66480238
27,9	50	3,1	12,0115492	11,6308295	0,38071968	1,66480238
27,9	50,1	3,1	12,0115492	11,6308295	0,38071968	1,66147942
27,9	50,1	3,1	12,0115492	11,6308295	0,38071968	1,66147942
27,8	50,2	3,1	12,0432758	11,6308295	0,41244632	1,6625495
27,8	50,2	3,1	12,0432758	11,6308295	0,41244632	1,6625495
27,8	50,2	3,1	12,0432758	11,6308295	0,41244632	1,6625495
27,8	50,2	3,1	12,0432758	11,6308295	0,41244632	1,6625495
27,8	50,3	3,1	12,0432758	11,6308295	0,41244632	1,65924424
27,8	50,3	3,1	12,0432758	11,6308295	0,41244632	1,65924424
27,8	50,3	3,1	12,0432758	11,6308295	0,41244632	1,65924424
27,7	50,4	3,1	12,0750025	11,6308295	0,44417296	1,6603145
27,7	50,4	3,1	12,0750025	11,6308295	0,44417296	1,6603145
27,7	50,4	3,1	12,0750025	11,6308295	0,44417296	1,6603145
27,7	50,4	3,1	12,0750025	11,6308295	0,44417296	1,6603145
27,7	50,4	3,1	12,0750025	11,6308295	0,44417296	1,6603145
27,7	50,4	3,1	12,0750025	11,6308295	0,44417296	1,6603145
						1,73591524

## Anexo B. Esquema de montaje circuito panel de control y configuración de circuito para la PCB obtenido por medio del programa PROTEUS





## Anexo C. Cotización estación de termoformado TS-DC-2514

### Estación termoconformado Duo Cross-Flow TS-DC



**GLOBAL**  
VACUUM PRESSES

#### Estacion de termoconformado Duo Cross-Flow

##### Información del producto

- ▶ Prensa de membrana al vacío con horno de aire caliente
- ▶ Sistema de calentamiento por convección "Cross-Flow" patentado por Global
- ▶ Tablero compacto HPL de 18 mm con hasta 32 puntos de succión
- ▶ Ranuras multiperforadas para una evacuación uniforme del aire
- ▶ Bomba de vacío rotativa de paletas, libre de aceite y mantenimiento
- ▶ Máx. presión de vacío 8,5 t/m<sup>2</sup>
- ▶ Presostato para modo bomba continua o automática
- ▶ Sistema electrónico de control de temperatura con "Auto-tuning"
- ▶ Horno termoaislante con cajón corredizo
- ▶ Varias membranas disponibles
- ▶ 400 Voltios, 3~, 50 Hz



Código	Área de prensado total <sup>1</sup>	Zona de calentamiento	Bomba de vacío	Membrana	Precio en Euro
TS-DC-2514	264 x 142 cm	240 x 100 cm	40 m <sup>3</sup> /h	SI	24.360,-
TS-DC-3114	324 x 142 cm	300 x 100 cm	40 m <sup>3</sup> /h	SI	25.560,-
TS-DC-3714	384 x 142 cm	360 x 100 cm	40 m <sup>3</sup> /h	SI	26.760,-

<sup>1</sup> Dimensiones interiores del marco de la membrana

#### Opciones

Código	Descripción	Precio en Euro
SI25	Membrana de silicona de altura de 250 mm	890,-
SI50	Membrana de silicona de altura de 500 mm	1.100,-
OP-40	Bomba de vacío lubricada con aceite de 40 m <sup>3</sup> /h	655,-

HH-S	Módulo de calentamiento para prensas Duo	5.470,-
------	--	---------



SI = Membrana de silicona

**Los gastos de embalaje no están incluidos.**

**Precios y características técnicas reservados a cambios sin previo aviso. La imagen puede diferir del original.**

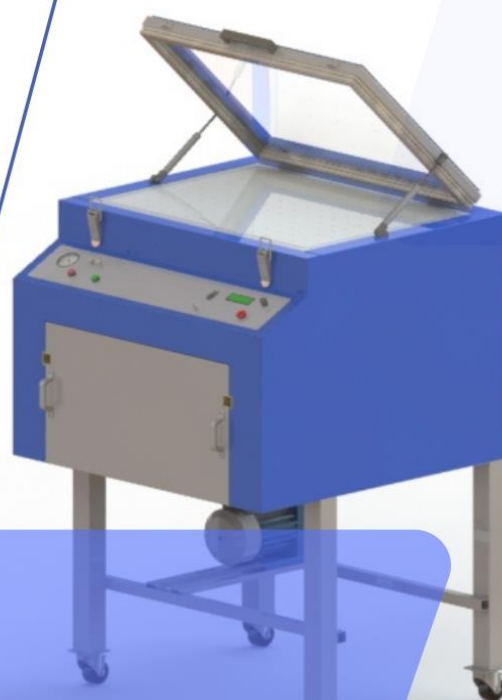
#### Global Vacuum Presses

Pol. Industrial Moncada III | Avda. Pared del Patriarca 4 | 46113 Moncada | (Valencia) | España  
Tel: +34 961 526 000 | info@globalvacuumpresses.com | www.globalvacuumpresses.com  
VAT: ES-B96939095

Anexo D. Manual de operaciones para Termoformadora por vacío



Universidad  
Industrial de  
Santander



**MANUAL DE USUARIO**

**TERMOFORMADORA  
TM-DUO-5143**

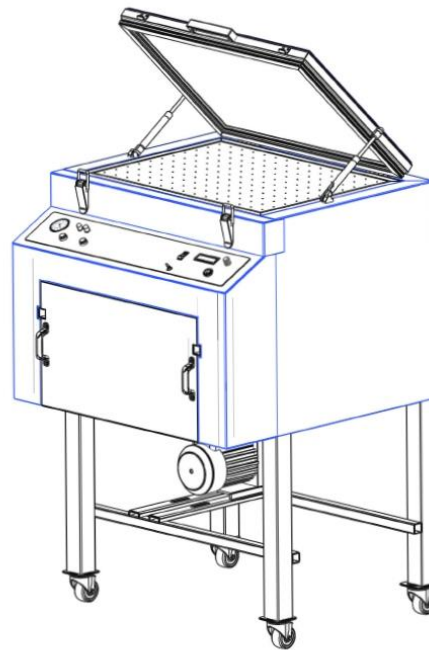


Universidad  
Industrial de  
Santander

## Termoformadora TM-DUO-5143

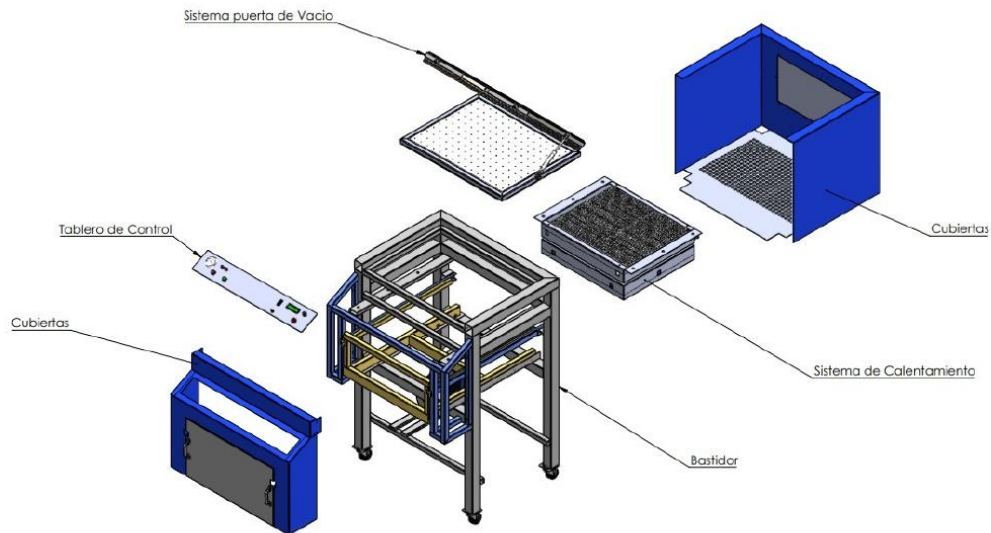
Área de prensado total:  
580x430mm

Área de calentamiento total :  
510x430mm



### INFORMACION DEL MODELO

- Prensado al vacío por membrana de silicona
- Cámara de moldeo microperforada para evacuación simétrica
- Horno de planchas calientes con conducción
- Bomba de vacío de dos etapas con capacidad de 15 Micrones
- Tablero de control
- Horno termo-aislado de bandeja corrediza
- Control electrónico de temperatura
- Control automático de presión por presostato
- Conexión eléctrica a 120V - 60HZ



**La Termoformadora TM-DUO-5143 esta diseñada para operar cada etapa del proceso de formado en una sola estructura**

**La cámara de moldeo se posiciona en la parte superior y cuenta con membrana de silicona adaptativa capaz de tomar la forma que se requiera según la geometría del molde**

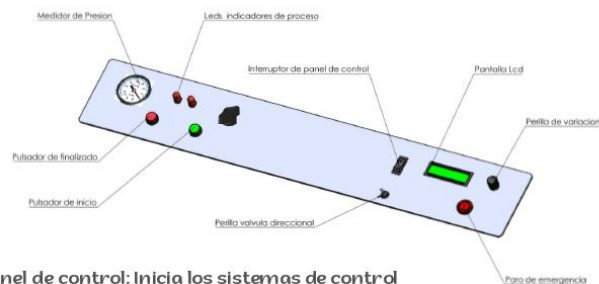
**Cuenta con un horno de doble plancha térmica capaz de apartarse al ancho de lamina del material, por medio de sistema de compresión por resortes**

## ¡ANTES DE ENCENDER LA MAQUINA!



- La maquina requiere mínimo 40 Amperios para su funcionamiento
- Chequee la integridad del cableado eléctrico
- No deben haber fugas de aceite, si las hay provienen de la bomba de vacío
- Revise la integridad de la membrana silicona
- No debe haber aumento de temperatura en el horno a menos que se encuentre en marcha el proceso de calentamiento
- Prepare la lamina de material previamente cortada
- Prepare y limpie el molde, se recomienda posicionar este en la cámara de moldeo antes de iniciar el proceso de calentamiento

## TABLERO DE CONTROL



- **Interruptor de panel de control:** Inicia los sistemas de control
- **Paro de emergencia:** Detiene todos los procesos de la máquina.
- **Perilla de selección:** permite seleccionar entre el proceso de calentamiento o presión.
- **Pantalla LCD:** Muestra los estados del proceso, temperatura, tiempo y hora.
- **Perilla de función:** Edita lo valores del proceso, temperatura, tiempo de calentamiento, tiempo de vacío.
- **Interruptor de inicio:** Inicia el proceso seleccionado, calentamiento o presión de vacío.
- **Perilla válvula direccional:** Dirige el flujo del sistema de vacío controlando la válvula direccional 3/2 de acción manual.
- **Interruptor de fin:** Termina el proceso seleccionado.
- **Medidor de presión:** Vacuómetro lectura de presión en precámara de vacío
- **LEDs indicadores:** Según el color determinan el estado del proceso



Universidad  
Industrial de  
Santander

## ENCENDIDO Y PREPARACION



### ES OBLIGATORIO SEGUIR LAS INSTRUCCIONES DE USO

Una vez conectada la maquina al toma corriente pulse el interruptor del panel de control para energizar

Energizado el panel de control se mostrara en la pantalla LCD “CONTROL DE TEMPERATURA Y PRESION” y se dará paso a la configuración del control del proceso de temperatura

Para precalentar el horno, por medio de la perilla de variación aumenté la temperatura girando esta en sentido horario hasta el valor deseado de 200°C, pulse la perilla para poder acceder al control de tiempo, con 2 minutos será suficiente, pulse por segunda vez la perilla para confirmar los parámetros de precalentamiento del horno



NO lleve la temperatura de la maquina mas allá de los 350°C a este punto ya esta en riesgo la integridad de la maquina. Elevar las temperatura por los 500°C deformara las planchas térmicas del horno



El proceso de precalentamiento no se podrá llevar a cabo si los leds indicadores de proceso están rojos, si están rojos las compuerta del horno no esta bien cerrada, debe ser cerrada para continuar



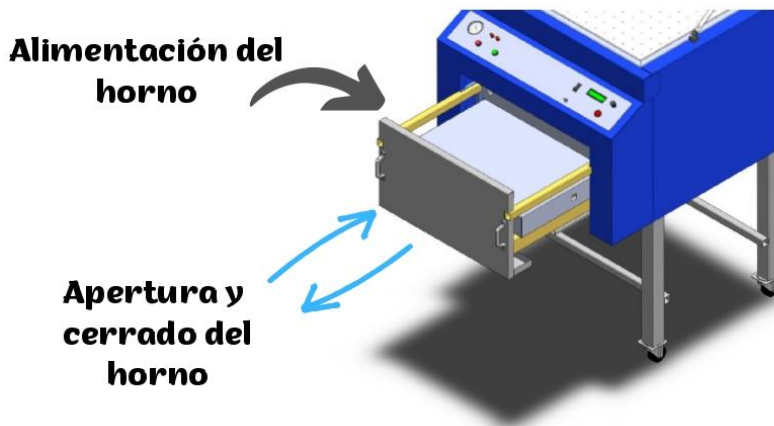
Para este punto el horno ya representa un riesgo de quemadura para el operario, se deben usar los elementos de protección personal

## ETAPAS BASICAS DEL PROCESO DE TERMOFORMADO

**1** Preparación del material:  
no puede exceder los 510x430mm, calibres de lamina permitidos de 6, 9 y 12mm

Precaentamiento del horno:  
El horno no debe ser alimentado con material estando frio se requiere un precalentamiento a 200°C por 2 minutos

**3** Calentamiento del material:  
El horno debe ser alimentado con material a una temperatura de 165°C para un tiempo inicial de 15segundos.  
Posteriormente se lleva acabo un proceso de calentamiento de 1 minuto por milímetro de calibre de material



## ETAPAS BASICAS DEL PROCESO DE TERMOFORMADO

4

Extracción material caliente:

La lamina previamente calentada del material se debe retirar con el uso de guantes de carnaza para soldadura, retirar el material con pincas y otros elementos puede dejar marcas

Transporte intersistemas:

El material debe pasar del horno a la cámara de moldeo en el menor tiempo posible y de forma segura

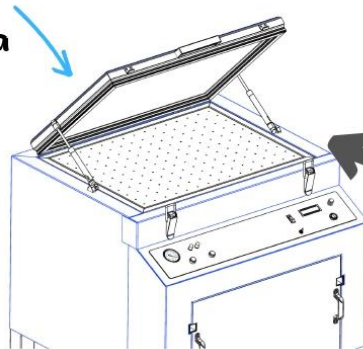
5

6

Posicionamiento del material para moldeo:

El material debe ubicarse sobre el molde previamente situado sobre la mesa microperforada de moldeo, en una posición optima según diseño del molde, se recomienda lubricar el molde y la membrana de silicona con talco

**Sellado cámara  
de moldeo**



**Posicionamiento  
material cámara  
de moldeo**



## ETAPAS BASICAS DEL PROCESO DE TERMOFORMADO

7

Extracción material moldeado:

Antes de despresurizar la cámara de moldeo se debe medir la temperatura superficial de la membrana de silicona, esta debe ser menor a los 85°C . El elemento termoformado debe ser desmontado con guantes de carnaza para soldado

Procesos extra al termoformado:

La pieza termoformada puede ser sometida a procesos de corte de rebabas y pulido superficial una vez se encuentre a temperatura ambiente.

