



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada  
Asistidos por Computador

---

# DESARROLLO DE SISTEMA DE BAJO COSTE PARA TERMOCONFORMADO POR VACÍO DE LÁMINAS PLÁSTICAS

---

Presentada por  
*Carlos Belmonte Picazo*

Dirigida por  
*Manuel Martínez Torán y  
Miguel Fernández Vicente*

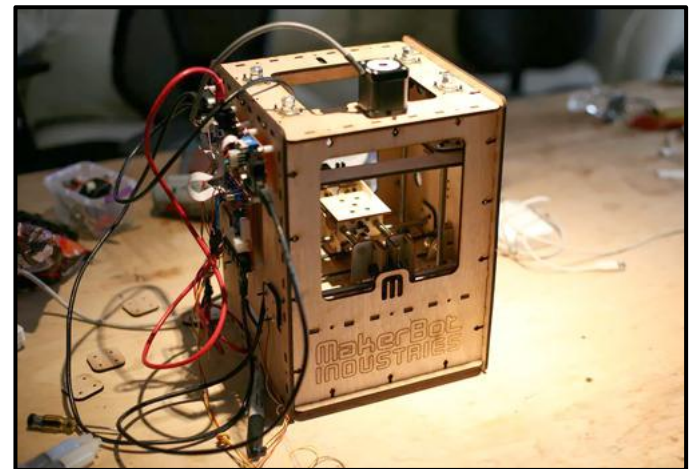
Valencia, 28 de Septiembre de 2012

# CONTENIDO

- Introducción.
- Objetivos.
- Estado del arte.
- Variables del proceso.
- Termoplásticos recomendado.
- Solución.
- Costes de fabricación.
- Conclusiones y trabajo futuro.
- Ejemplo de aplicación.

# INTRODUCCIÓN

- Do It Yourself.
- Bajo coste.
- Software Open Source.
- Open Hardware.
- ¿Qué es?

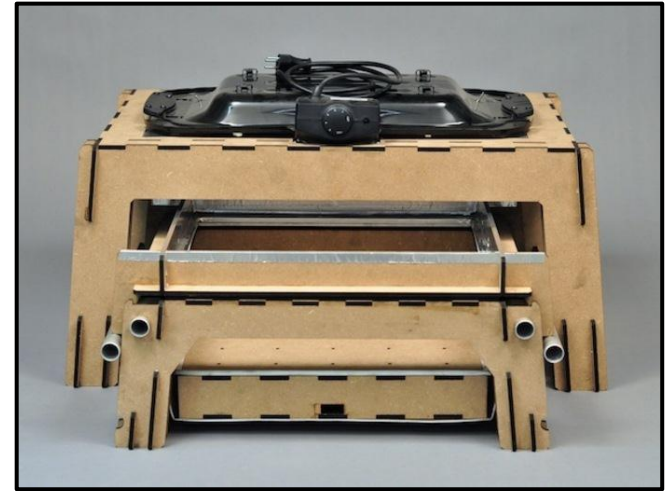


# OBJETIVOS

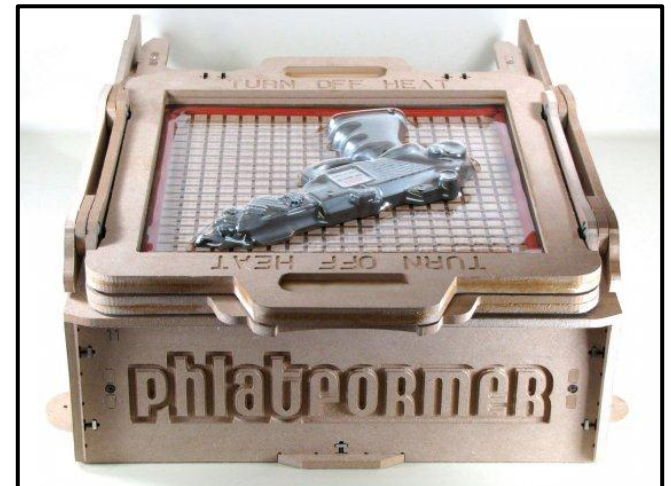
- Desarrollar un sistema de bajo coste para termoconformar al vacío láminas plásticas.
- Importe máximo de producción: 250 euros.
- Cantidad mínima de elementos en el ensamblaje.
- Evitar elementos metálicos.
- Realizar un prototipo en FABLAB VLC.
- Convertirlo en un objeto “Open Hardware”.

# ESTADO DEL ARTE

- Thermoforming machine.
  - Calefacción externa.
  - Movimiento de conformado realizado por la mesa de vacío.
  - Open Hardware.