8

## SECUENCIA LOGICA DE OPERACION

1. Energizar placa de control
2. Cierre de compuertas del horno y cámara de moldeo
3. Alimentar datos de temperatura y tiempo para precalentamiento del horno
4. Iniciar precalentamiento del horno
5. Ingresar lámina de material al horno
6. Alimentar datos de tiempo y temperatura para precalentamiento del material
7. Iniciar proceso de precalentamiento del material
8. Alimentar datos de tiempo y temperatura para calentamiento del material
9. Iniciar proceso de calentamiento del Corian
10. Apertura del horno y retiro del material blando del horno
11. Cierre de compuerta del horno
12. Apertura de compuerta cámara de moldeo
13. Colocación de lámina blanda en cámara de moldeo, cierre de compuerta de moldeo
14. Alimentar datos de tiempo para moldeo
15. Conservación de la presión de moldeo y enfriamiento del material
16. Retiro de pieza moldeada de la cámara de moldeo
17. Desenergizar placa de control

Anexo E. Video presentación del prototipo de termoformadora por vacío

Disponible en la plataforma YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=c0pfWIW8hyw>





```
banderaconf=0; //cambia el valor de la bandera para salir del menu
led.clear(); //limpio pantalla
led.setCursor(0, 0);
led.print(" CONFIGURACION ");
led.setCursor(0, 1);
led.print(" INICIO ");
delay(1000); //delay para mostrar el mensaje
led.clear(); //limpio pantalla
delay(100);
}
else{
}
}
}
```

```
//Espera a que se presione el boton de inicio de proceso para comenzar a calcular
//funcion para ser (iniciar proceso)
void inicioProc() {
  //Inicio de proceso
  if (digitalRead(BOTON_INICIO) == HIGH) //Si se detecta que el boton está presionado y que el estado anterior estaba sin presionar
  {
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.clear(); //limpio pantalla
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
    //cambia el valor de la bandera
    banderaconf=1;
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
  }
}
//Guardo los valores de tiempo en el momento en el que se presiona el boton inicio de proceso
float time now = millis();
segundos=now/1000;
while(inicioProc()==1)
{
  //enciendo led neopixel con el color deseado
  pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
  pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configure
  delay(1000);
}
```

```
void inicioProc() {
  //Inicio de proceso
  if (digitalRead(BOTON_INICIO) == HIGH) //Si se detecta que el boton está presionado y que el estado anterior estaba sin presionar
  {
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.clear(); //limpio pantalla
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
    //cambia el valor de la bandera
    banderaconf=1;
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
  }
}
//Guardo los valores de tiempo en el momento en el que se presiona el boton inicio de proceso
float time now = millis();
segundos=now/1000;
while(inicioProc()==1)
{
  //enciendo led neopixel con el color deseado
  pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
  pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configure
  delay(1000);
}
```

```
void inicioProc() {
  //Inicio de proceso
  if (digitalRead(BOTON_INICIO) == HIGH) //Si se detecta que el boton está presionado y que el estado anterior estaba sin presionar
  {
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.clear(); //limpio pantalla
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
    //cambia el valor de la bandera
    banderaconf=1;
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
  }
}
```

```
int resistencia=0, i;
led.print(" RESISTENCIA ");
//enciendo led neopixel con el color deseado
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0,0,0)); // (R,G,B), neopixel
pixels.show(); // Imprimo el color en el led que se configure
delay(1000); //retardo de 3 segundos
//Apago la resistencia de calor
digitalWrite(resistenciaacion, HIGH); //Activa con 0, desactiva con 1
//Activo bandera contador tiempo para salir del ciclo while
inicioProc();
//Activo la bandera para entrar al menu y ajustar de nuevo los valores
banderaconf=0;
// se pulsa el boton de fin de proceso, imprimo mensaje y enciendo el led verde por 2 segundos
int analogReadBotFinal=0;
//Muestro mensaje de que se finalizo tiempo
led.clear(); //limpio pantalla
led.setCursor(0, 0);
led.print(" FIN DE PROCESADO ");
led.setCursor(0, 1);
led.print(" RESISTENCIA ");
//enciendo led neopixel con el color deseado
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0,0,0)); // (R,G,B), neopixel
pixels.show(); // Imprimo el color en el led que se configure
delay(1000); //retardo de 3 segundos
//Apago la resistencia de calor
digitalWrite(resistenciaacion, HIGH); //Activa con 0, desactiva con 1
//Reinicio contadores
contador=0;
tempo=0;
//Activo bandera inicio y final para salir del ciclo while
inicioProc();
//Activo la bandera para entrar al menu y ajustar de nuevo los valores
banderaconf=0;
// se pulsa el boton de fin de proceso, imprimo mensaje y enciendo el led verde por 2 segundos
int analogReadBotFinal=0;
//Muestro mensaje de que se finalizo tiempo
led.clear(); //limpio pantalla
led.setCursor(0, 0);
led.print(" FIN DE PROCESADO ");
led.setCursor(0, 1);
led.print(" RESISTENCIA ");
//enciendo led neopixel con el color deseado
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0,0,0)); // (R,G,B), neopixel
pixels.show(); // Imprimo el color en el led que se configure
delay(1000); //retardo de 3 segundos
//Apago la resistencia de calor
digitalWrite(resistenciaacion, HIGH); //Activa con 0, desactiva con 1
//Reinicio contadores
contador=0;
tempo=0;
//Activo bandera inicio y final para salir del ciclo while
inicioProc();
//Activo la bandera para entrar al menu y ajustar de nuevo los valores
banderaconf=0;
```

```
void inicioProc() {
  //Inicio de proceso
  if (digitalRead(BOTON_INICIO) == HIGH) //Si se detecta que el boton está presionado y que el estado anterior estaba sin presionar
  {
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.clear(); //limpio pantalla
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
    //cambia el valor de la bandera
    banderaconf=1;
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
  }
}
//Guardo los valores de tiempo en el momento en el que se presiona el boton inicio de proceso
float time now = millis();
segundos=now/1000;
while(inicioProc()==1)
{
  //enciendo led neopixel con el color deseado
  pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
  pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configure
  delay(1000);
}
```

```
define now = millis(); //almacenar el tiempo actual en la variable tipo datetime llamada now
//Inicio de proceso
if (digitalRead(BOTON_INICIO) == HIGH) //Si se detecta que el boton está presionado y que el estado anterior estaba sin presionar
{
  //Muestra mensaje de inicio de proceso
  led.clear(); //limpio pantalla
  led.setCursor(0, 0);
  led.print(" INICIO ");
  led.setCursor(0, 1);
  led.print(" PROCESANDO ");
  delay(1000); //retardo de 3 segundos
  //cambia el valor de la bandera
  banderaconf=1;
  //Muestra mensaje de inicio de proceso
  led.setCursor(0, 0);
  led.print(" INICIO ");
  led.setCursor(0, 1);
  led.print(" PROCESANDO ");
  delay(1000); //retardo de 3 segundos
}
//Guardo los valores de tiempo en el momento en el que se presiona el boton inicio de proceso
float time now = millis();
segundos=now/1000;
while(inicioProc()==1)
{
  //enciendo led neopixel con el color deseado
  pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
  pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configure
  delay(1000);
}
```

```
pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0,0,0)); // (R,G,B), neopixel
pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configure
}
}
```

```
void inicioProc() {
  //Inicio de proceso
  if (digitalRead(BOTON_INICIO) == HIGH) //Si se detecta que el boton está presionado y que el estado anterior estaba sin presionar
  {
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.clear(); //limpio pantalla
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
    //cambia el valor de la bandera
    banderaconf=1;
    //Muestra mensaje de inicio de proceso
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" INICIO ");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PROCESANDO ");
    delay(1000); //retardo de 3 segundos
  }
}
//Guardo los valores de tiempo en el momento en el que se presiona el boton inicio de proceso
float time now = millis();
segundos=now/1000;
while(inicioProc()==1)
{
  //enciendo led neopixel con el color deseado
  pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(255,0,0)); // (R,G,B), neopixel
  pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configure
  delay(1000);
}
```



```

    inicioFinal=0;
    //Activo la bandera para entrar al menu y ajustar de nuevo los
    valores
    banderaConfig=1;
}

//Si se pulsa el boton de fin de proceso, imprimo mensaje y enciendo
el led verde por 3 segundos
if (analogRead(A0) < 500) {
    //muestro mensaje de que se finalizo tiempo
    led.setCursor(0, 0);
    led.print(" FIN DE PROCESO");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" PRESIONADO");
}

//enciendo led neopixel con el color deseado
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,0,0)); // (G,R,B), neopix1
VERDE
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,0,0)); // (G,R,B), neopix2
pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configura
delay(3000); //retardo de 3 segundos

//apago la motobomba
digitalWrite(motobomba, LOW);

//reinicio contadores
temp=0;
temp2=0;

//Activo bandera inicio y final para salir del ciclo while
inicioFinal=0;

//Recibo la bandera para entrar al menu y ajustar de nuevo los
valores
banderaConfig=1;
}

//Al recibir la interrupcion externa dep pin 2 parada de emergencia
entra a la isr que cambia el valor de la bandera p_emergencia
//esta bandera en 1 hace que entre en este ciclo while que repite la
funcion funcParadaEmergencia()
while(p_emergencia==1) { //mientras se presione el boton emerg se
pone como 1
    funcParadaEmergencia(); //entra a la func p emergenc
    //lee el voltaje del mismo pin, si sigue 1 entonces se mantiene, si
no o sale a 0 significa que el p emerg se solto y esta se encarga de sacar el
del while
    p_emergencia=digitalRead(2);
}

//puerta abierta, enciendo led rojo e impide que inicie el proceso
while(analogRead(A0) < 500) {
    //enciendo led neopixel con el color deseado
    pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,0,0)); // (G,R,B), neopix1
    pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,0,0)); // (G,R,B), neopix2
    pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configura
}

//como a funcion que mide e imprime
medirImpresion();
delay(1000); //Delay de un segundo

//apago los leds neopixel
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,0,0)); // (G,R,B), neopix1 //
apago los neopixel1
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,0,0)); // (G,R,B), neopix2 //
apago los neopixel2
pixels.show(); // imprimo el color en el led que se configura
}

//funcion para medir e imprimir que voy a llamar desde el sist de
temporizador
void medirImpresion() {
    led.setCursor(0, 0); //limpio pantalla
}

//leo el valor de ambas termocupas y como una nueva a partir del
promedio
float tempProm = (thermocouple1.readCelsius() +
thermocouple2.readCelsius()) / 2;
    led.setCursor(0, 0);
    led.print("Temp ");
    led.print(tempProm);
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" ");
}

//imprimo en monitor serie ambas temperaturas por separado
//con el cursor a la izquierda de la temperatura 1 y *
String(thermocouple1.readCelsius());

if (tempSetpoint < 10) { //organizo posicion de cuando temp setpoint
cede un dígito
    led.setCursor(0, 0);
    led.print("10");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" ");
} else if (tempSetpoint >= 10 && tempSetpoint < 100) { //organizo
posicion de cuando temp setpoint es de dos digitos
    led.setCursor(0, 0);
    led.print("10");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" ");
} else if (tempSetpoint >= 100) { //organizo posicoin de cuando temp
setpoint es de tres digitos
    led.setCursor(0, 0);
    led.print("100");
    led.setCursor(0, 1);
    led.print(" ");
}

//almaceno el tiempo actual en la variable tipo datetime llamada "now"
DateTime now = rtc.now(); //tomo actual
if (now.hour() < 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 1
    led.print("0" + String(now.hour(), DEC) + ":");
} else if (now.hour() >= 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 1
    led.print(String(now.hour(), DEC) + ":");
}

//minuto actual
if (now.minute() < 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 4
    led.print("0" + String(now.minute(), DEC) + ":");
} else if (now.minute() >= 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 4
    led.print(String(now.minute(), DEC) + ":");
}

//segundo actual
if (now.second() < 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 7
    led.print("0" + String(now.second(), DEC) + ":");
} else if (now.second() >= 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 7
    led.print(String(now.second(), DEC) + ":");
}

//hora temporizador
if (temp < 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 4
    led.print("0" + String(tempmin) + ":");
} else if (temp >= 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 4
    led.print(String(tempmin) + ":");
}

//minuto temporizador
if (temp < 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 7
    led.print("0" + String(tempseg) + ":");
} else if (temp >= 10) {
    led.setCursor(0, 1); //imprimo en la segunda linea, espacio 7
    led.print(String(tempseg) + ":");
}

void funcParadaEmergencia() {
    p_emergencia=1;
}

void funcParadaEmergencia() {
    //Ago de parada de emergencia
}