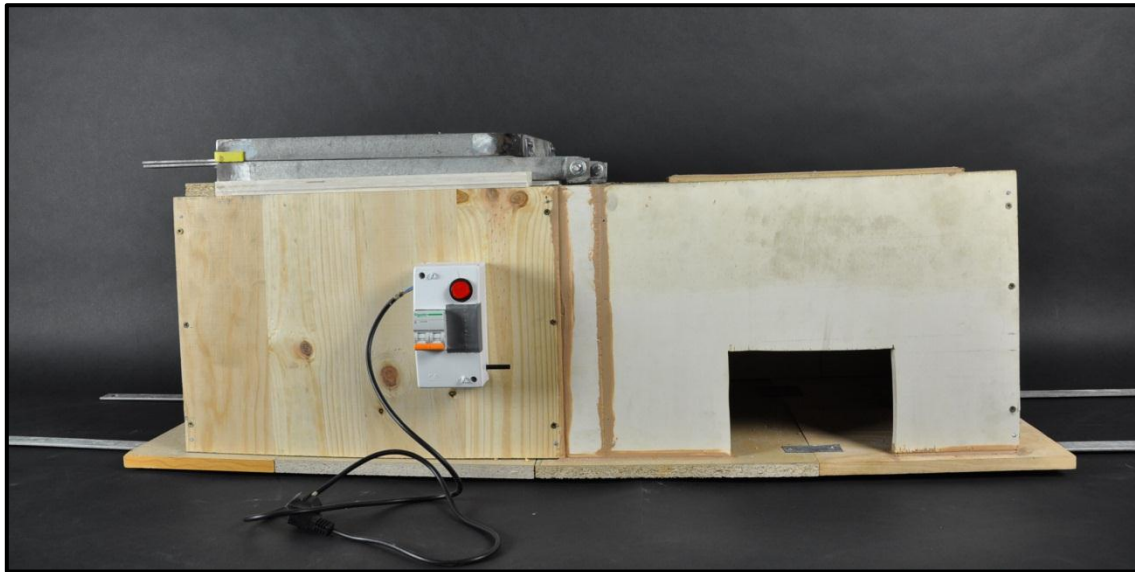


- The Phlatformer.
  - Calefacción externa.
  - Exceso de elementos.
  - Coste: 299\$.



# ESTADO DEL ARTE

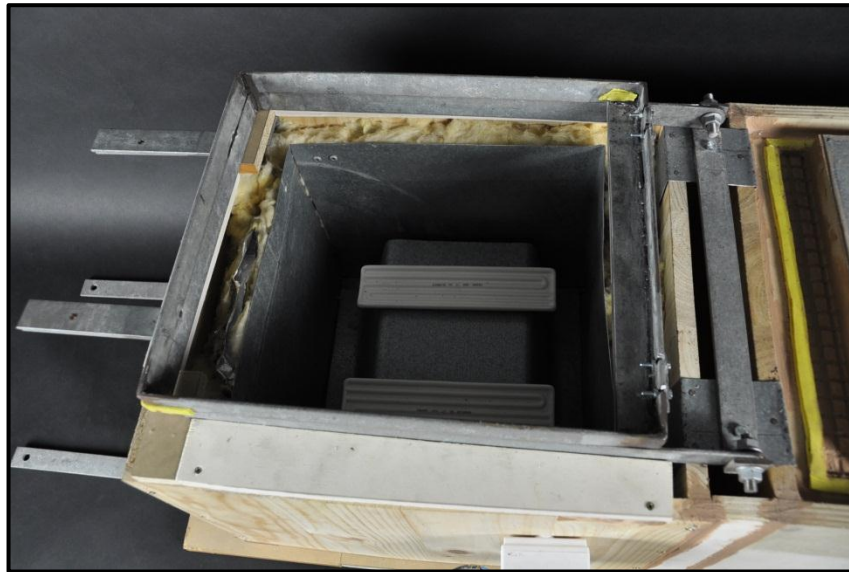
- Máquina fabricada para la asignatura *Prototipado Rápido*.



- Sin estudio previo.

# ESTADO DEL ARTE

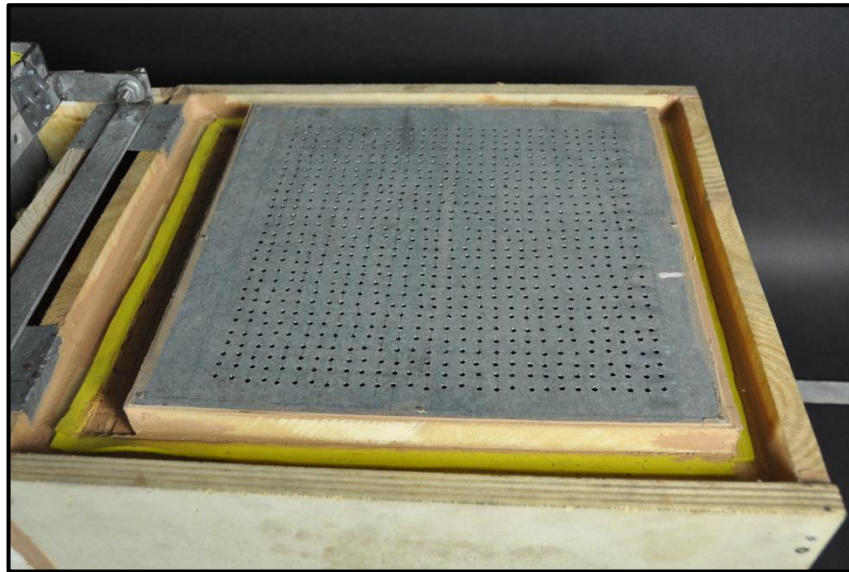
- Máquina fabricada para la asignatura *Prototipado Rápido*.



- Sin estudio previo.
- Problemas en la zona de calefacción.

## ESTADO DEL ARTE

- Máquina fabricada para la asignatura *Prototipado Rápido*.



- Sin estudio previo.
- Problemas en la zona vacío.
- Problemas en la zona de calefacción.



# VARIABLES DEL PROCESO

- Absorción de humedad de los termoplásticos.
- Comportamiento de los termoplásticos durante el calentamiento.
  - Influencia del periodo de calentamiento.
  - Expansión y alabeo.
  - Rangos de temperatura para el conformado.
- Estiramiento del material termoplástico.
- Vacío.
- Comportamiento de los termoplásticos durante el enfriamiento

# VARIABLES DEL PROCESO

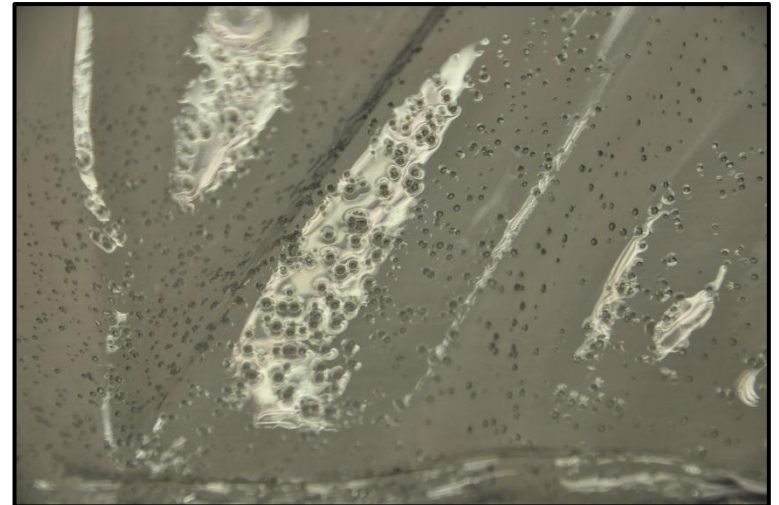
## ABSORCIÓN DE HUMEDAD DE LOS TERMOPLÁSTICOS

- Algunos materiales termoplásticos son higroscópicos (ABS, APET, PC, ETC.).
- Distribuidos en envases herméticamente cerrados.
- Procesado en estado seco.

# VARIABLES DEL PROCESO

## ABSORCIÓN DE HUMEDAD DE LOS TERMOPLÁSTICOS

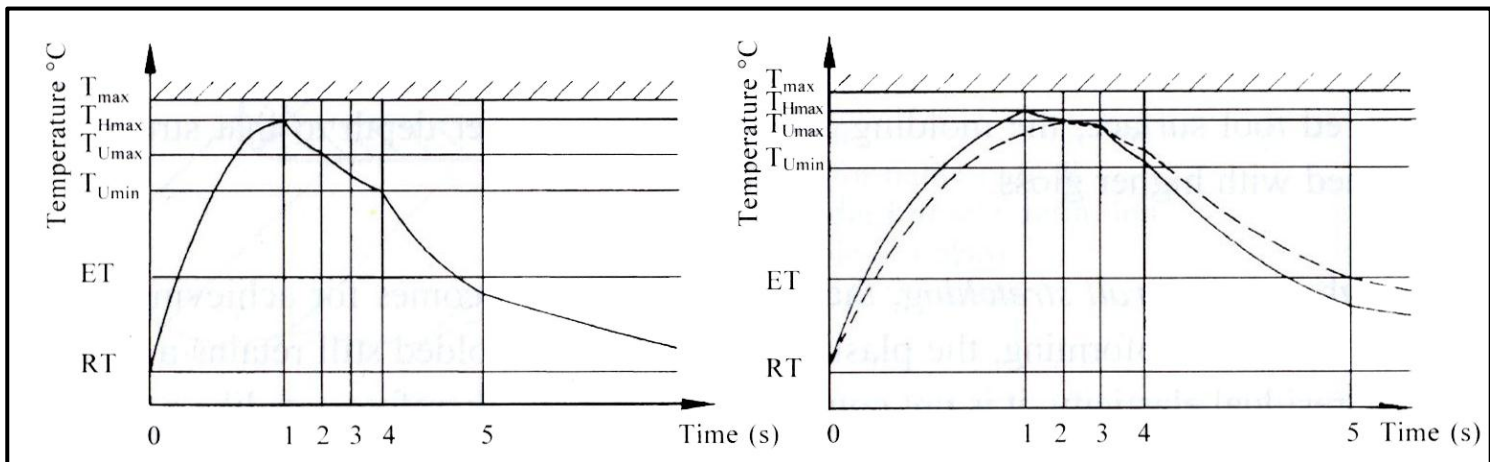
- Algunos materiales termoplásticos son higroscópicos (ABS, APET, PC, ETC.).
- Distribuidos en envases herméticamente cerrados.
- Procesado en estado seco.



# VARIABLES DEL PROCESO

## COMPORTAMIENTO DE LOS TERMOPLÁSTICOS DURANTE EL CALENTAMIENTO

- **Influencia del periodo de calentamiento.**
  - Temperatura y tiempo necesarios sin dañar el material.
  - Sujeto al grado del plástico, color y espesor de la lámina.
  - Perfil de temperatura dependiendo del espesor:



1. Fin del calentamiento, 2. Inicio del conformado, 3. Conformado, 4. Contacto completo con el molde, 5. Desmoldeo

# VARIABLES DEL PROCESO

## COMPORTAMIENTO DE LOS TERMOPLÁSTICOS DURANTE EL CALENTAMIENTO

- **Expansión y alabeo.**

- Se necesita saber el “coeficiente de expansión térmica lineal”.
- La expansión se calcula:

*Expansión lineal a través de la calefacción*  $\rightarrow \Delta l = l_1 \cdot \lambda \cdot (T_2 - T_1)$

Donde:  $\Delta l$  es la expansión térmica en mm,  $l_1$  es la longitud o dimensión en mm en la temperatura  $T_1$ ,  $\lambda$  es el coeficiente de expansión térmica línea,  $T_1$  es la temperatura de inicio, normalmente la temperatura ambiente, y  $T_2$  es la temperatura de finalización del periodo de calentamiento.

*Sólo es válida para la temperatura de operación bajas (115°C y 170°C).*

# VARIABLES DEL PROCESO

## COMPORTAMIENTO DE LOS TERMOPLÁSTICOS DURANTE EL CALENTAMIENTO

- **Rangos de temperatura.**
  - Los rangos de temperatura para el conformado están determinados por:
    - La temperatura más baja para que el material pueda ser moldeado con suficiente definición de detalle.
    - La temperatura más alta en la que el material no se daña térmicamente.

# VARIABLES DEL PROCESO

## ESTIRAMIENTO DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO

- Termoplásticos → Intervalo de temperatura óptimo → Fuerza mínima  
↓  
Más calor

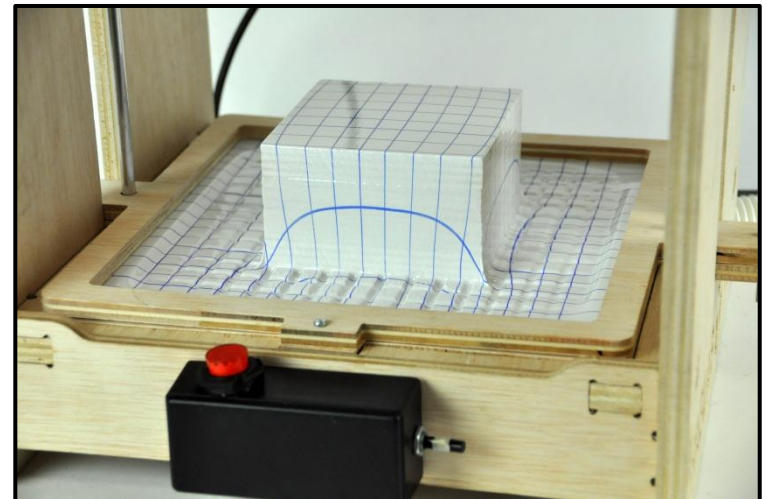
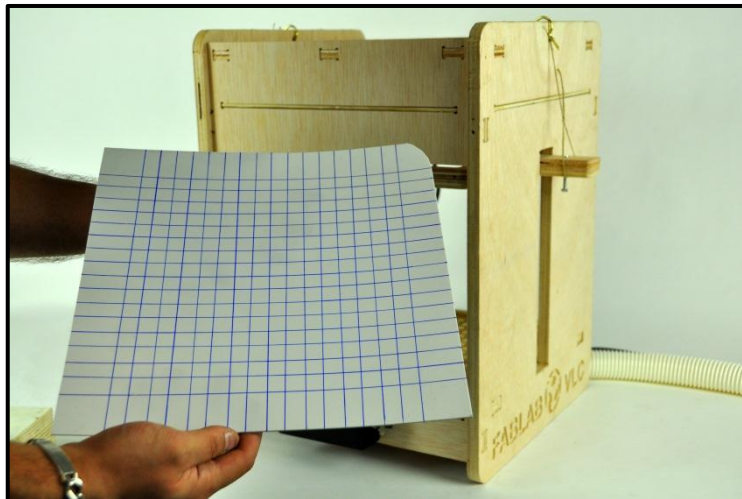
# VARIABLES DEL PROCESO

## ESTIRAMIENTO DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO

- Termoplásticos → Intervalo de temperatura óptimo → Fuerza mínima



Más calor





# VARIABLES DEL PROCESO

## ESTIRAMIENTO DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO

- Termoplásticos → Intervalo de temperatura óptimo → Fuerza mínima  
↓  
Más calor



# VARIABLES DEL PROCESO

## VACÍO

- Un adecuado sistema de vacío requiere de una bomba o motor capaz de desplazar de 710 a 735 mm. de Hg, es decir, aproximadamente 1 atm.
- Necesidad de evacuar el volumen a la mayor velocidad.
  - Reducir la fricción en la tubería.
  - Evitar codos de 90°.
  - Reducción de sección en la tubería.

# VARIABLES DEL PROCESO

## COMPORTAMIENTO DE LOS TERMOPLÁSTICOS DURANTE EL ENFRIAMIENTO

- Tras el calentamiento la lámina comienza a enfriarse.
- Mínimo tiempo desde el calentamiento hasta el conformado.
- Al contacto con el molde el enfriamiento es muy rápido debido a:
  - Temperatura del molde durante el estirado.
  - Soplos o succiones.

# TERMOPLÁSTICOS RECOMENDADOS

- Todos los termoplásticos son adecuados.
- Variación módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga.
- Termoplásticos más utilizados en el termoconformado al vacío:
  - **Poliestireno (PS)** → Excelente transparencia, resistente al agua, no resistente a disolventes.
    - Iluminación, pantallas, embalajes.
  - **Polivinilo de cloruro (PVC)** → Alta resistencia mecánica, rigidez y dureza. 50% petróleo.
    - Embalajes alimenticios y elementos de construcción.
  - **Tereftalato de polietileno amorfo (APETG y PETG)** → Apto para detalles, no cristaliza a alta temp.
    - Blisters para alimentos calentables, cubiertas de hornos,
  - **Acrinolitirino butadieno estireno (ABS)** → Alta tenacidad, resistencia al calor, no aplicaciones extern.
    - Contenedores, cajas, revestimientos o sanitarios.
  - **Polietileno de alta densidad (HDPE)** → Diversos tipos. Cualidades muy apropiadas hasta 3mm.
    - Paneles, cubiertas, cajas de juguetes, recipientes.
  - **Poliestireno endurecido (SB)** → No es transparente por el butadieno. Material de referencia.
    - Paneles de refrigeradores, material de picnic, todo tipo de envases.
  - **Policarbonato (PC)** → Gran resistencia y tenacidad incluso a baja temperatura.
    - Industria automotriz, electrodomésticos.

# SOLUCIÓN



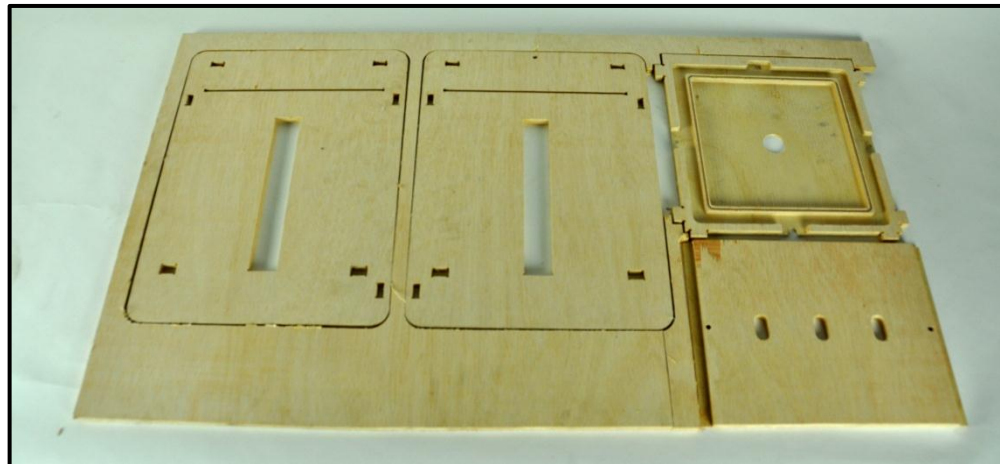
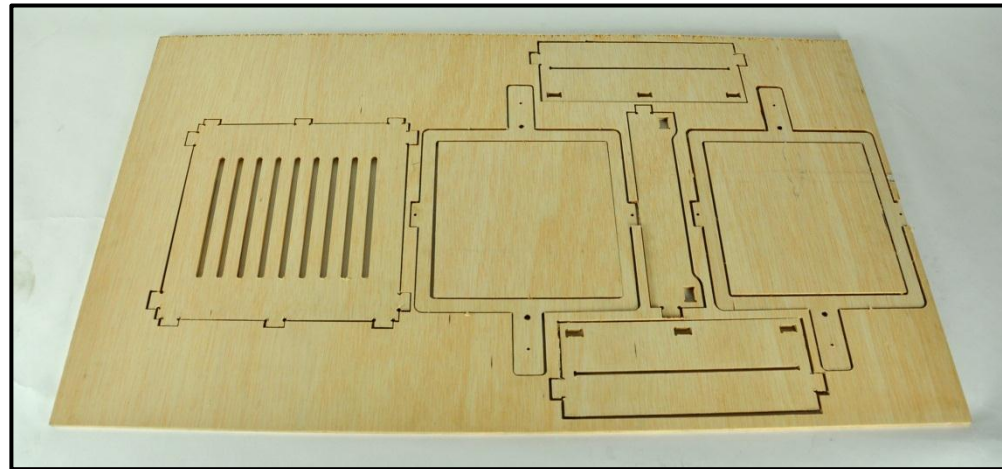
**FABLAB**  **VLC**



INSTITUTO  
DE DISEÑO Y  
FABRICACIÓN

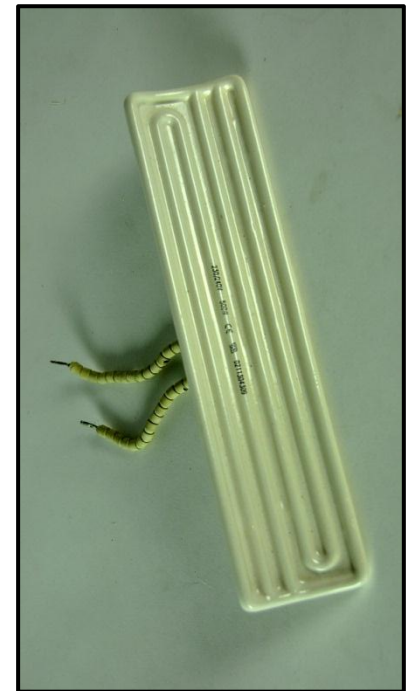
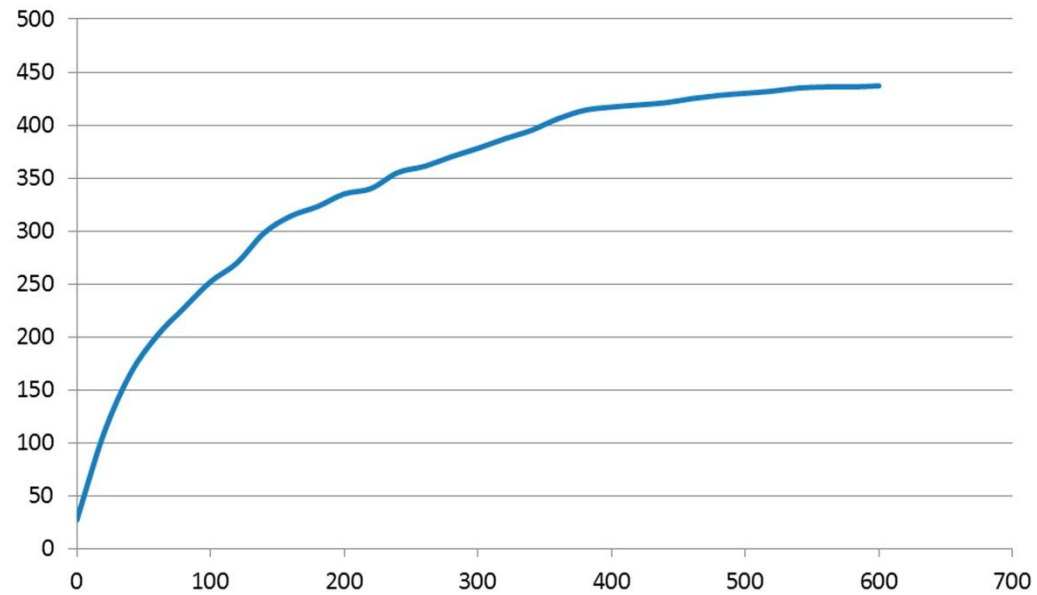
# SOLUCIÓN

- Fabricación en 2D y 3D.



# SOLUCIÓN

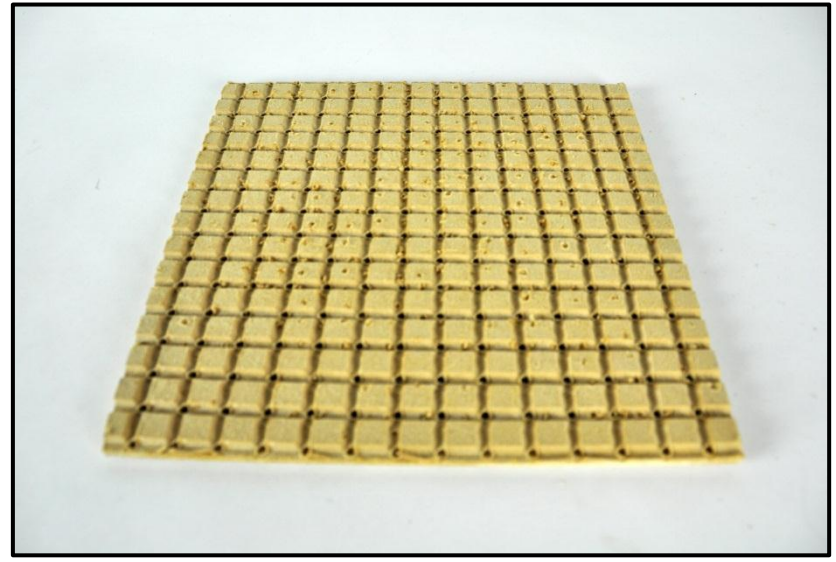
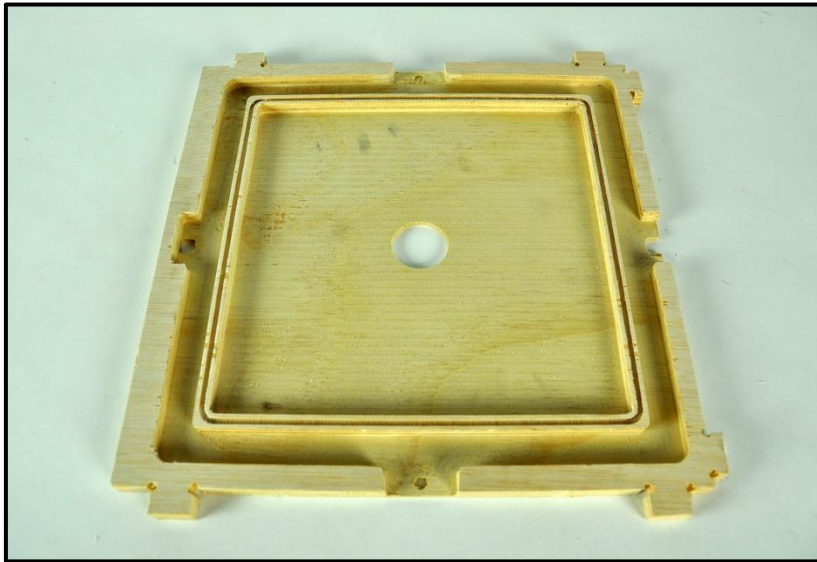
- Zona de calefacción.



500w.

# SOLUCIÓN

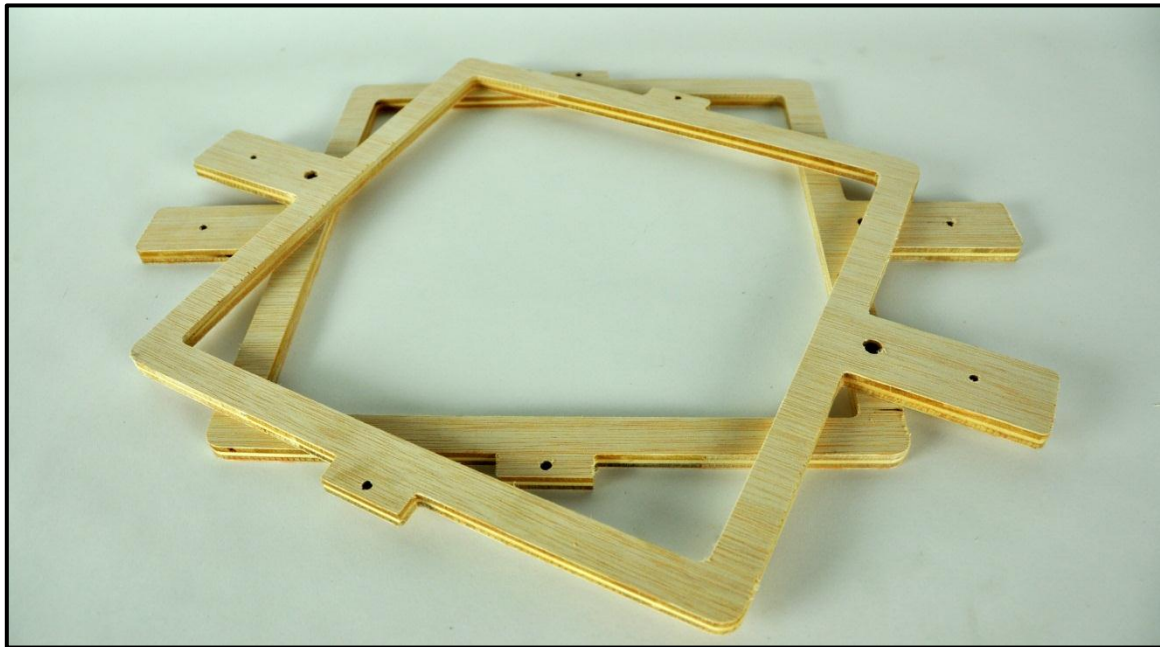
- Mesa de vacío.