```

```

//Se encienden las salidas que activan la motobomba, la resistencia de
//calor y la c'elera de la v'elocidad
digitalWrite(resistenciaCalor,HIGH); //Activa con 0, desactiva con 1
digitalWrite(motobomba,LOW);
pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,255,0)); // (0,2,0), neopixel //
//puedo en todo los neopixel's
pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0,255,0)); // (0,2,0), neopixel //
//puedo en todo los neopixel's
pixels.show(); // Imprimo el color en el led que se configuro

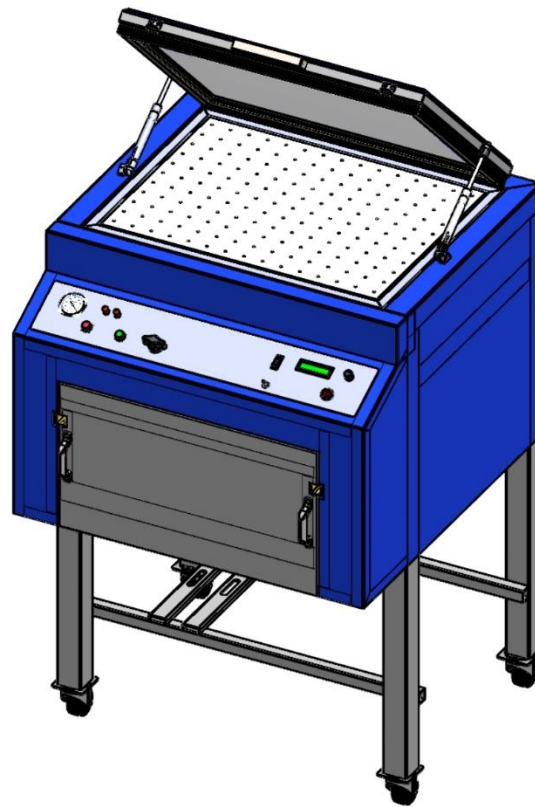
//Se muestra mensaje de parada de emergencia
led.cuerpo(); //lepo pantalla
led.setCursor(0, 0);
led.println(" EMERGEN DE ");
led.setCursor(0, 1);
led.println(" EMERGENCIA");
delay(940);

//Se reinician las banderas para iniciar el proceso de nuevo, preguntar
//si despues de parada de emergencia debe continuar donde iba
//Tomar cuenta del tiempo que esta pasando durante se tiene en parada
//de emergencia y sumar ese tiempo a mincontador de tiempo y segactual.
//Para que al salir de la parada de emergencia no afecte el tiempo que
//se estuvo en stand by
//Se define una variable para //almacenar el tiempo actual en la variable
//tipo de union llamada "now"
//Imprimo valores
//Serial.println(now.seconds());
//Serial.println(separadaEmergencia);
if(now.seconds()==separadaEmergencia){
separadaEmergencia++; //Actualizo valores
if(separadaEmergencia>59){ //si c' segactual llega a 60 entonces se
igualda a cero
separadaEmergencia=0;
}
//Serial.println(segactual); //Imprimo segactual
segactual++;
if(segactual>>99){ //si el segactual llega a 10 entonces se iguala a
cero
segactual=0;
}
}

pixels.setPixelColor(0, pixels.Color(0,0,0)); // (0,0,0), neopixel //
//apago los neopixel's
pixels.setPixelColor(1, pixels.Color(0,0,0)); // (0,0,0), neopixel //
//apago los neopixel's
pixels.show(); // Imprimo el color en el led que se configuro
}

```

## Anexo G. Planos de termoformadora por vacío



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TÍTULO:  
Termoformadora  
General

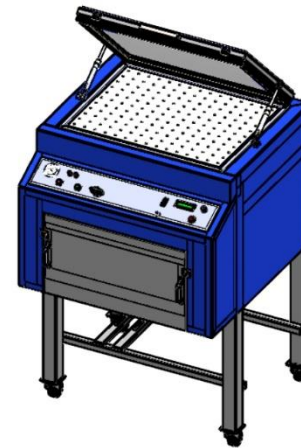
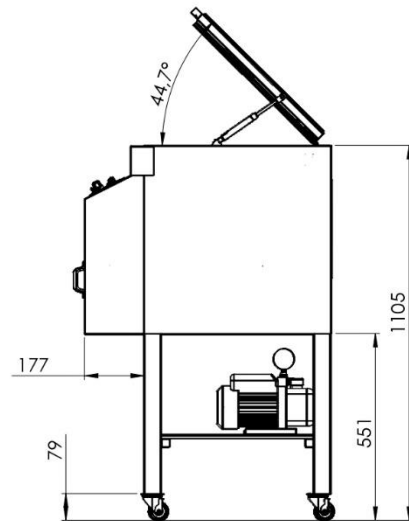
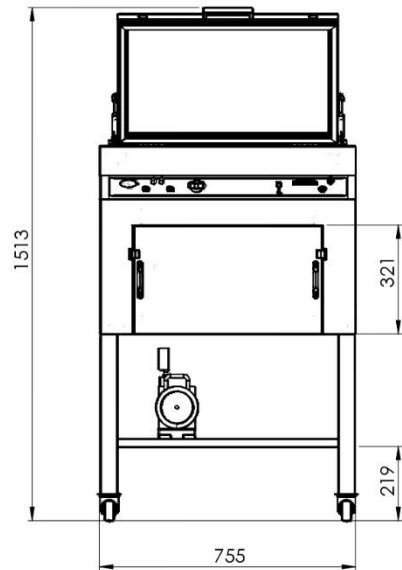
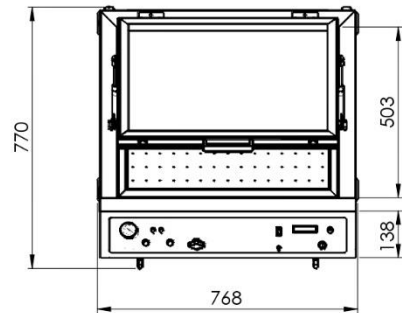
UNIDADES: mm

AUTOR:

A3



REVISÁ:



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TÍTULO:  
Termofomadora  
General

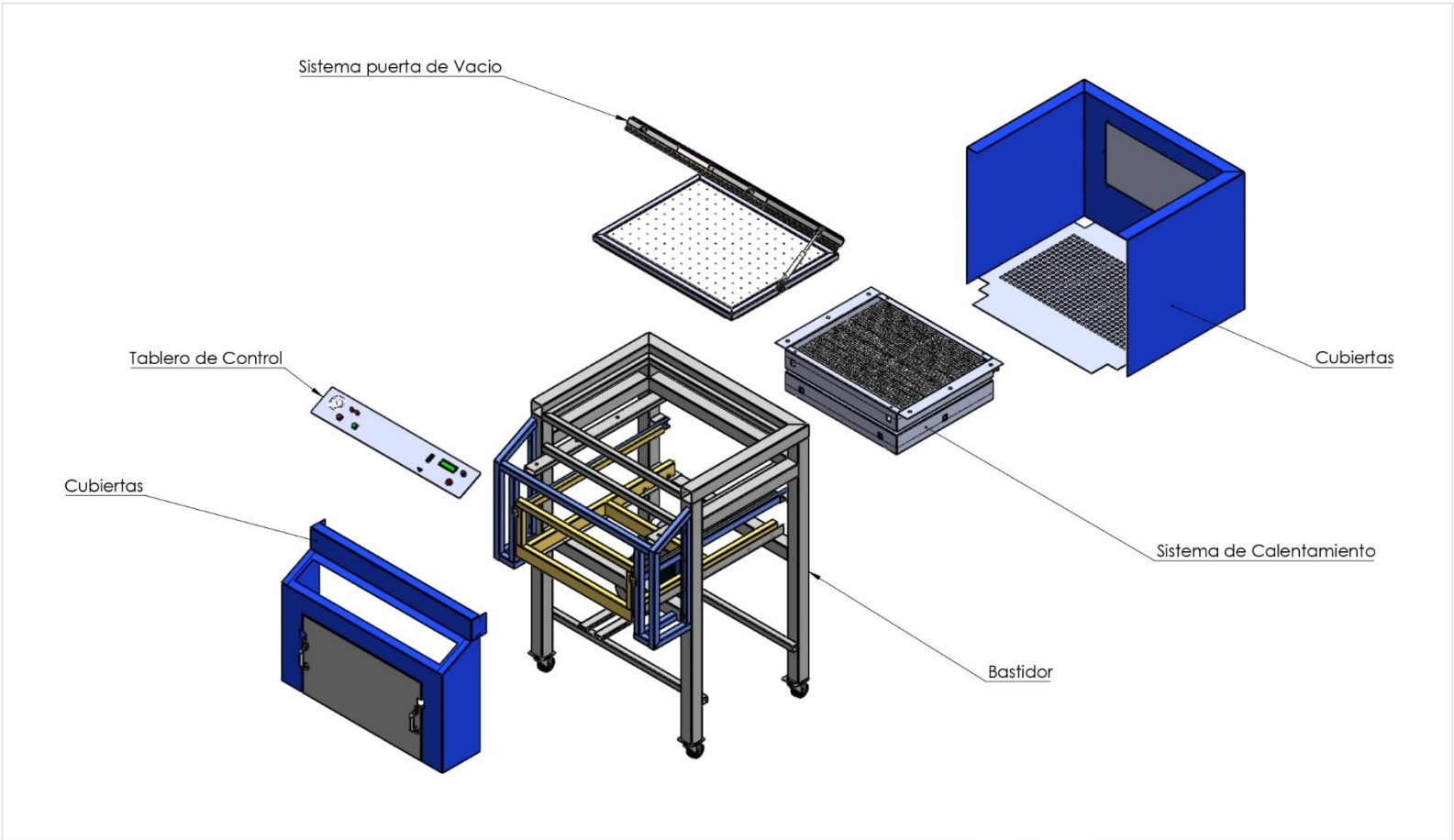
UNIDADES: mm

AUTOR:

A3

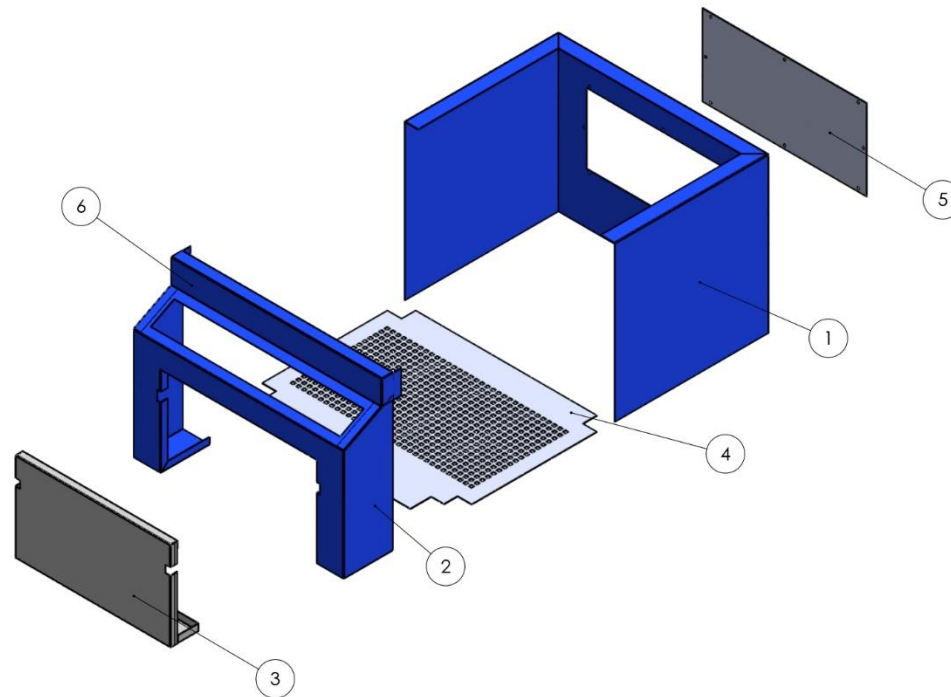


REVISÁ:



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

		<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>	
		FECHA: 19/06/2023	TITULO: Termofarmadora Explosionado Sistemas
UNIDADES: mm		AUTOR:	
A3		REVISÁ:	



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3

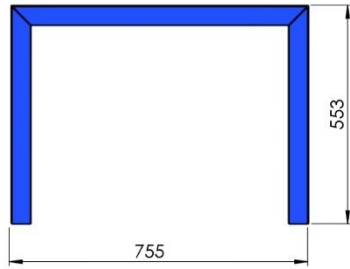


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

TÍTULO:  
Termoformadora  
Cubiertas explosionadas

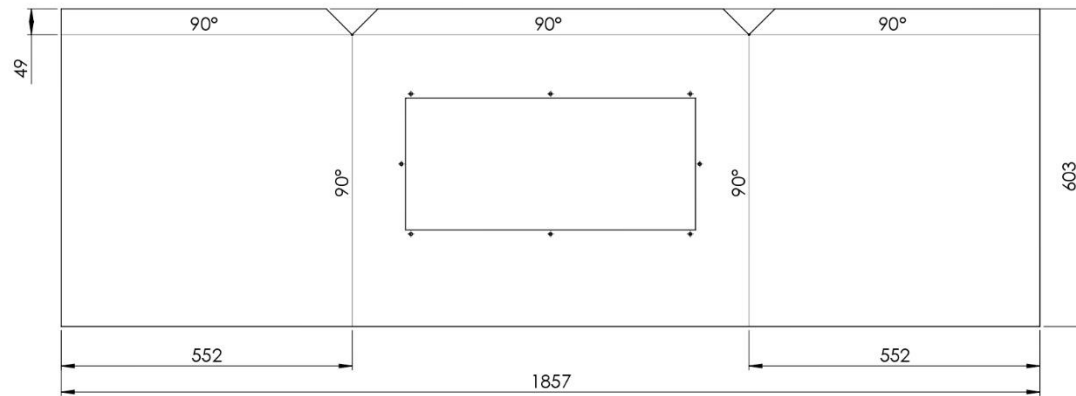
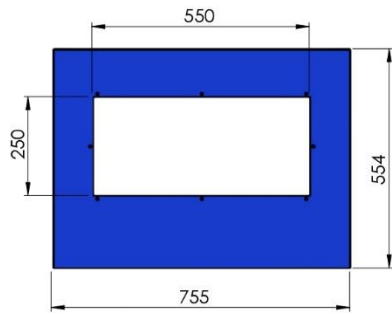
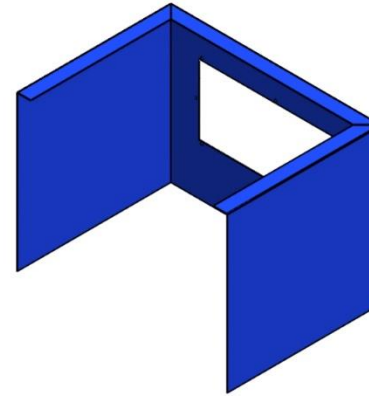
AUTOR:

REVISÁ:



ACABADADO CON PINTURA ELECTROSTATICA

1



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

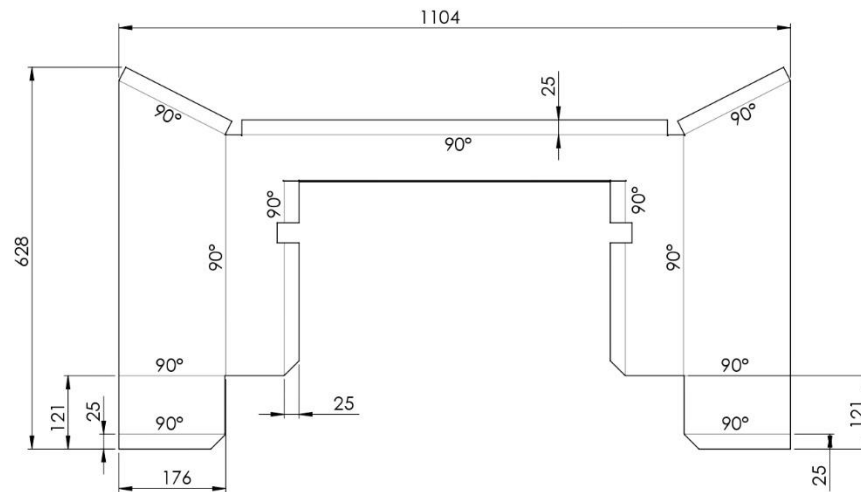
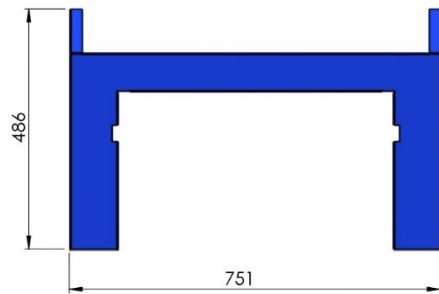
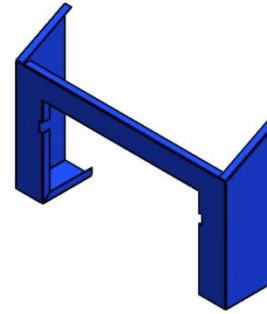
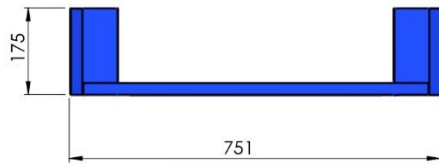
TITULO:  
Termoformadora  
Cubierta principal

AUTOR:

REVISÁ:

ACABADO CON PINTURA ELECTROSTATICA

2



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Cubierta frontal

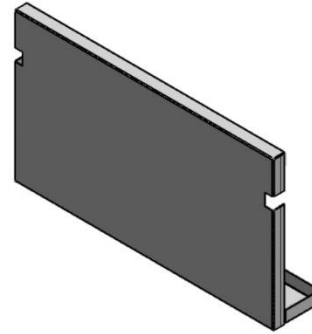
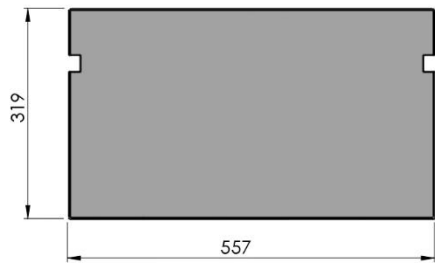
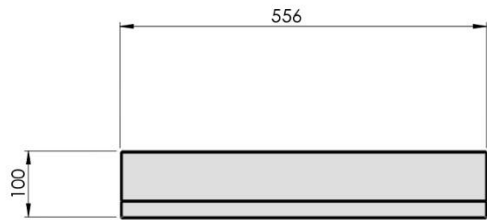
UNIDADES: mm

AUTOR:

A3

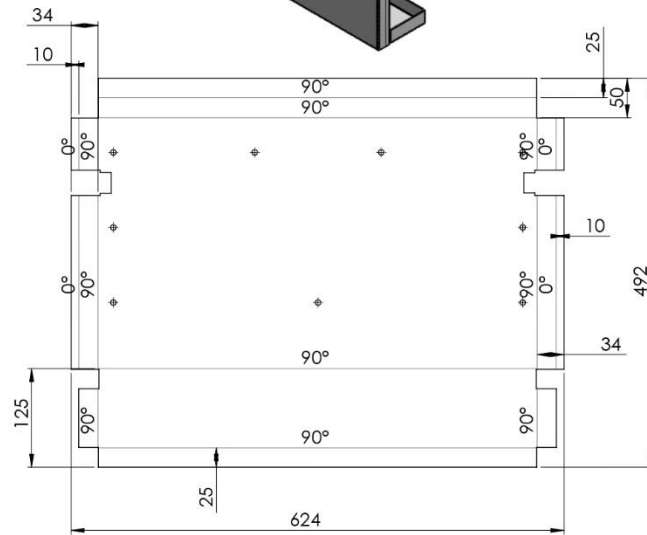


REVISÁ:



3

ACABADO CON PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Tapa horno

UNIDADES: mm

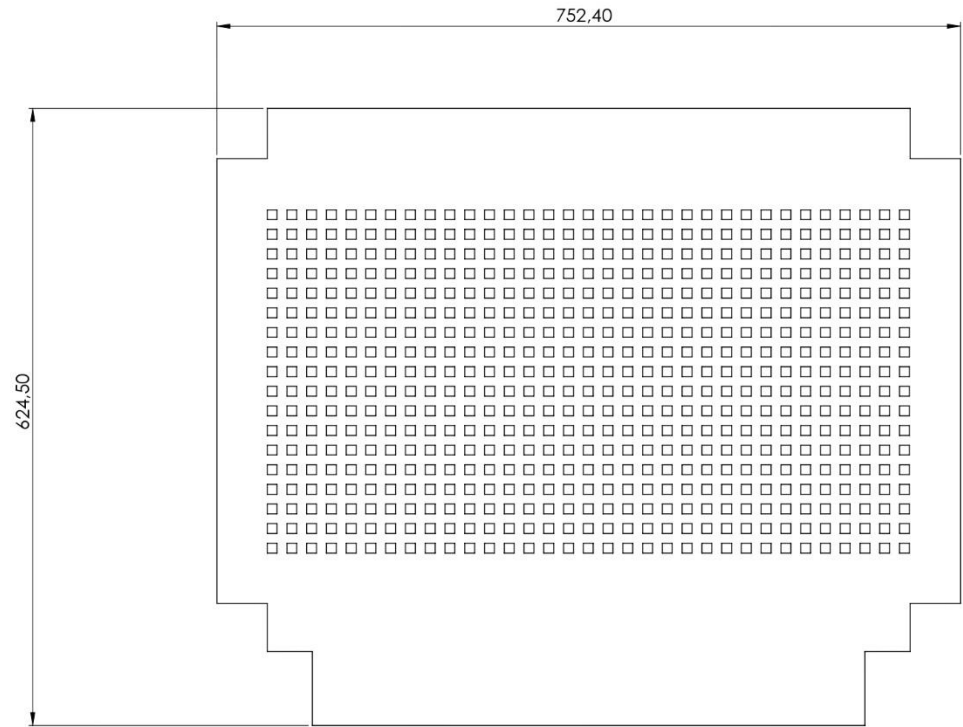
AUTOR:

A3



REVISÁ:

4



ACABADADO CON PINTURA ELECTROSTATICA

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Cubierta inferior

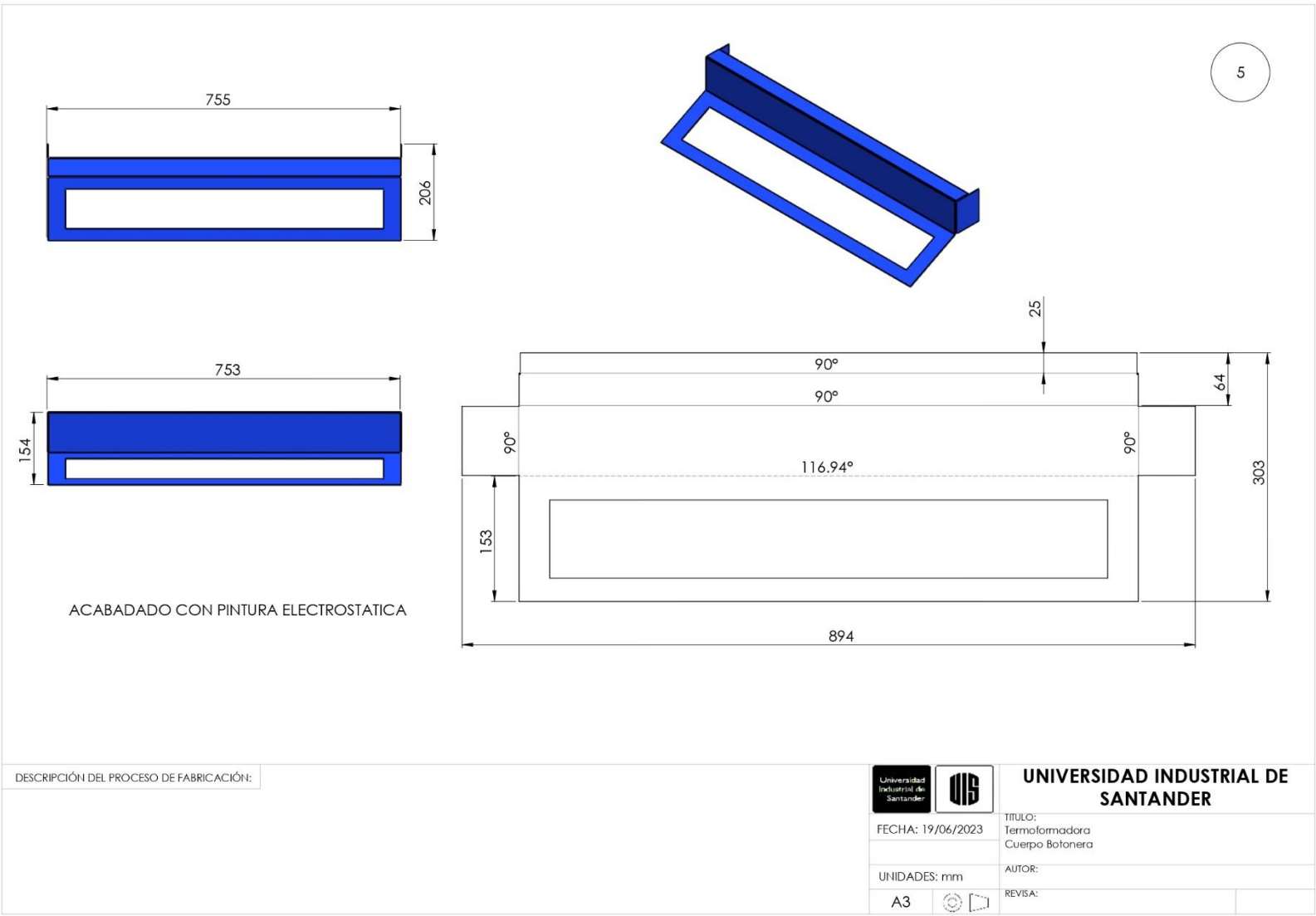
UNIDADES: mm

AUTOR:

A3

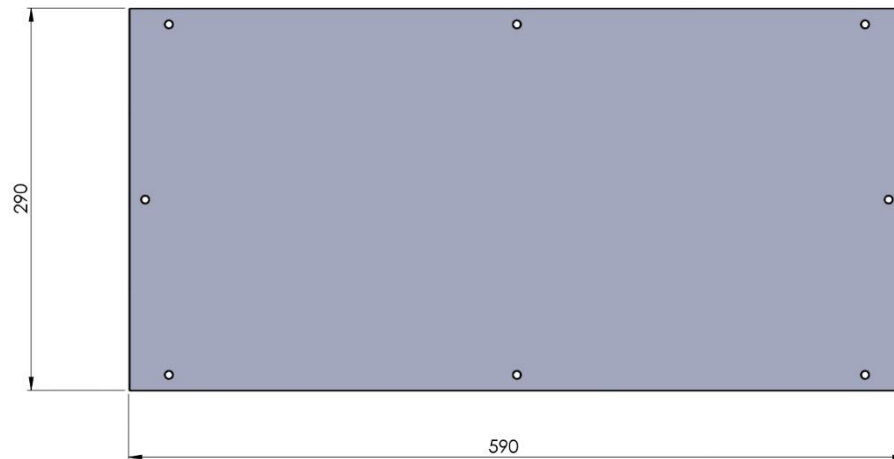


REVISÁ:



6

ACABADO CON PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3

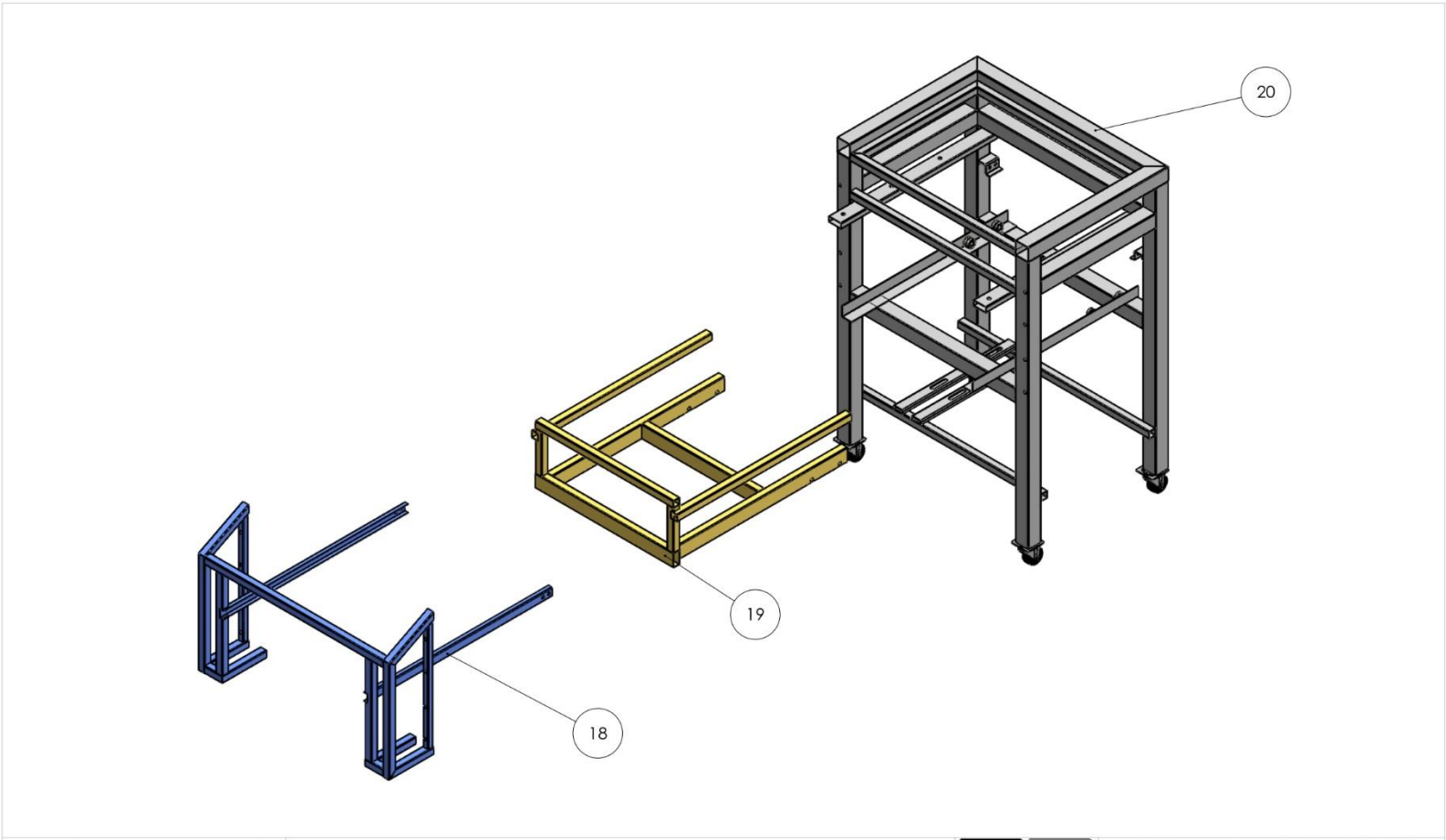


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

TITULO:  
Termoformadora  
Ventanilla de mantenimiento

AUTOR:

REVISÁ:



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor Explosionado

UNIDADES: mm

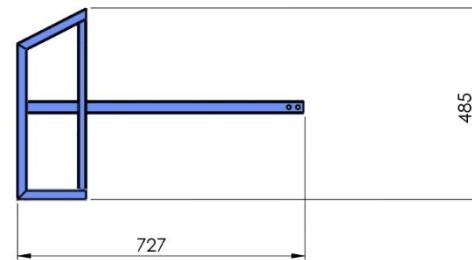
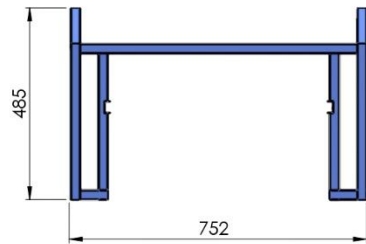
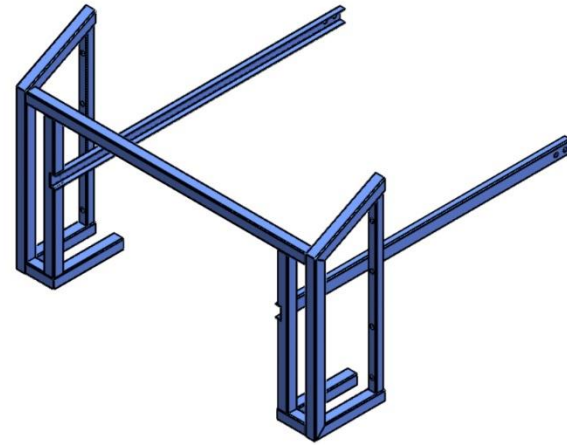
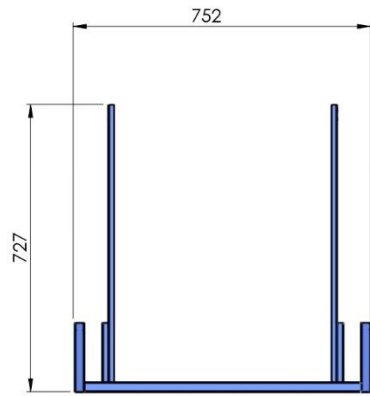
AUTOR:

A3



REVISÁ:

18



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3

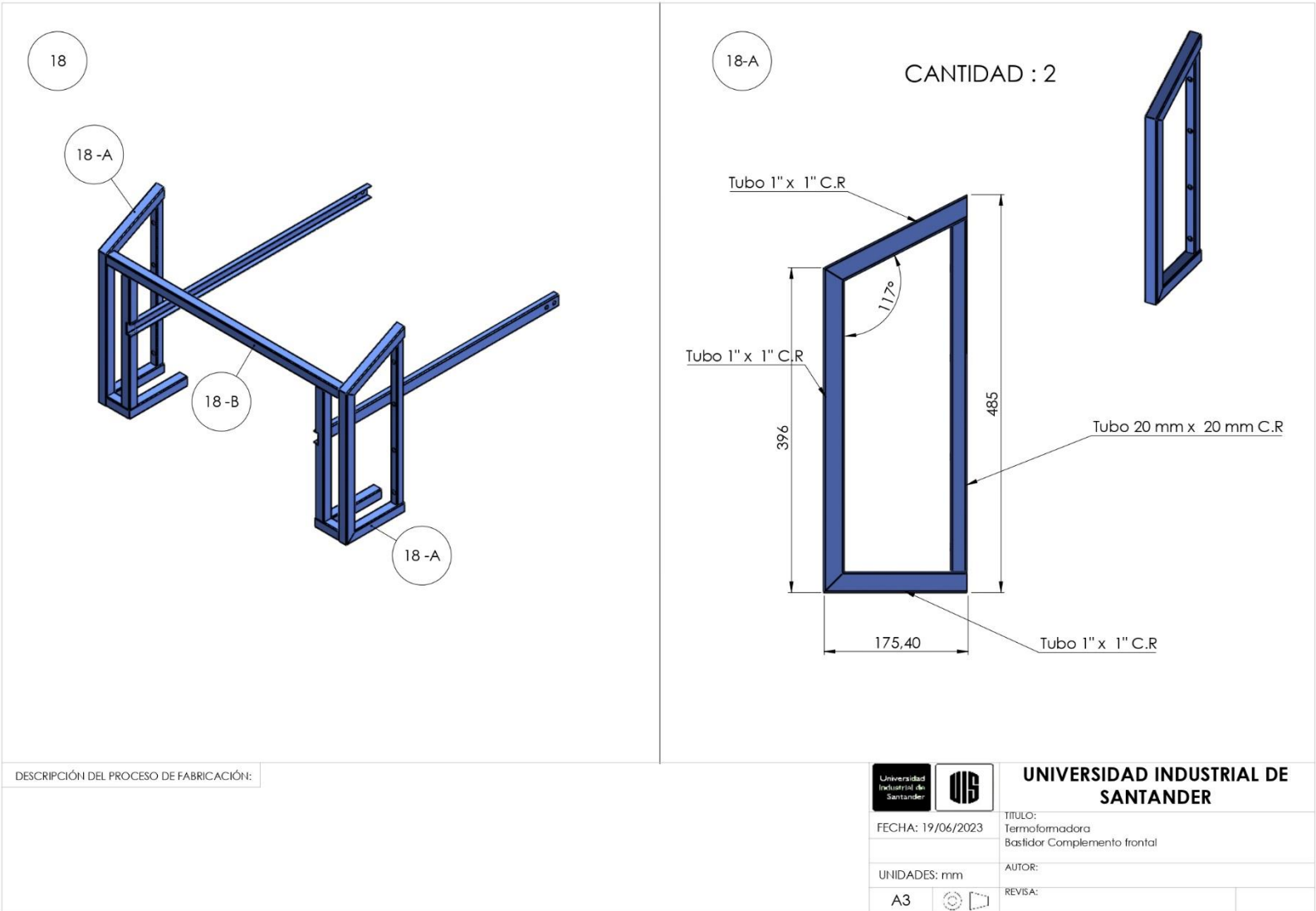


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor complemento frontal

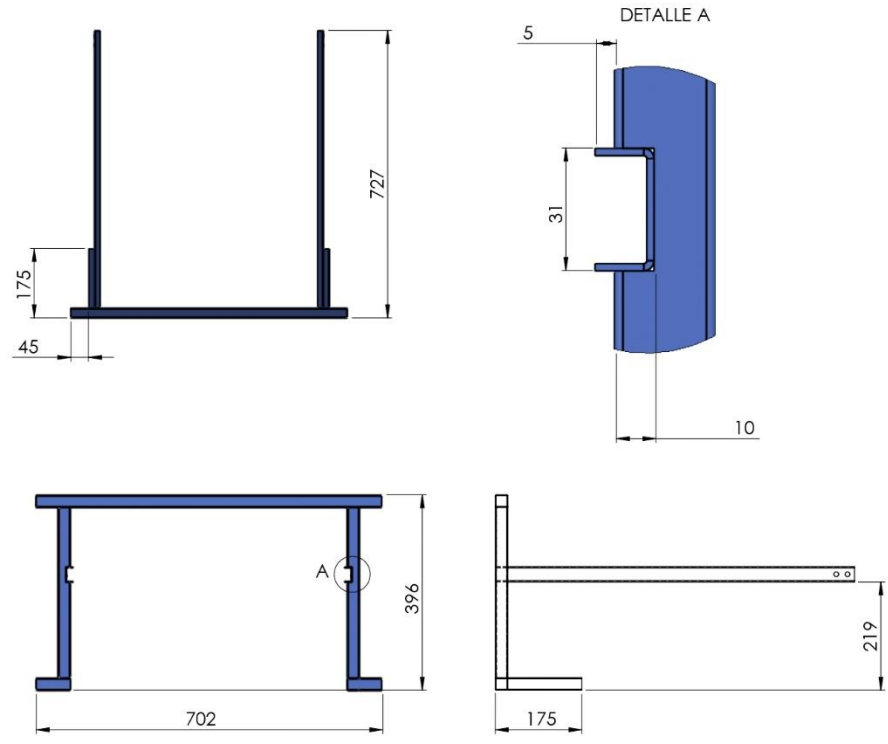
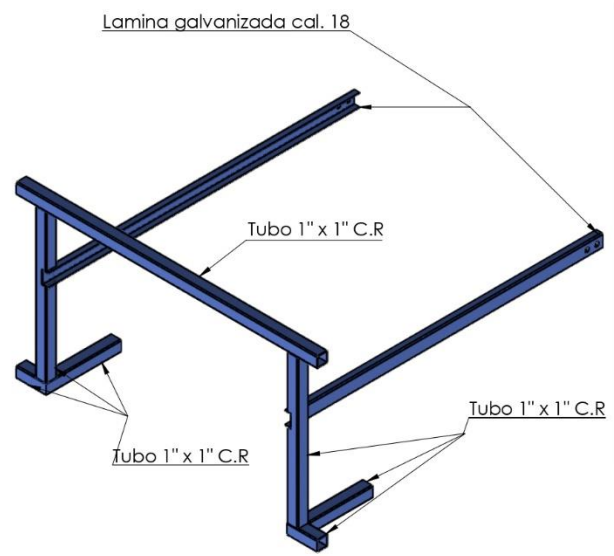
AUTOR:

REVISÁ:



18-A

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor Complemento frontal

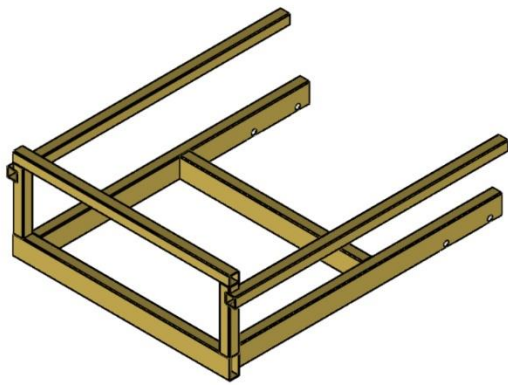
UNIDADES: mm

AUTOR:

A3

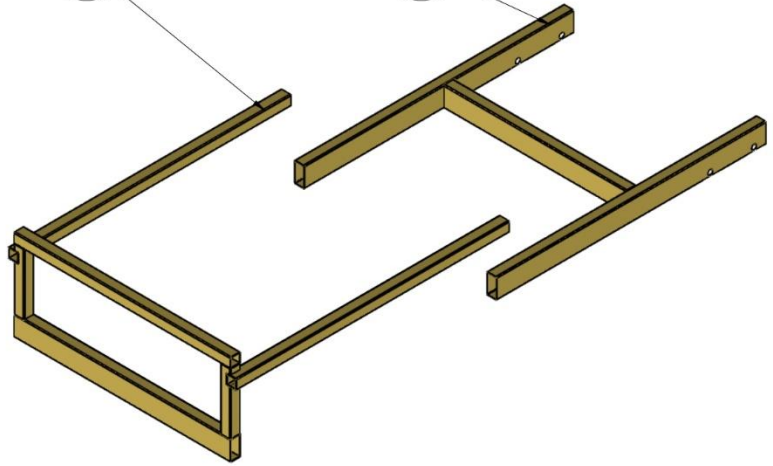
REVISA:

19



19-A

19-B



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TÍTULO:  
Termoformadora  
Bastidor desizable interno

UNIDADES: mm

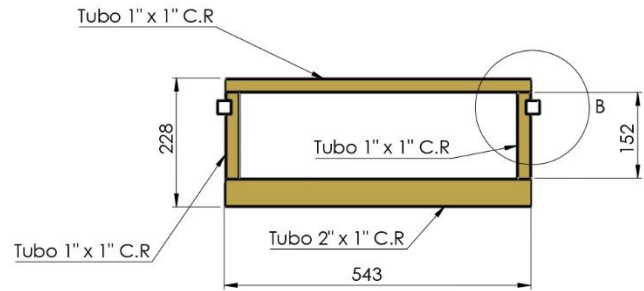
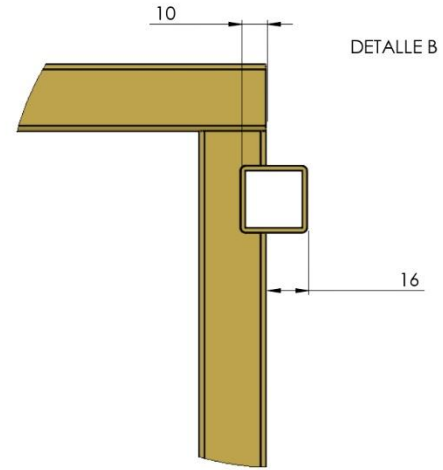
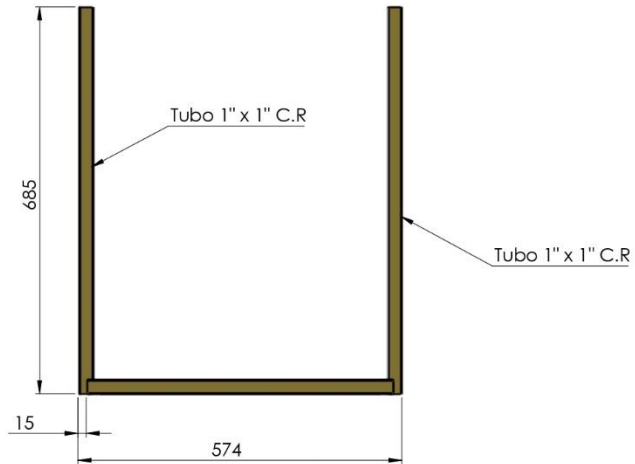
AUTOR:

A3



REVISÁ:

19-A



ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor desizable interno

UNIDADES: mm

AUTOR:

A3

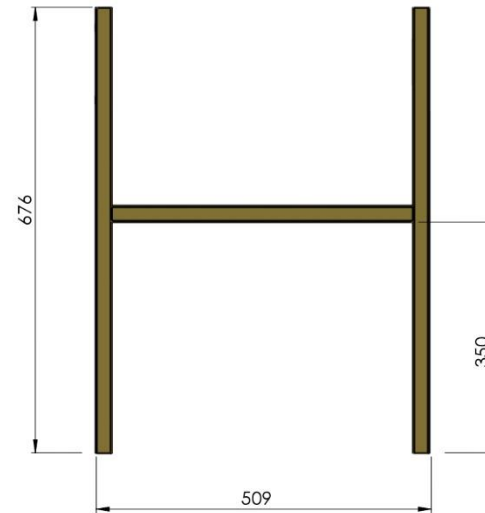
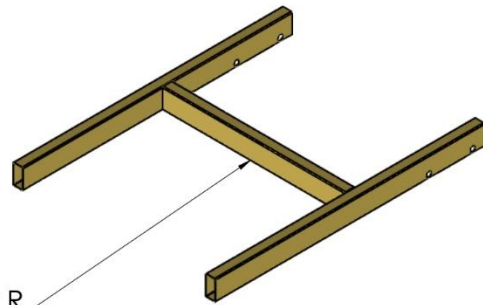


REVISÁ:

19-B

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

Tubo 2" x 1" C.R.



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor desizable interno

UNIDADES: mm

AUTOR:

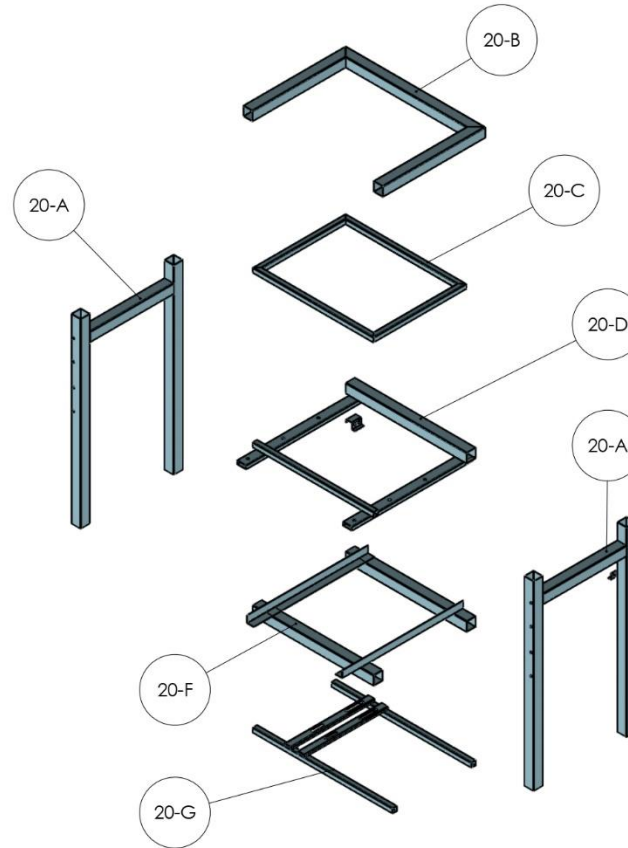
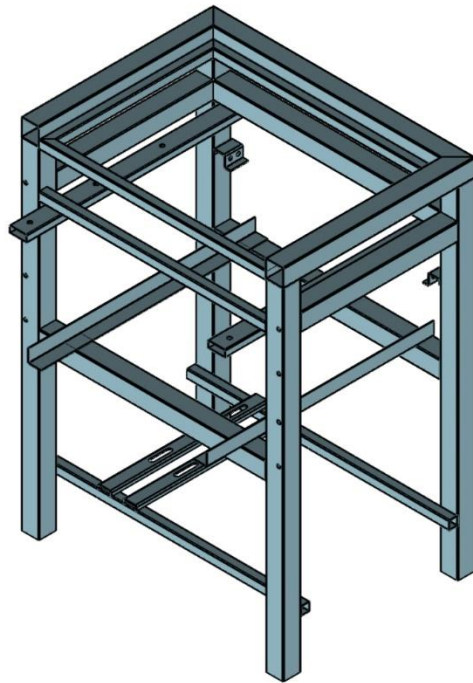
A3



REVISÁ:

20

### ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor principal

UNIDADES: mm

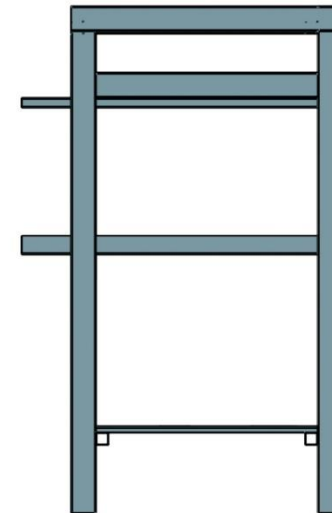
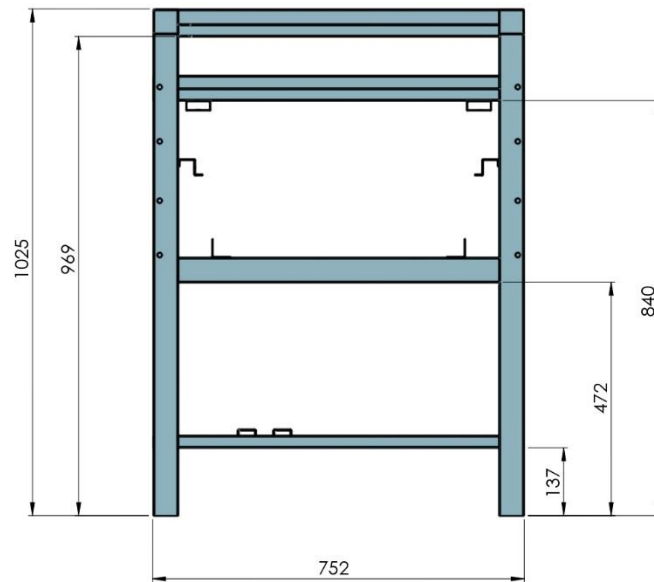
AUTOR:

A3



REVISÁ:

## ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE  
SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

 TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor principal

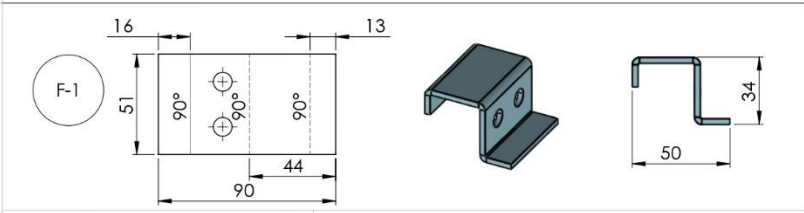
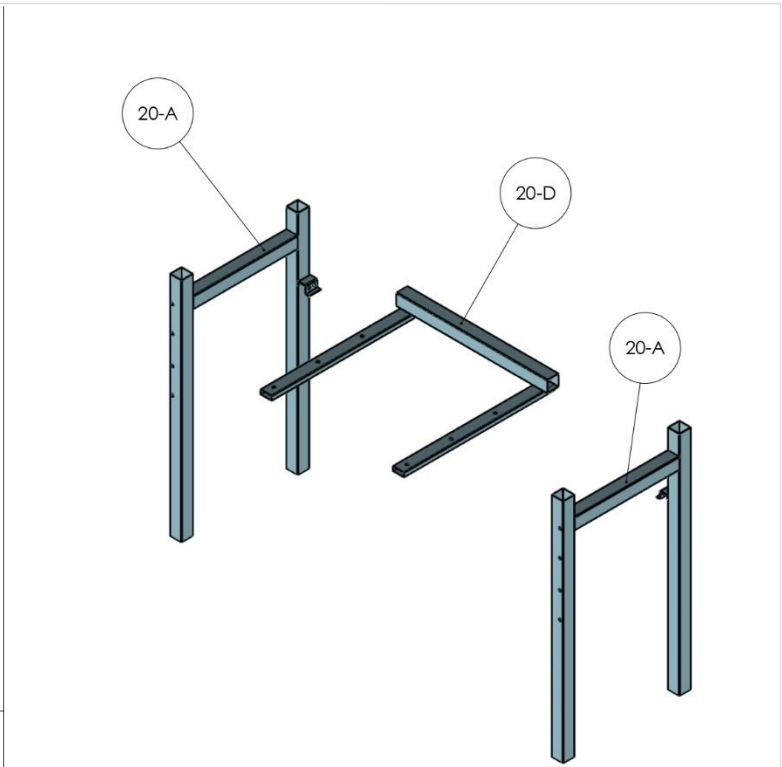
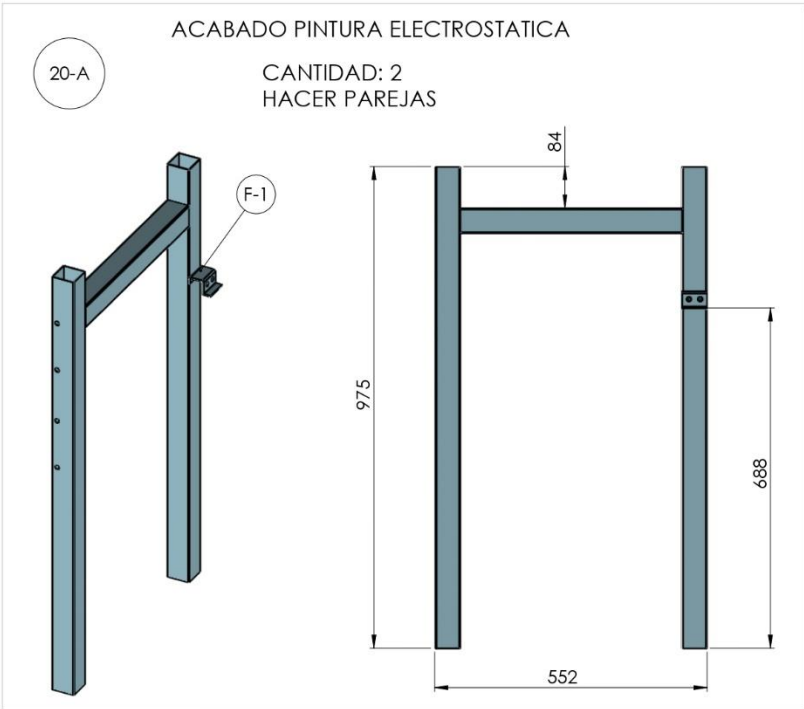
UNIDADES: mm

AUTOR:

A3



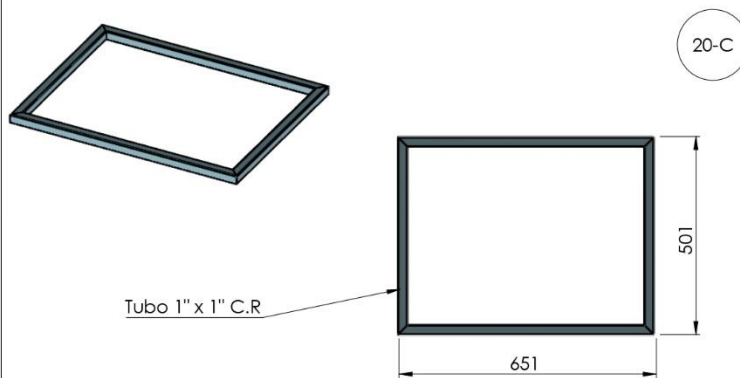
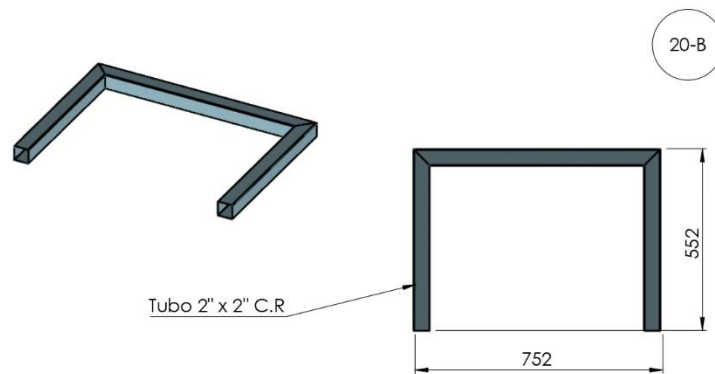
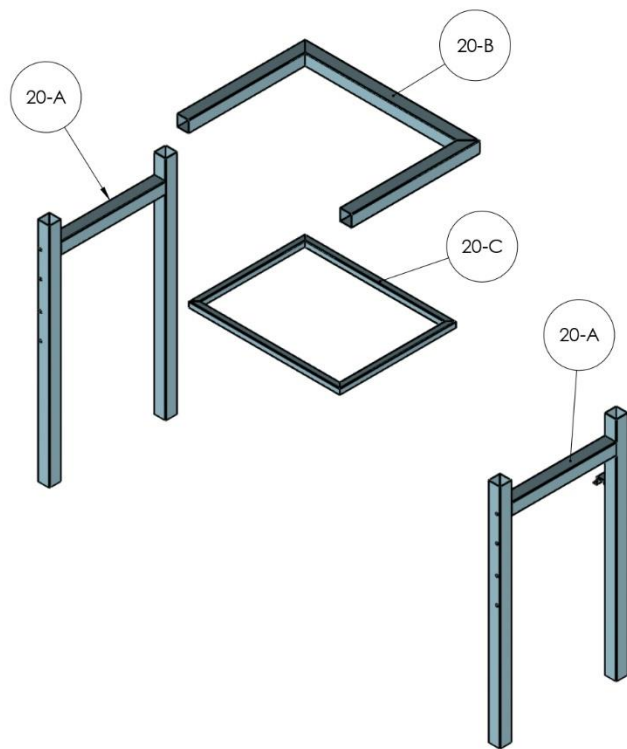
REVISÁ:



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

	<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER</b>
FECHA: 19/06/2023	TITULO: Termoformadora Bastidor principal
UNIDADES: mm	AUTOR:
A3	REvisa:

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

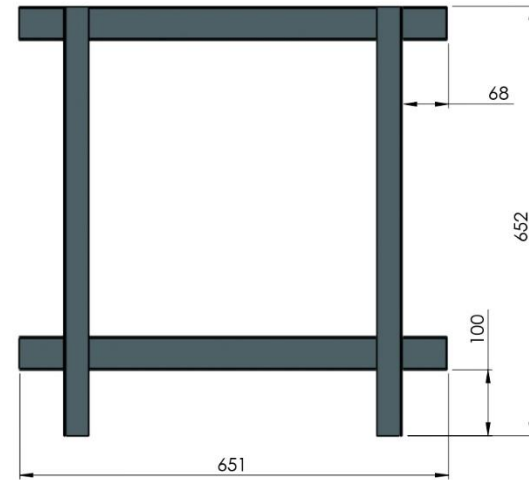
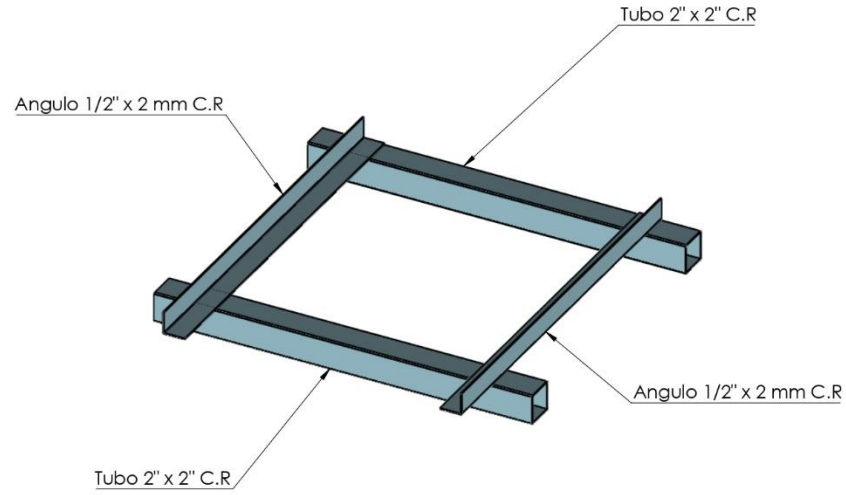
TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor principal

AUTOR:

REVISÁ:

20-F

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor principal

UNIDADES: mm

AUTOR:

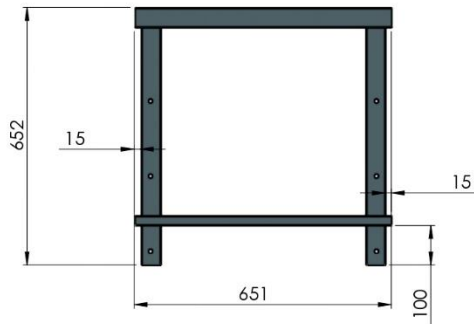
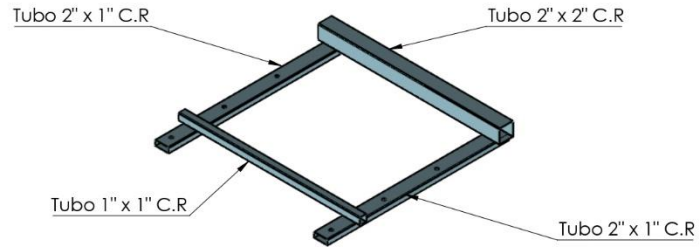
A3



REVISÁ:

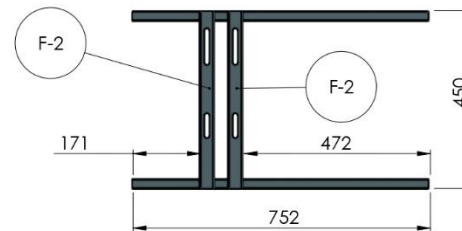
ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

20-D

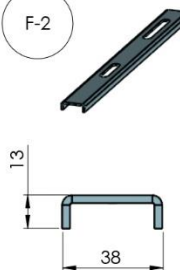


DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

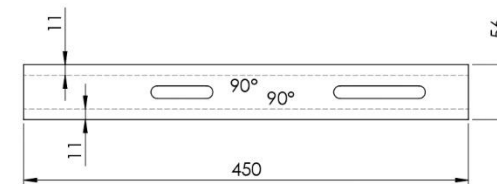
20-G



F-2



CANTIDAD: 2



FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3

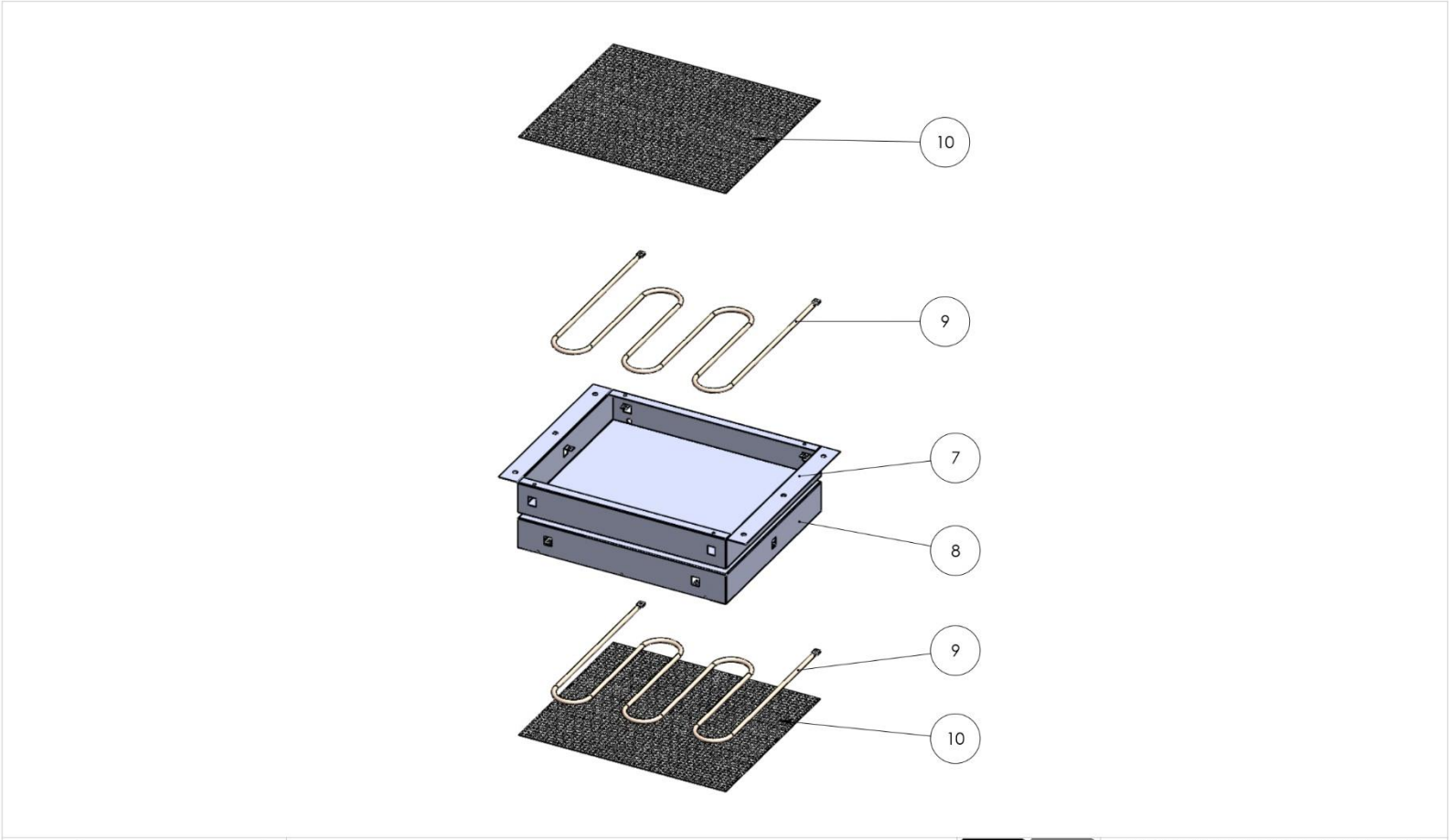


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

TITULO:  
Termoformadora  
Bastidor principal

AUTOR:

REVISA:



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TÍTULO:  
Termoformadora  
Explosionado Calentador

UNIDADES: mm

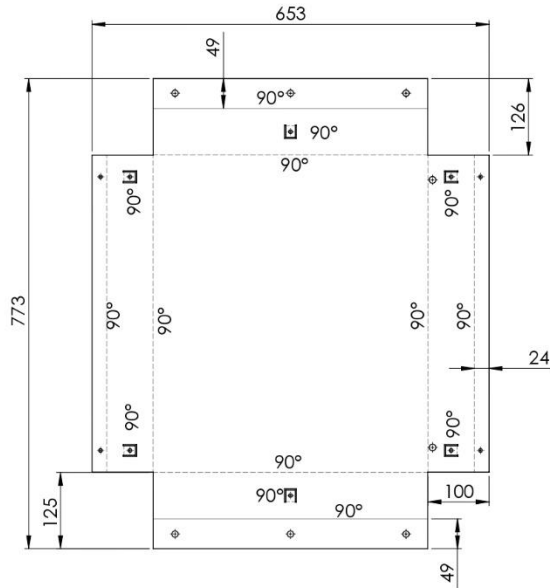
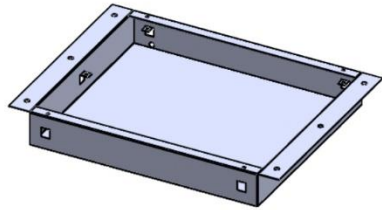
AUTOR:

A3

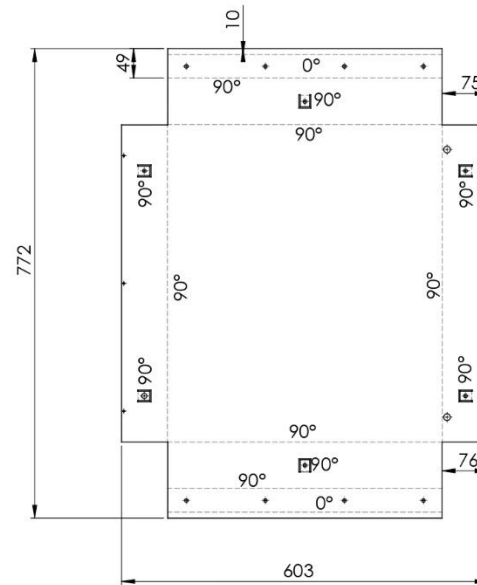
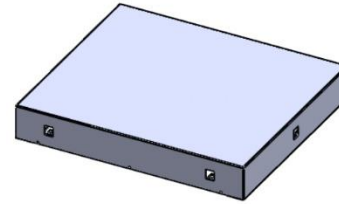


REVISÁ:

7



8



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3



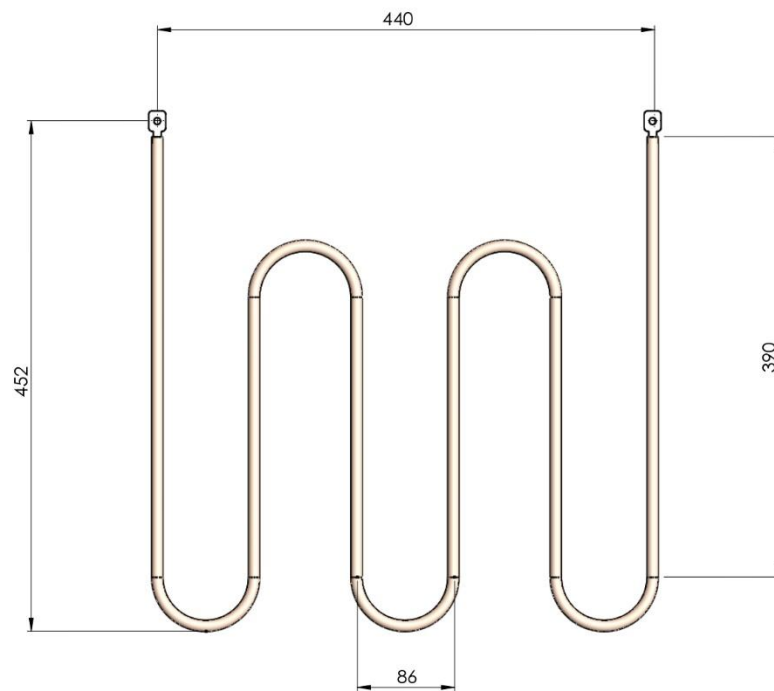
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

TÍTULO:  
Termoformadora  
Placas calentadoras

AUTOR:

REVISÁ:

9



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TÍTULO:  
Termoformadora  
Placas calentadoras