# SOLUCIÓN

- Soportes de la lámina.



# PRESUPUESTO

## MATERIALES

Plancha 1200x680x10mm → 10€

Plancha 1200x680x15mm → 14€

Plancha 800x400x5mm → 4'6€

Resistencias (x2) → 56€

Interruptor → 1'3€

Cableado eléctrico → 1€

Tubo de aluminio Ø8 x1m → 1'5€

Cinta de aluminio → 2'5€

Tornillos → 1€

Tubo para aspirador → 6€

Tablero DM 25x25x10mm → 0'5€

Junta de silicona → 2€

**TOTAL \_\_\_\_\_ 100'4€**

## PROCESO

1 hora → 50€

2 horas → 100€

3 min. → 2'5€

1 hora → 50€

**TOTAL\_202'5€**

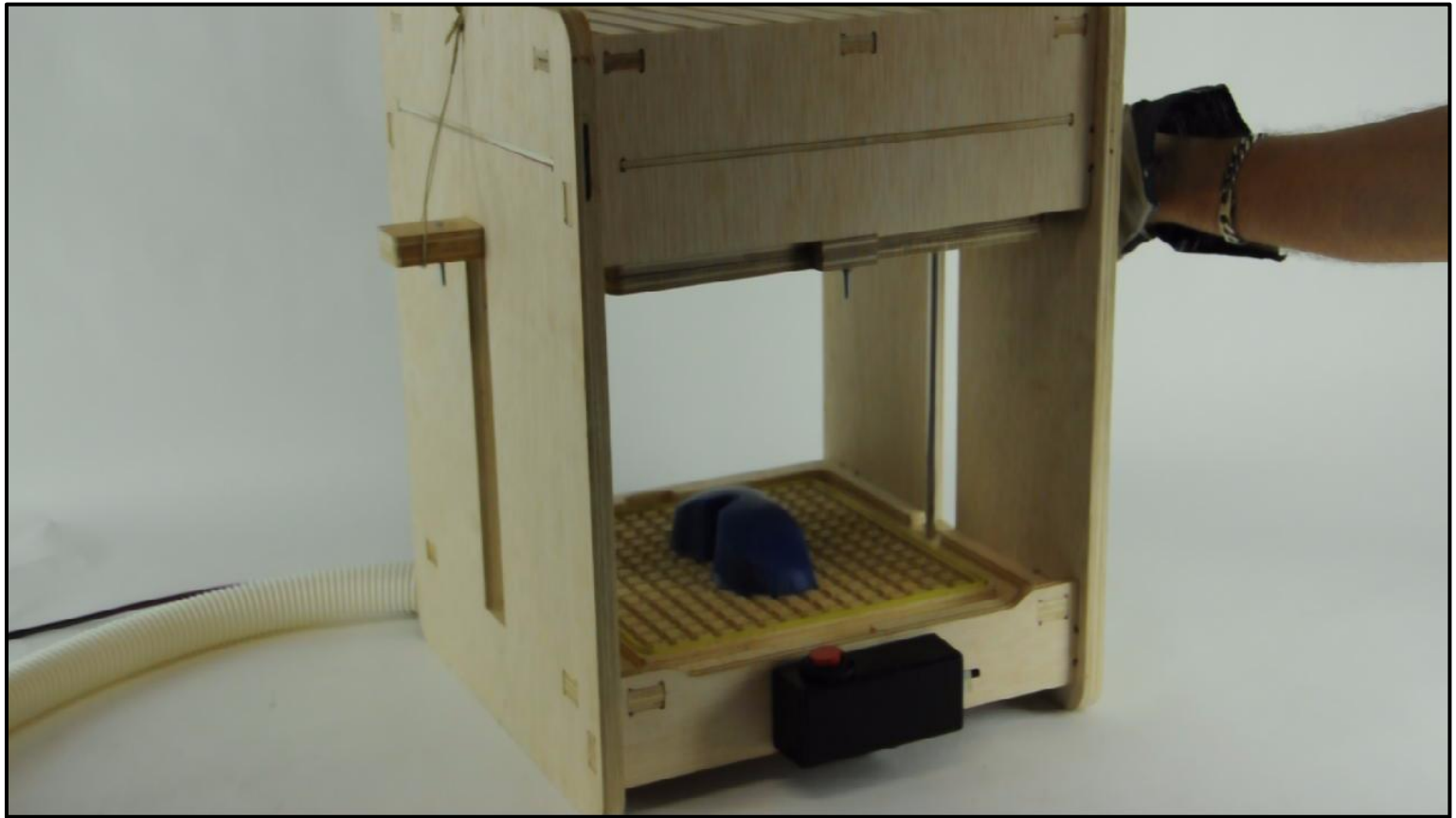
**TOTAL  
302'9€**

\*Desviación de 50€ respecto al objetivo

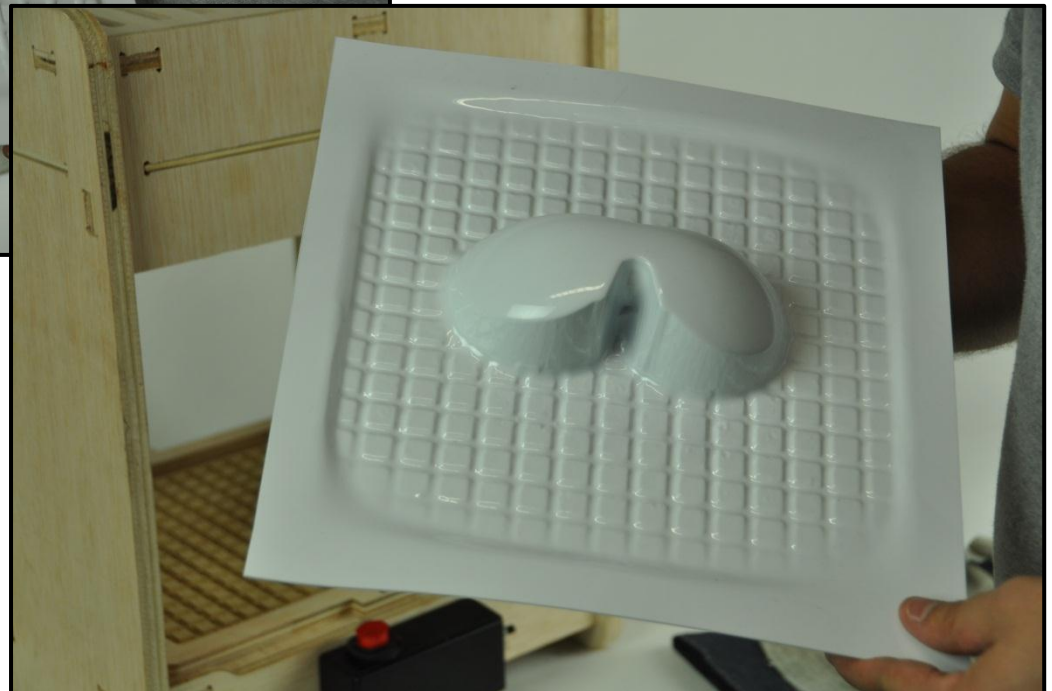
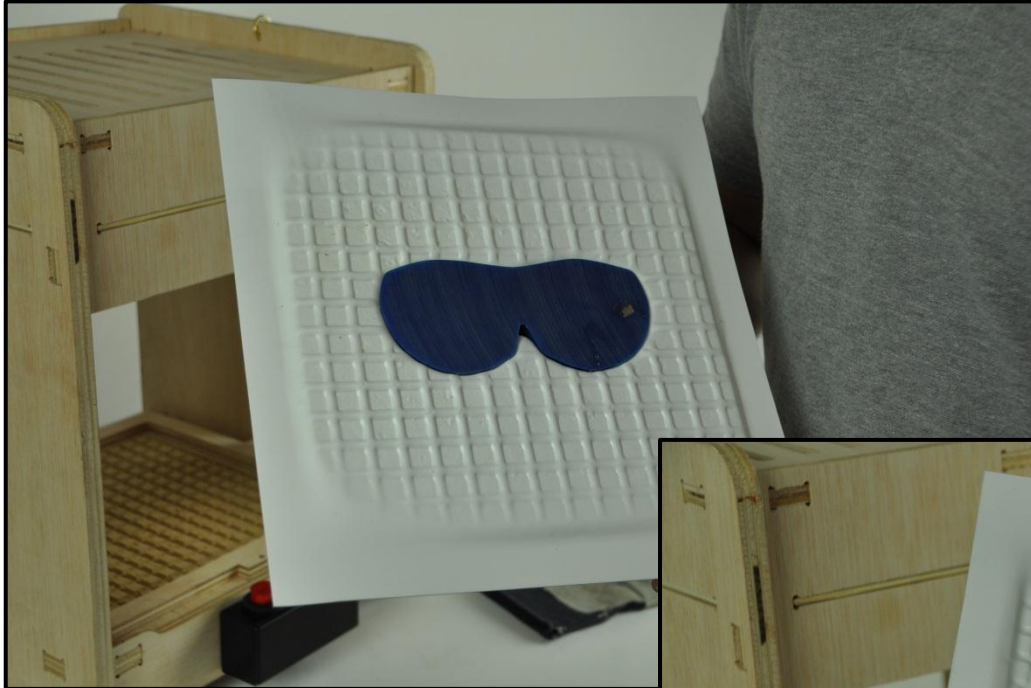
# CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- *Conclusiones:*
  - Tras el estudio de las variables teórico-prácticas implicadas en el proceso y la fabricación de una máquina similar se ha conseguido el objetivo principal.
  - Orientado a la fabricación personal (bajo coste).
  - Mejoras sin un gran impacto económico.
- *Trabajo futuro.*
  - Optimización a nivel estructural y eléctrico (disminución de costes y mejoras en el proceso).
  - Publicar los resultados obtenidos de este trabajo para que el sistema evolucione gracias a colaboradores.
  - Poner el resultado en conocimiento de la red de laboratorios de fabricación digital (FABLAB) para su investigación o desarrollo de sistema similares.

# EJEMPLO DE APLICACIÓN



# EJEMPLO DE APLICACIÓN



FIN

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**