UNIDADES: mm

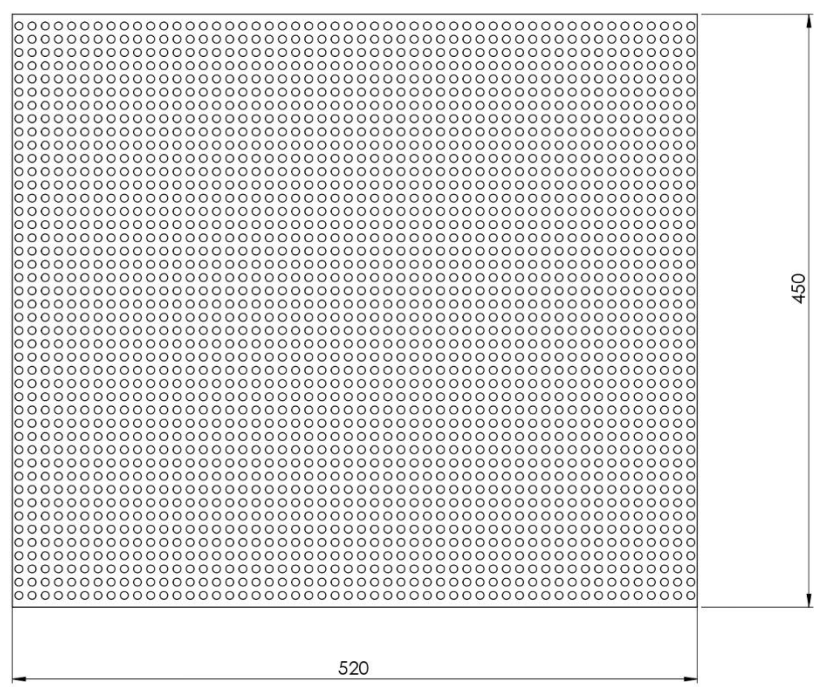
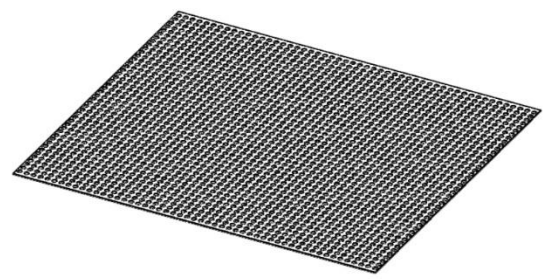
AUTOR:

A3



REVISÁ:

10



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

Universidad Industrial de Santander

FECHA: 19/06/2023

UNIDADES: mm

A3

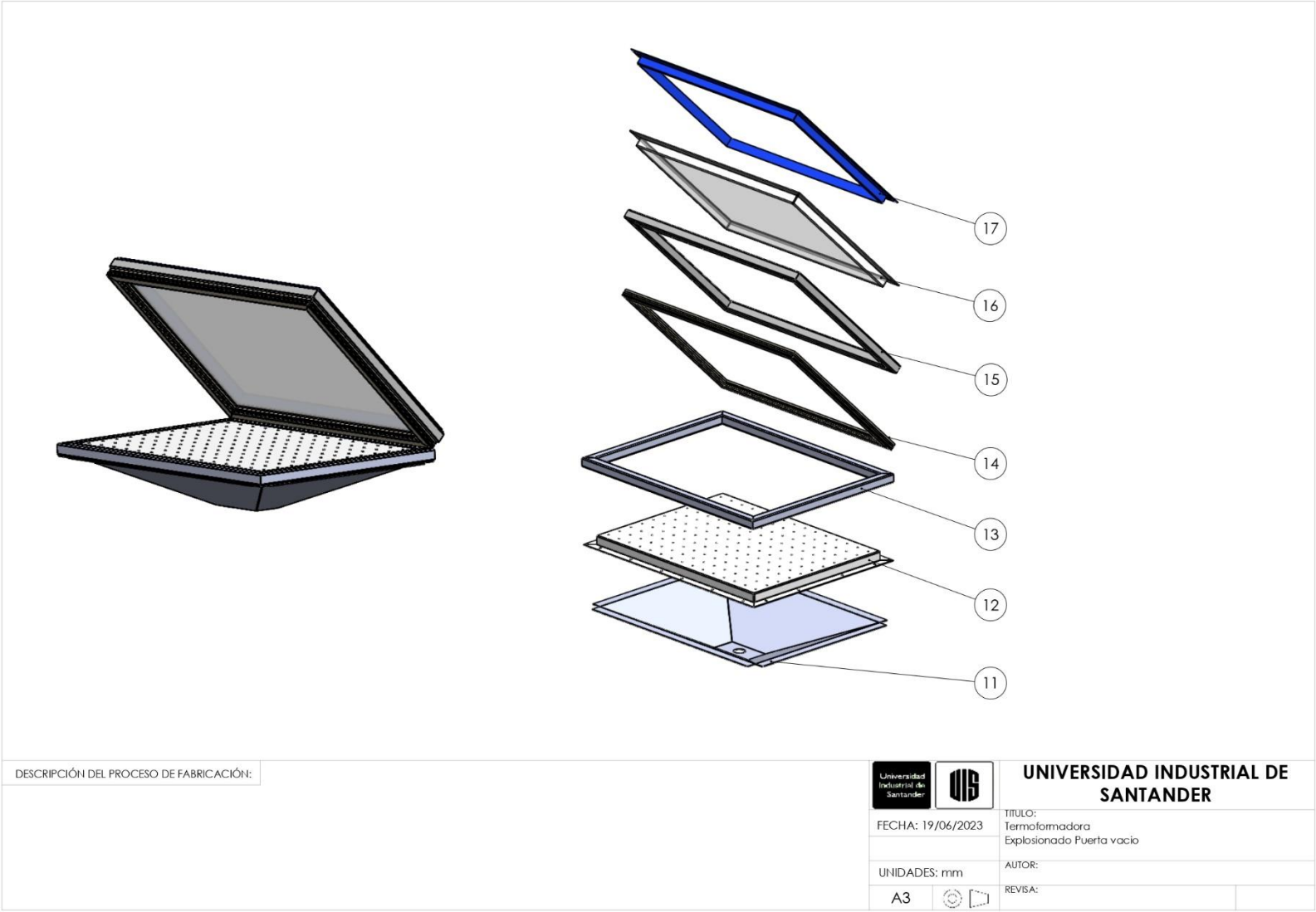


**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

TITULO:  
Termoformadora  
Placas calentadoras

AUTOR:

REVISÁ:



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Explosionado Puerta vacio

UNIDADES: mm

AUTOR:

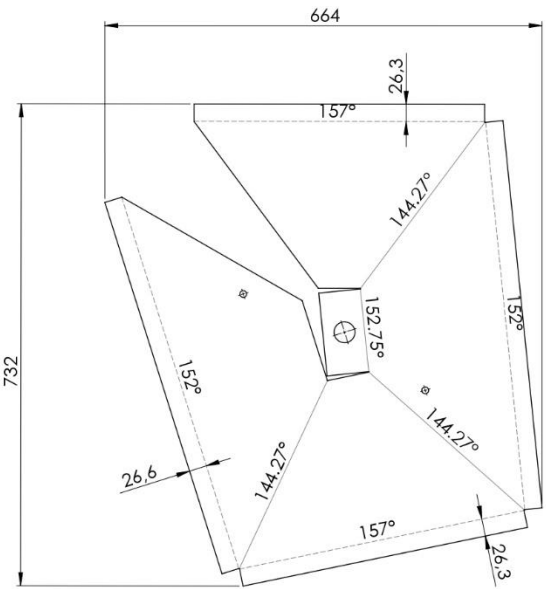
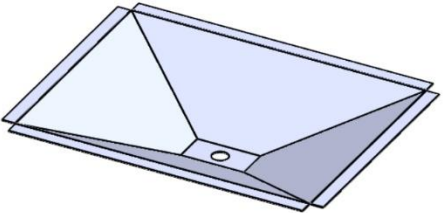
A3



REVISA:

11

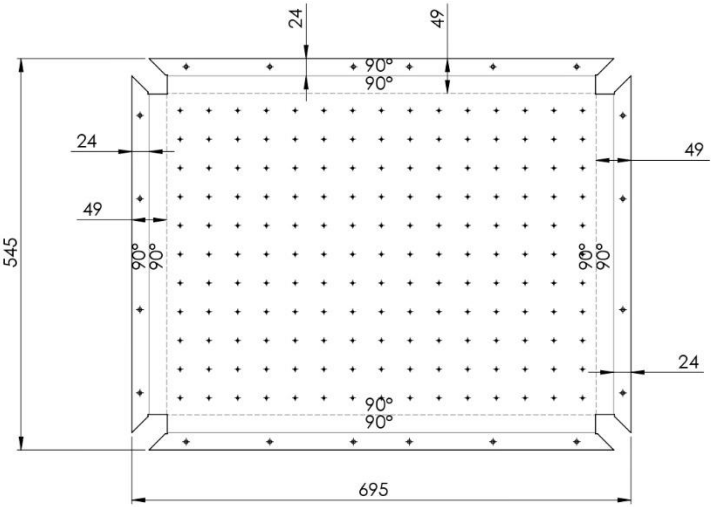
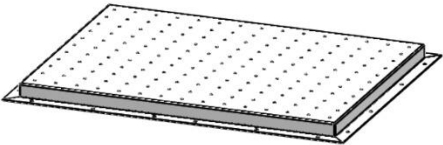
ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

12

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 19/06/2023

TITULO: Termoformadora Componentes sistema de vacio

UNIDADES: mm

AUTOR:

A3

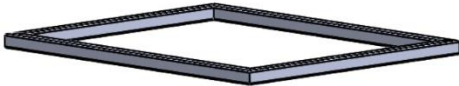


REVISÁ:

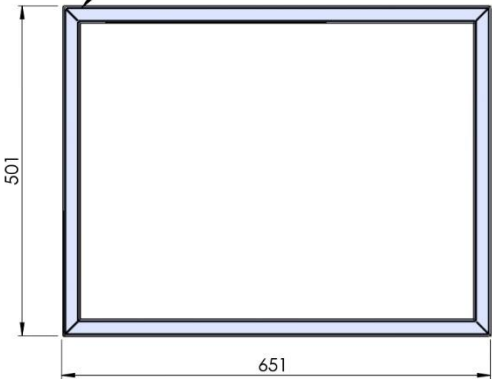
13

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

Marco sujetador



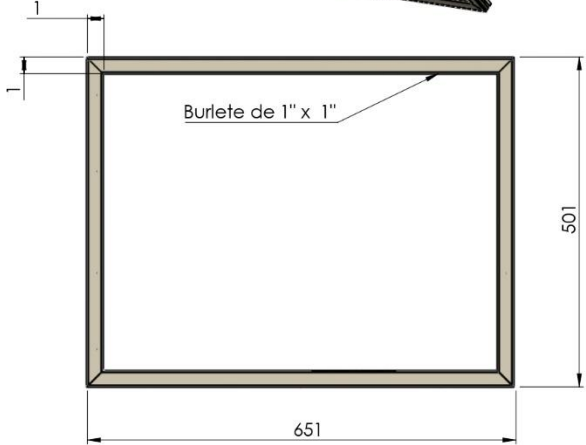
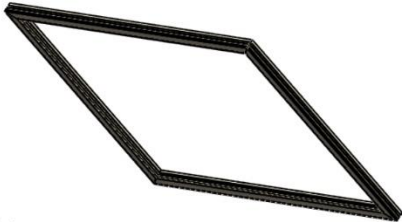
Tubo cuad. 20 mm x 20 mm C.R



14

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

Empaque de vacio



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 19/06/2023

TITULO: Termoformadora Componentes sistema de vacio

UNIDADES: mm

AUTOR:

A3

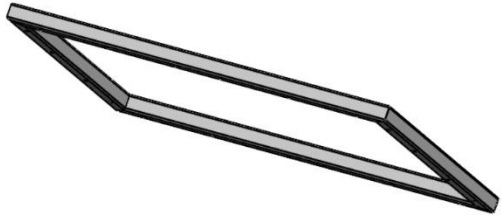


REVISÁ:

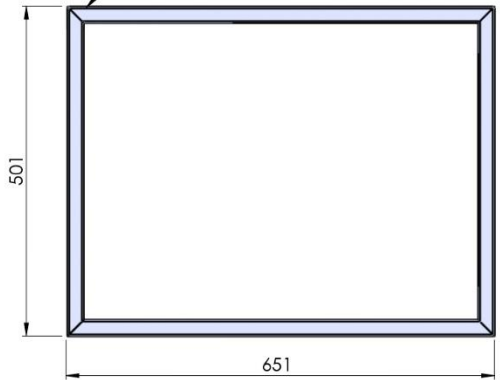
15

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

Contra Marco



Tubo cuad. 1" x 1" C.R

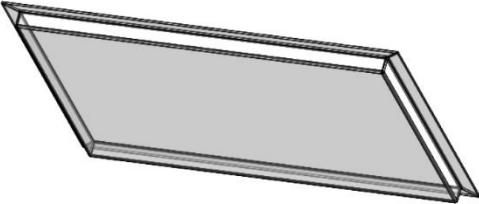


DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:

16

ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

Membrana de silicona



Medidas definidas sobre montaje



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Componentes sistema de vacio

UNIDADES: mm

AUTOR:

A3



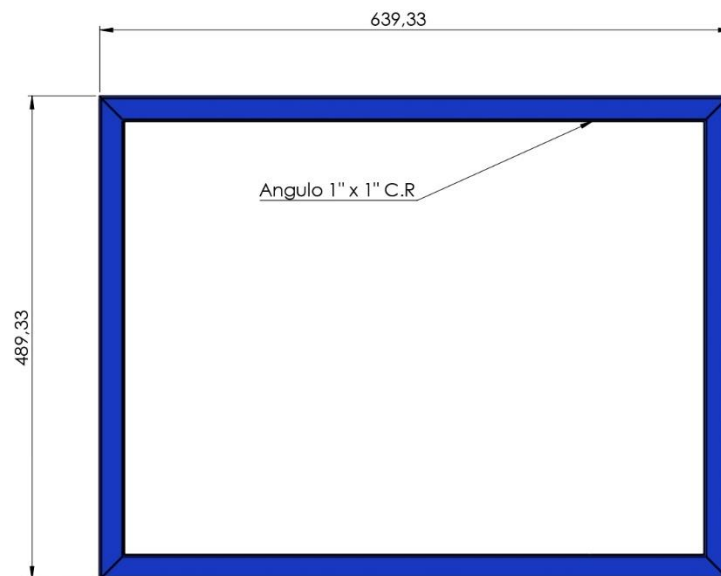
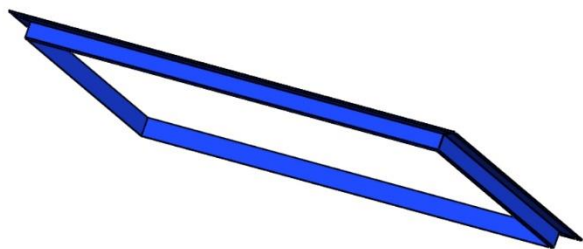
REVISA:

15

# ACABADO PINTURA ELECTROSTATICA

16

## Marco superior



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN:



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

FECHA: 19/06/2023

TITULO:  
Termoformadora  
Componentes sistema de vacío

UNIDADES: mm

AUTOR:

A3



REVISÁ:

