

UNIVERSIDAD DE VIGO

Escuela de Ingeniería Industrial

**Departamento de Ingeniería mecánica, máquinas y motores
térmicos y fluidos**

TESIS DOCTORAL

**Desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de
foam elastomérico. Análisis metodológico en base a variables
térmicas y mecánicas**

Doctorando

Carlos Gustavo Parrilla García

que opta al grado de doctor por la UNIVERSIDAD DE VIGO

Director

José Antonio Vilán Vilán

Vigo, septiembre, 2015

AGRADECIMIENTOS:

José Antonio Vilán

María Porto

Diego Piñeiro

Lorena Rosende

Jorge Millos

Manuel Rañal

A mi familia

Con la realización de esta Tesis se pretende desarrollar un sistema integral de ingeniería en colaboración con la empresa de lencería Selmark (que implantará la metodología y las conclusiones traídas de este estudio), acerca de la fabricación de prehormados de foam para sujetadores y de los moldes necesarios para ello.

En primer lugar, se estudiará la tecnología adecuada para el tratamiento del foam, eligiéndose el termoconformado por ser la técnica que ofrece la posibilidad de reproducir la copa de sujetador más próxima a la hecha a medida y de ser insertada en una producción textil industrial.

En el desarrollo de la Tesis se abordarán todos los parámetros de influencia, térmicos y mecánicos en el termoconformado para lograr el control óptimo del proceso. Se seguirá una clara metodología de actuación en la que se relatará el empleo de técnicas tales como el escaneado Láser 3D, importación y tratamiento de datos en CAD 3D que permitan el manejo de nubes de puntos o comprobación de temperaturas obtenidas durante el proceso de termoconformado por medio de software de elementos finitos.

Teniendo como referencia la normativa en vigor y las exigencias de calidad del producto textil, se detallará el proceso de desarrollo técnico mecánico y térmico para un sujetador (se estudiarán los casos de un prehormado simple y del prehormado para sujetador push up) producido en serie, que aúne las características de un sujetador realizado a medida, establecidas previamente en la prueba física de modelo.

Para desarrollar las bases de la obtención de un molde de termoconformado para la reproducción en serie de prehormados de foam, se ha realizado un trabajo en distintas etapas:

- Análisis de los parámetros de influencia en el proceso de termoconformado. Donde se encuentran estudios de temperaturas y tiempos que determinan ciclos térmicos en el proceso.

Se plantearán los factores de influencia de la materia prima en los prehormados, así con un relato pormenorizado del desarrollo geométrico del molde de termoconformado.

- Obtención de un sujetador patrón por pruebas físicas de modelos. Mediante la confección manual de un sujetador prototipo se inicia el proceso de modelado geométrico del sujetador y en consecuencia del molde de termoconformado.

- Incorporación del molde prototipo en el proceso de desarrollo del molde de termoconformado final, que supone un considerable avance en el diseño y que permite la validación durante el proceso.

- Fabricación de un molde final que garantice la producción en serie de un sujetador realizado en base a la reproducción del sujetador confeccionado de forma artesanal.

- Estandarización del prehormado de foam. Se busca que las características del prehormado final se encuentren dentro de las tolerancias establecidas previamente por la copa patrón.

Se implementa así, el procedimiento para el termoconformado de prehormados de foam de sujetadores (con prehormados simples y prehormados push-up), estableciendo conocimientos y modelos de correlación que permitan desarrollar técnicas en otro tipo de sujetadores funcionales y personalizados.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	23
1.1. Incorporación de la tecnología del prehormado de foam por termoconformado a la moda.....	25
1.2. Estudio del material para los prehormados, FOAM.....	27
1.3. Reseña sobre termoconformado	32
1.4. Paradigma de la empresa Selmark.....	36
1.5. Normativa aplicable a termoconformado textil.....	38
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	41
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	47
3.1. Hipótesis de partida.....	49
3.2. Análisis de las características físico-químicas del foam	53
3.2.1. Proceso de fabricación de la espuma de poliuretano.....	53
3.2.2. Influencia del color y densidad de foam en el termoconformado	54
3.3. Análisis de parámetros del molde de termoconformado	57
3.3.1. Análisis del material del molde	57
3.3.2. Influencia del proceso de fabricación.....	59
3.3.3. Modelado y desarrollo geométrico del molde	61
3.4. Análisis de las variables del proceso de termoconformado.....	75
3.4.1. Estudio de la temperatura en el ciclo de termoconformado	75
3.4.2. Establecimiento de tiempos de termoconformado	81
3.5. Etapas de desarrollo del molde de termoconformado para prehormados de foam.....	84
3.5.1. Fabricación del molde prototipo de termoconformado	84
3.5.2. Fabricación de un pre-molde de termoconformado.....	89
3.5.3. Fabricación del molde final de termoconformado.....	91
3.5.4. Análisis térmico del molde de aluminio final.....	102
3.5.5. Temperaturas de proceso en los moldes de termoconformado.....	190
3.6. Caso de estudio y desarrollo de la talla 120 del modelo 1560	217
3.6.1. Digitalizado y suavizado de la copa 120 del modelo 1560	217

3.6.2. Recreación del molde de la talla 120 a partir de la talla 115 del modelo 1560.....	225
3.6.3. Revisión I del CAD para molde macho y molde hembra.....	238
3.6.4. Revisión II del CAD para molde macho y molde hembra	244
3.6.5. Revisión III del CAD para molde macho y molde hembra	252
3.6.6. Molde final de aluminio de la talla 120.....	255
3.7. Obtención pieza final y estandarización.....	258
3.8. Problemas y soluciones en el proceso de termoconformado.....	270
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES	275
CAPÍTULO 5. REFERENCIAS	289
ANEXOS.....	295
ANEXO 1. Informe químico del FOAM.....	297
Informe de microscopía óptica, comparativa 2 FOAM.....	319
Ficha técnica elastosil 4601 A + B.....	326
Ficha técnica poliuretano PU-31.....	329
ANEXO 2. Ficha técnica de las resistencias.....	333
ANEXO 3. Sistema de encaje molde talla 110 talla 1560.....	337
ANEXO 4. Ficha técnica cámara termográfica Fluke Ti25.....	341
ANEXO 5. Estudio ANSYS para talla 105, molde hembra.....	347
Estudio ANSYS para talla 105, molde macho.....	369
ANEXO 6. Estudio ANSYS para talla 100, molde hembra.....	387
Estudio ANSYS para talla 100, molde macho.....	410
ANEXO 7. Plano secciones revisión I – revisión II.....	433
ANEXO 8. Estudio de viabilidad para copas frontales.....	437

GLOSARIO

Conformado: Proceso mediante el cual se da una forma específica de acuerdo al diseño a un material que originalmente viene plano.

Termoconformado: Proceso consistente en calentar una plancha de material, de forma que al reblandecerse se pueda adaptar a la forma de un molde por acción de presión, vacío o mediante un contramolde.

Push up: clase de sujetador que levanta los pechos al incorporar unas inserciones de relleno.

Prehormado: Proceso mediante el que se le permite dar forma a tejidos.

Copa: parte prehormada del sujetador que sujeta el pecho.

Ciclo: La secuencia completa repetitiva en el ciclo de termoconformado, que consiste en calentamiento, formado, enfriamiento y extracción de pieza.

Temperatura: magnitud que indica el estado de la energía interna de un cuerpo, más concretamente con la energía cinética del cuerpo y la velocidad de las partículas del sistema. A mayor energía cinética, mayor será la temperatura a la que se encuentre.

Molde: es un conjunto de piezas acopladas, interiormente huecas pero con los detalles e improntas exteriores del futuro sólido que se desea obtener.

Molde prototipo: ejemplar original o primer molde en el que se fabrica.

Proceso de fabricación: el objeto es obtener productos según especificaciones de diseño a partir de preformas o materias primas, con el apoyo de recursos de producción realizado en un sistema de fabricación, mediante el empleo de una máquina o instalación con un medio óptimo, de acuerdo con ciertas reglas conocidas y sometido a parámetros.

CAD: sus siglas hacen referencia a Computer Aided Design, diseño asistido por ordenador. El proceso de diseño engloba cuatro etapas: modelado geométrico, análisis y optimización del diseño, revisión y evaluación del diseño y documentación y drafting.

CAM: sus siglas se corresponden con Computer Aided Manufacturing, fabricación asistida por ordenador. Se trata de un sistema en el que las máquinas automáticas deberían ser capaces de fabricar el modelo diseñado previamente en un programa CAD.

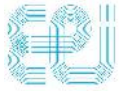
CATIA: acrónimo de *computer-aided three dimensional interactive application*, programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por ordenador.

ANSYS: software de simulación por elementos finitos que permite prever el comportamiento de un producto en un entorno real.

Escáner láser: dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma, la información permite construir modelos digitales tridimensionales.

Desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de foam elastomérico. Análisis metodológico en base a variables térmicas y mecánicas

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN



Universidade de Vigo

1.1. Incorporación de la tecnología del prehormado de foam por termoconformado a la moda

El prehormado es un proceso industrial mediante el cual se le confiere forma a diferentes tejidos tanto en frío como en caliente, utilizadas en productos como copas para sujetadores, badanas para ciclistas, calcetines o medias.

Concretamente para los prehormados de sujetadores, la espuma foam como una plancha de foam que se corta con dimensiones estándar en función de las medidas de los prehormados necesarios para debe obtenerse como una plancha que después pasa al proceso de corte. Es necesario darle una forma curva similar a la de un busto de una mujer, el prehormado permite de esta manera obtener estas características y dar la forma final al producto.

El prehormado se sirve de un molde de termoconformado en el que se sitúa el foam, este material puede ser moldeado como si de un metal se tratase, en el estudio que se realiza se va a considerar un termoconformado con molde hembra (con posición fija) y molde macho (con movimiento móvil), con resistencias alojadas en su interior que calientan el foam para reblandecerlo y consiguen darle la forma requerida.

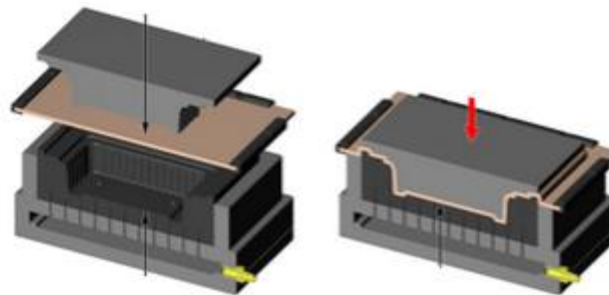


Ilustración 1.0-1-1. Representación molde hembra, molde macho y pieza a termoconformar

La incursión de un molde de termoconformado parcialmente automatizado permite frente a un diseño de conformado de la copa artesanal reducir tiempos, personal y mantener un acabado final uniforme, logrando que las dos piezas que



componen el molde tengan tolerancias muy acotadas y dimensiones precisas. Es por ello que la geometría del molde es primordial para el prehormado de foam.

Tal y como se nombró en líneas superiores el prehormado puede verse identificado con técnicas de deformación metálica/ plástica. El uso de este proceso en el sector textil vino motivado por la posibilidad de conseguir una curvatura definida, para ello se deben alterar las micro-estructuras presentes en las cadenas moleculares del material. Esto se realiza con la aplicación de cargas térmicas y presión (mediante elementos mecánicos), de forma que el nuevo estado de equilibrio del material requiere de torsiones, tracciones y deformaciones que hacen definitivas las características geométricas de las copas.

El objetivo del prehormado, es trabajar en condiciones de temperatura tales que aseguren la indeformabilidad en posteriores operaciones realizadas a temperaturas inferiores.

Los procesos de prehormados coinciden básicamente en que cada pieza se coloque en una horma que la mantiene tersa y en cuya situación se introduce un conjunto de piezas en una cámara convenientemente acondicionada. El proceso puede ser continuo, de modo que las piezas accedan a la cámara por un extremo y salgan por otra. O bien puede ser un proceso de interrumpido, en que la plataforma soporta piezas que son aportadas con espacios temporales.

1.2. Estudio del material para los prehormados, FOAM

La espuma viscoelástica, o memory foam, fue desarrollada por la NASA en el Ames Research Center en la década de 1970, nunca se utilizó en el programa espacial aunque si fue empleada para que los asientos fuesen más cómodos y seguros para los pasajeros y pilotos, de manera que pudieran soportar las fuerzas extremas de los despegues y los aterrizajes. Posteriormente surgieron aplicaciones médicas para colchones o almohadas que permitían mantener una presión uniforme sobre el cuerpo y por lo tanto permitir el descanso general sin sobrecargas o picos de presiones localizados.

El foam poliuretano es un material polimérico orgánico compuesto por enlaces repetitivos de carbono y oxígeno. Se obtiene mediante la reacción química de dos reactivos: polioliol e isocianato. En dicha reacción se libera CO_2 , este gas va formando la estructura de plástico poroso como agregación de burbujas de dicha espuma.

El poliuretano industrial es por lo general la mezcla de dos componentes o sistema bicomponente, el A y el B, en una proporción estequiometría definida.

Componente A:

Consiste en el Polioliol: una mezcla formulada y balanceada de glicoles. Se encuentran en mezcla con agentes espumantes y otros aditivos tales como aminas, siliconas, agua, propelentes y catalizadores organometálicos. Condicionan la reacción y dan las características a la espuma final.

Componente B:

El componente B es una mezcla e Isocianato, a veces prepolimerizados, que puede variar desde el 18 al 35% en funcionalidad.

Estos dos componentes conforman las espumas de poliuretano flexibles con estructura celular abierta y elástica. El proceso puede dar lugar a espumas de celda abierta o cerrada, de lo que va a depender fundamentalmente la reología y la tensión superficial de los fluidos, en algunas aplicaciones es necesario someter espumas de celda cerrada a un proceso final llamado reticulación en el que se rompen las caras de las celdas para dar lugar a un material de celda abierta.

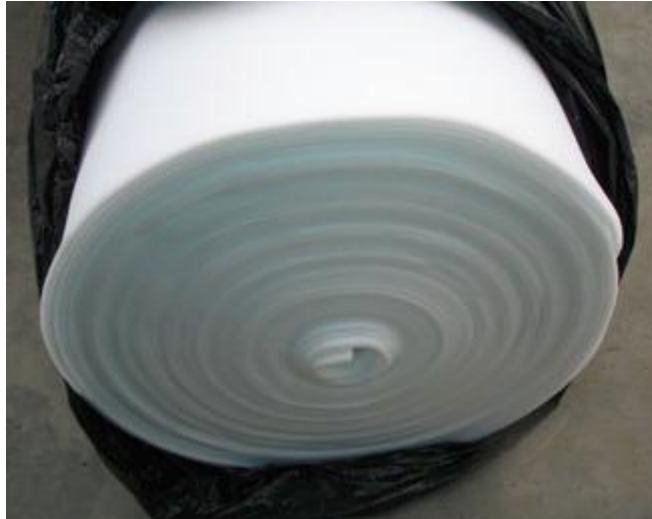


Ilustración 1.2-1. Imagen de foam ofrecido por el proveedor

La estructura textil (que recubre a la espuma de poliuretano) reticular está configurada por hilos de urdimbre y de trama de trayectoria rectilínea que discurren sensiblemente perpendiculares a los hilos.

Para conocer las características morfológicas, físicas, químicas y el comportamiento del foam empleado en el termoconformado de prehormados se realizó una microscopía de cuatro muestras proporcionadas por el fabricante. Del informe obtenido se puede concluir que las muestras de foam que será utilizado para los prehormados de foam se corresponden con una espuma suave, de baja densidad (en torno a $38-40 \text{ kg/mm}^3$) y baja resistencia a la compresión, y se toman las de mejores características como exigencias a cumplir por el fabricante. Dicho informe se encuentra como información complementaria en el ANEXO 1.

Las espumas de poliuretano pueden enmarcarse en espumas en caliente (espumas que liberan calor durante su reacción, generalmente piezas de gran tamaño que son cortadas posteriormente) y espumas en frío (en la reacción para su formación apenas liberan calor y las piezas son creadas individualmente, en moldes lo que supone un aumento de precio). En el estudio que se está realizando para los prehormados de foam se emplean espumas de poliuretano generadas en caliente, de una pieza de gran tamaño se generan múltiples partes para definir los prehormados. También cabe destacar que la pieza de espuma de poliuretano, foam, puede adquirir distintos grosores según las necesidades y distintos colores o pigmentos.

Por ser un compuesto orgánico si se expone a una fuente de calor elevada podría ser propenso a arder, la temperatura de ignición dependerá de la formulación

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

química (ya que admite diferentes variantes y aditivos) pero con características de inflamabilidad menores al caucho natural o al látex SBR y con mayor capacidad de resistencia a la oxidación y al envejecimiento, es por ello que debe tenerse un control exhaustivo de la temperatura aplicada durante el tratamiento de conformado.

En función de los aditivos o de los sistemas de fabricación se pueden conseguir características muy distintas y espumas de usos muy variados. Para comparar espumas de la misma composición pero con distintos volúmenes se usa la densidad, en el estudio que se realiza sobre prehormados de foam para sujetadores, la espuma de foam que debe ser utilizada es de baja densidad y con estructura reticulada donde características de conformación, resistencia a la deformación, transpirabilidad son fundamentales.

Con respecto a sus propiedades mecánicas y térmicas, el foam se define como un fluido no newtoniano, considerando que la viscosidad de corte es igual al cociente entre la tensión y la tasa de deformación.

$$\eta = \frac{T}{\dot{\gamma}}$$

Donde:

η : viscosidad de corte

T : tensión

$\dot{\gamma}$: tasa de deformación

La viscosidad del foam varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica. Por lo tanto un fluido no newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante a diferencia de un fluido newtoniano. Se definen en la siguiente figura las propiedades generales más destacadas de las espumas poliméricas como es el foam:

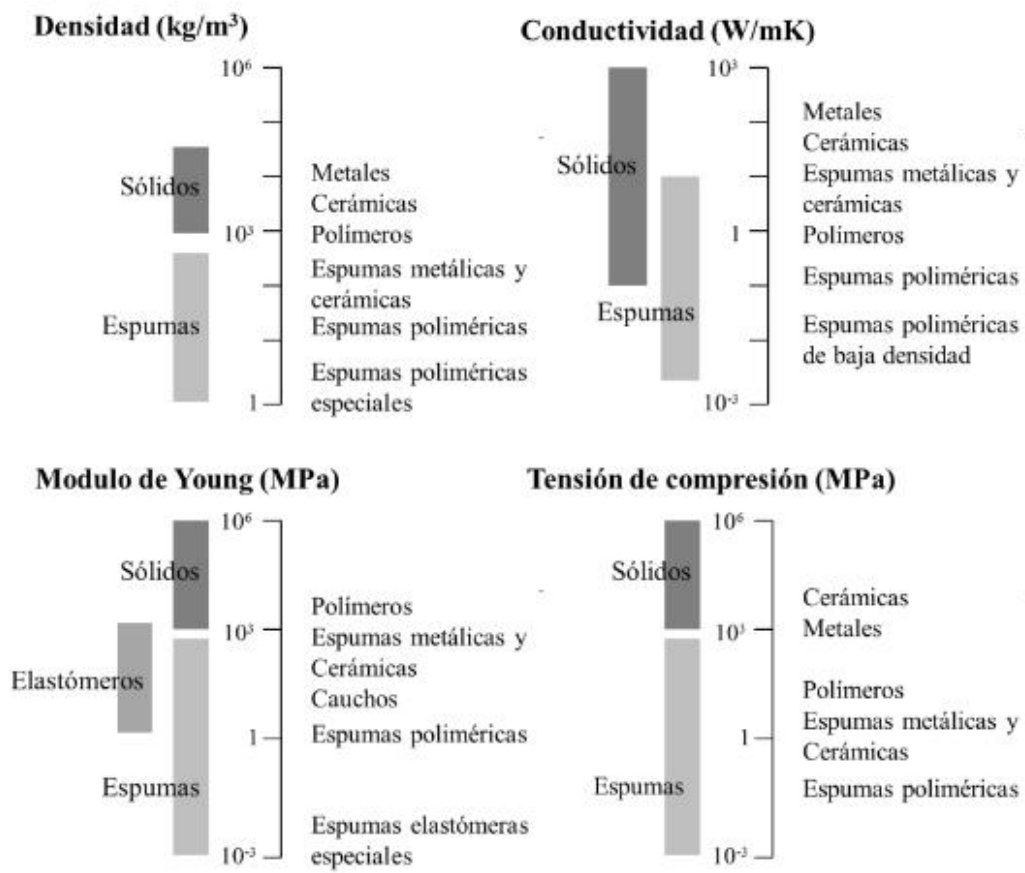


Ilustración 1.2.-2. Propiedades generales de espumas poliméricas

Fuente: Gibson y Ashby, 1997

Entre las prendas textiles que utilizaron/ utilizan foam (espuma de poliuretano) se encuentran las hombreras, almohadillas que se colocan en el interior de las chaquetas para realzar la zona de los hombros y que están cubiertas generalmente con una funda de tela. Surgen en los años 30 del siglo XX, pero es en los 80 cuando se produce un resurgir de la utilización de estos complementos.

Trajes con relleno típico de disfraces o collarines ortopédicos, también son realizados con foam



Ilustración 1.2-3. Imagen de una hombrera prehormada

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

conformado al igual que los prehormados de foam para sujetadores analizados en esta tesis.



1.3. Reseña sobre termoconformado

El termoconformado o termoformado es un proceso consistente en calentar una plancha o lámina de semielaborado termoplástico o termoestable, de forma que al reblandecerse pueda adaptarse a la forma de un molde por acción de presión, vacío o mediante un contramolde. A diferencia de otros procesos como la inyección, el soplado y el rotomoldeado, el termoconformado parte de una lámina rígida de espesor uniforme.

La introducción del termoconformado en la industria fue a finales de la Segunda Guerra Mundial, con el inicio de la fabricación de materiales termoplásticos que permitieron llegar a un veloz desarrollo de la maquinaria y equipos. Es en la década de 1950-1960 cuando la industria del termoconformado expansiona y se afianza. Concretamente en 1956, Adolf Illig crea la primera máquina de termoconformado para láminas y planchas de plástico usando calor y vacío, bajo la marca de Helmut Roegele, S.A.

Se da comienzo así a un proceso que genera múltiples productos, entre ellos, los textiles todos con denominador común, los prehormados, tales como las hombreras, sujetadores push up o rellenos para trajes (disfraces o similares).

Debido a la naturaleza viscoelástica de los polímeros (en este caso foam), el proceso de termoformado es difícil de modelar y estudiar, ya que su comportamiento es dependiente del tiempo y se encuentra vinculado a la presencia de una gran cantidad de variables de proceso, interdependientes entre si (temperatura, presión, velocidad) y geometría del molde.

En 1986, Throne estableció dos campos principales donde las matemáticas podrían aplicarse al diseño de productos y procesos. Estas áreas se refieren a la predicción del tiempo de ciclo de las piezas termoconformadas. En este trabajo se indicó que la predicción del tiempo de ciclo dependía directamente de la transferencia de calor por conducción, convección y radiación que podía ser moldeada a través de sistemas de ecuaciones diferenciales finitas.

El proceso comprende el calentamiento del material en un rango de temperatura para que se reblandezca y pueda tomar una forma determinada al entrar en contacto con el molde. A continuación la lámina se moldea hasta donde se retiene la forma, se retira el molde móvil (molde macho) y se deja el material sobre el molde hembra hasta que su temperatura sea adecuada para retirarlo y se procede a recortar el material sobrante o realizar las operaciones oportunas.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las etapas fundamentales del proceso de termoconformado en este estudio de investigación para el prehormado de foam son:

- Calentamiento de la plancha de foam, el calentamiento de la plancha de foam que permite conformarla y obtener el prehormado de foam se realizará por conducción, es decir, por contacto directo entre sólidos. Se realiza el contacto entre la plancha de foam y el molde de termoconformado.

Los elementos que permiten calentar el molde, el tipo de transmisión de calor para obtener el calentamiento y cuestiones relativas a la distribución térmica se desarrollarán en apartados posteriores.

Para el calentamiento en el proceso de termoconformado, se busca desarrollar un control preciso de la temperatura sobre la plancha de foam y un alto aprovechamiento del calor, para obtener un reparto homogéneo y conseguir así una adecuada transferencia de calor.

El proceso de calentamiento condiciona de forma elevada el tiempo de ciclo, por lo que en los estudios de realización de esta Tesis, se pondrá especial cuidado al control de la temperatura y desarrollo de correlaciones térmicas.

- Moldeo de semielaborado, el calentamiento del foam posibilita que este se encuentre a una temperatura tal que al aplicarle la presión, vacío o conformado mecánico, permita su moldeo o conformado y que este sea duradero con el tiempo. Se desarrollará con detalle en el apartado 3.4.1

- Enfriamiento del producto, comienza cuando el material ya moldeado es enfriado a temperatura ambiente y termina cuando la temperatura es válida para extraer la pieza sin deformarla. Se desarrollará en el apartado 3.4.1

Para el proceso de termoconformado se emplea una máquina de termoconformado en la que se dispone de un molde diseñado para cada necesidad en particular. En nuestro caso para obtener los prehormados de foam, se elige la configuración de un molde macho-hembra.



Para la realización del termoconformado de foam, las planchas de foam son calentadas entre dos moldes opuestos entre si con dos contornos complementarios (macho-hembra). Cuando los moldes se aprisionan, forzarán a que la lámina tome forma. Cualquier protuberancia en el molde macho, mecánicamente forzarán a que quede reflejada en la contraparte (molde hembra).

Intervienen tres criterios para controlar esta técnica:

- La fuerza aplicada, cualquiera que sea la fuente (neumática, hidráulica o mecánica) deberá tener la fuerza suficiente para inducir al plástico a deformarse, naturalmente una superficie muy grande o un molde muy intrincado requerirá una mayor fuerza de presión.
- Que no exista retención del aire atrapado, si no existiese una buena expulsión natural del aire se tendría que insertar mecanismos de conducción forzada o conductos de evacuación de aire.
- Control del límite de estiramiento, que es resultado de las fuerzas aplicadas en el proceso, esto puede conllevar que el molde macho puede ser relativamente inferior al molde hembra.

También deben ser consideradas las variables de proceso, como temperatura y tiempo. Y los parámetros de influencia del material a conformar y de la geometría del molde.

Con la realización de esta Tesis, se pretende establecer las bases de conocimiento y control del termoconformado de planchas de foam para la realización de prehormados de sujetadores.

Para ello se partirá de estudios de control de la temperatura con la plancha de foam establecidos por ensayo y error que vendrán influidos por la talla, modelo o características del material.

Se intentará desarrollar un molde de termoconformado que permita obtener una temperatura uniforme en la plancha de foam, para lograr una distribución de temperatura que permita flexibilizar la capacidad de conformación de la plancha de foam en función del modelo o de la talla del prehormado.

La elección de una estrategia de calentamiento adecuado es relevante debido a dos razones. En primer lugar, influye directamente en la calidad del producto

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

acabado. En segundo lugar, una mala elección inicial de la estrategia de calentamiento se traducirá en una fase de ensayo y error que lleva la mayor parte del tiempo de configuración para los nuevos productos, que afecta el tiempo de salida al mercado de una manera negativa.

Previo a la segunda fase, el termoconformado de la plancha de foam, la distribución de temperatura se estudia por medio de simulaciones de elementos finitos térmicos que servirán de guía para el proceso de termoconformado.



1.4. Paradigma de la empresa Selmark

En este punto se pretende introducir la aparición del sujetador push up, su relevancia para la marca Selmark y la relación de Selmark en este desarrollo.

Data del año 1930 la creación por parte de D.J. Kennedy del primer sujetador con almohadillas inspirado por una atleta sueca que se hizo daño en el pecho cuando participaba en la Olimpiadas de Noruega de 1928.

En 1943 un ingeniero aeronáutico diseñó el primer Push-Up como encargo de un director de cine para una de sus actrices que fue llamado The Rising Star.

En las décadas 50's y 60's se desarrollan para propiciar mayor confort nuevos materiales como el nylon y la lycra; y en esta última década se renombra el sujetador Wonderbra (ya que había sido patentado en 1935, éste con una tira diagonal añadida al tirante que estilizaba el busto) con las características de realzar los senos y el aumento de talla, llamado Wonderbra 1300.

Aparece Victoria's Secret en la década de los 70 marcando un punto de inflexión en la lencería, por un lado destacan sus eventos protagonizados por Top Models y creaciones sorprendentes como el "Fantasy Bra" que aportó a la lencería piedras preciosas y encumbró la lencería a lo más alto.

Selmark inicia su actividad en los años 70, sus comienzos fueron en un pequeño taller de confección. Con la llegada de la tecnología a la moda en los años 80, Selmark aumenta su mercado internacional manteniendo la exigencia en los procesos de confección, apostando por la innovación y la evolución constante. Su crecimiento y consolidación sitúan a Selmark como una marca de lencería de alto prestigio, con diseños significativos como el Push-Up o el SuperBra comparables en el mercado con los modelos Wonderbra o de Victoria's Secret, citados en líneas superiores.

En Selmark existe una variedad de 27 tipos de modelos de sujetadores diferentes. Dentro de estos modelos se pueden distinguir sujetadores para gran capacidad, sujetadores para lograr un modelado óptimo, sujetadores para elevar y realzar o sujetadores con alto nivel de sujeción.

Esta tesis se centrará en los siguientes modelos de sujetadores:

- Modelo 1560 de Selmark: considerado como un sujetador esencial con prehormados de foam, concebido para lograr el modelado del busto de la mujer.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

- Modelo 1413 de Selmark: conocido como Push-up, se trata de un sujetador de prehormado con insertos push que buscan elevar y realzar el pecho.

La confección del sujetador está delimitada por varias etapas, se define así un diagrama de flujo:

- En primer lugar se procede al diseño de la nueva colección. Su punto de partida es la combinación de tendencias, colores, telas y texturas. En esta etapa se evalúan las cantidades de foam, telas e insumos necesarios para la creación de la colección.
- A continuación se realiza el patronaje, en función de unos patrones bases se modifica y escala según el diseño y la talla. Para este proceso se cuenta con modelos sobre las que se toman medidas físicas y sobre las que se recrea un sujetador patrón.
- En este punto se procede al desarrollo del molde de termoconformado y de la producción en serie. Punto a desarrollar en la presente Tesis y que conlleva un trabajo técnico específico en el que se deben diseñar los moldes que permitan obtener la reproducción más fidedigna a las copas artesanales.
- Una vez realizado el molde de termoconformado, se procede a dimensionar las planchas de foam en función de la talla del prehormado que se requiera.
- Una vez dimensionadas se cortan, y se agrupan por colores y dimensiones, de forma que se pueda agilizar el proceso de introducción de las planchas en el molde de termoconformado.
- Una vez obtenidos los prehormados de foam se troquelan las partes de espuma sobrantes, se realiza el control de calidad y se procede a la confección.



1.5. Normativa aplicable a termoconformado textil

Algunas de las normativas que deben ser seguidas para realizar el termoconformado textil guardan relación con la seguridad de las máquinas, los materiales que son conformados o los resultados de las reacciones producidas durante el proceso.

- UNE-EN 563/a1/AC: 2000. Seguridad de las máquinas. Temperaturas de las superficies accesibles. Datos ergonómicos para establecer los valores de las temperaturas límites de las superficies calientes.
- UNE-EN ISO 11248:2000 Plásticos. Materiales termoestables para moldeo. Evaluación de las características funcionales a corto plazo a temperaturas elevadas (ISO 11248:1993).
- UNE-EN 12409:2009. Máquinas para caucho y plástico. Máquinas de termoconformado. Requisitos de seguridad.
- En concreto para el **termoconformado de foam**, deben seguirse unas directrices y control producido en la sublimación de foam a 180°C y generación de *isocianato*.

Los isocianatos son compuestos orgánicos que contienen en su molécula el grupo $-N=C=O$ unido a un radical alifático o aromático.

El isocianato producido en el termoconformado de foam es de tipo TDI, extremadamente volátil y del que deben evitarse altas concentraciones, ya que su toxicidad podría producir irritaciones en la piel y mucosas o problemas respiratorios crónicos.

Por ello las concentraciones indicadas por INSHT deben encontrarse por debajo de 0,005 ppm e inferiores a 0,036 mg/m³.

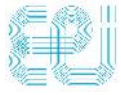
Para que estas concentraciones no se produzcan se instalan extractores donde reposan los prehormados al ser extraídos de la máquina de termoconformar, el tiempo mínimo que se sitúan los prehormados es de 10 s.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN



Desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de foam elastomérico. Análisis metodológico en base a variables térmicas y mecánicas

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS



Como objetivos fundamentales del estudio que comprende esta tesis, destacan dos puntos que se citan a continuación:

- Desarrollar una metodología para obtener un molde que permita una producción en serie repetitiva y que reproduzca el sujetador patrón inicial realizado artesanalmente y con modelos.
- Establecer y controlar los parámetros que intervienen en el proceso de termoconformado para la obtención de prehormados de foam con las características finales adecuadas.

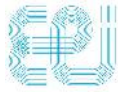
Durante los pasos definidos en el apartado 1.3 se realiza un estudio detenido de los siguientes factores que intervienen en el proceso de termoconformado para controlar su influencia y conocer los valores que tomarán en el proceso, tales como:

-Temperatura de conformado: la temperatura de conformado depende de las propiedades del material a transformar (espesor, color, resistencia al conformado del foam) y de las características de la pieza final (complejidad de la pieza, acabado).

La energía que se genera en el proceso de termoconformado aparece en forma de calor o de energía térmica interna del cuerpo (en este caso en la plancha de foam) y parte de ella es disipada a través de la fricción. El fin último del proceso de termoconformado es incrementar el calor de la pieza para aumentar su temperatura y así alterar su forma. La temperatura junto con el calor específico y la conductividad térmica son propiedades físicas de los polímeros que intervienen extensivamente en el termoformado.

En el proceso de termoconformado la temperatura es un factor crítico, reducir la temperatura bruscamente en el conformado de la pieza podría ocasionar esfuerzos internos excesivos en la plancha de foam, disminuyendo su resistencia e incluso deformándola. Por otro lado altas temperaturas en el termoconformado podría provocar que el foam se deforme, se queme o que se produzcan marcas irreversibles en el prehormado final.

Es necesario realizar un análisis detallado de la influencia de la temperatura para la obtención de la pieza final de prehormado de foam.



-**Tiempos de conformado:** los tiempos de conformado se corresponden con el ciclo térmico que se puede analizar en tres apartados diferenciados: el tiempo de calentamiento, tiempo de conformado y tiempo de enfriamiento.

El *tiempo de calentamiento* viene determinado por el volumen de la plancha de foam, el equipo de calentamiento o el coeficiente de transmisión del mismo.

El tiempo de calentamiento es el tiempo empleado en calentar la plancha de foam hasta la temperatura adecuada para realizar el termoconformado. La relevancia de controlar este tiempo viene dada por la necesidad de distribuir de forma homogénea la temperatura óptima de forma tridimensional.

Tiempo de conformado: se corresponde con el tiempo que necesita la plancha una vez reblandecida para tomar la forma necesaria. Es el tiempo relativo a la adquisición de la geometría aportada por los moldes.

Tiempo de enfriamiento que depende de los mismos factores que el tiempo de calentamiento y ha de ser suficiente (es decir, debe conseguirse un enfriamiento homogéneo en la plancha) para que el elaborado final sea resistente y no se deforme al manipularlo.

En el apartado de metodología se analizarán más detenidamente los tiempos, se comprobará que el tiempo de calentamiento y el tiempo de conformado comienzan simultáneamente y se detallará la necesidad de un tiempo para extracción de partículas posterior al termoconformado.

-**Geometría, superficie (CAD):** Para la producción de prehormados termoconformados para sujetadores, es de vital importancia evaluar la forma, las dimensiones y la apariencia final que se pretende obtener.

La geometría del molde condicionará las características de los prehormados finales, por ello se debe lograr que los prehormados obtenidos tras el proceso de termoconformado, guarden las proporciones dimensionales de la copa del sujetador patrón.

-**Material del molde:** la elección del material del molde vendrá condicionada por: el volumen de producción, la conductividad térmica (se necesita un material que permita calentar la plancha de termoconformado de forma rápida y pierda calor una

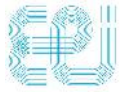
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS

vez la plancha se haya prehormado), el peso específico del material del molde (debe favorecer la manipulación) y la capacidad de maquinado. Factores determinantes para que la elección del material del molde de termoconformado sea el correcto.

Se busca obtener así un molde con buena relación calidad-precio y que permita mantener la repetitividad de los prehormados de foam durante su producción en serie.

-Color de las planchas de foam: se establecerá la importancia de conocer el color de las planchas de foam que influirá explícitamente en el proceso de termoconformado especialmente en el estudio de tiempos y de temperatura. Se recoge en anexos un informe de microscopía óptica de comparativa de dos foam de distinto color.

El proceso de termoconformado debe ser optimizado buscando unos tiempos mínimos de calentamiento en los moldes, una distribución de temperatura uniforme sobre la superficie para garantizar la calidad final de la plancha de foam termoconformada. También se busca encontrar un modelo cuya inercia térmica permita que la temperatura de la superficie del molde permanezca dentro de un rango aceptable de operación mientras se lleva a cabo el proceso.



Desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de foam elastomérico. Análisis metodológico en base a variables térmicas y mecánicas

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA



Universidade de Vigo

3.1. Hipótesis de partida

Para el desarrollo de las hipótesis de partida en el termoconformado de los prehormados de foam para sujetadores se debe puntualizar que el aumento de talla de sujetador no guarda relación proporcional, ni en el diseño ni en las proporciones del sujetador. Por lo tanto para el estudio que se está realizando, cada pieza de prehormado de foam será diferente y tendrá un estudio independiente para las distintas tallas.

Cada talla tendrá un diseño en CAD, análisis particular y un molde para la fabricación, no se establecen escalas o relaciones proporcionales entre las diferentes tallas, aunque con el estudio y desarrollo que se detallará en la tesis, se buscará establecer correlaciones que permitan avanzar en el conocimiento de dicha técnica.

Las condiciones con las que se inicia el proceso de termoconformado, son las siguientes:

- *Propiedades dimensionales del foam*, los espesores del foam que serán termoconformados para la obtención de los prehormados de foam tienen espesores de 5 mm y 15 mm.

El foam que ofrece el proveedor se recibe en rollos cilíndricos de gran tamaño. En la planta de producción se debe realizar el corte para la obtención de las planchas. Se realiza de forma circular tomando como referencia el punto central del rollo de foam recibido y de tal forma que los cortes se realicen concéntricos, a continuación el proceso previo al termoconformado es el estirado y cortado en piezas correspondientes a las planchas de foam que se termoconformarán.

El buen procesamiento del foam en el proceso de corte repercute en el termoconformado y en el prehormado final. Si las dimensiones de la plancha que va a ser termoconformada no son suficientes, el foam se estirará más en determinadas zonas para abarcar el molde, por lo que se tendrá que desechar.

Si la plancha de foam es superior al tamaño óptimo para termoconformar, no se conseguiría la forma de la copa óptima ya que no formaría una curvatura redonda si no que se obtendría una copa con curvatura en punta.

Si por el contrario, la plancha de foam tiene menores dimensiones que las marcadas de forma estándar, al aprisionar el molde macho contra el molde hembra, la



plancha se desliza porque existen partes de los moldes que no entran en contacto y se generarían arrugas en la zona central de la plancha de foam.

Estas son las razones por las que se decide estandarizar las dimensiones de las planchas de foam:

Las tallas 80, 85, 90 y 95 se engloban en un mismo tamaño de plancha de foam, con dimensiones: 340 mm de largo* 240 mm de ancho.

Para el prehormado de la talla 100, se dimensiona una plancha de 360 mm de largo * 262 mm de ancho.

Para la talla 105, la plancha de foam tendrá las características: 410 mm de largo * 110 mm de ancho.

Los sujetadores push up se prehorman con planchas de foam de espesor 15 mm. Lo que se pretende hacer con estas planchas es que tras el proceso de termoconformado el foam que dará forma a la copa, se estire y el espesor pase a ser de 5 mm, mientras que el foam que dará forma a la pieza push up mantenga su espesor inicial de 15 mm (para que se obtenga el efecto deseado de elevar el pecho).

Se obtendrá un espesor final en los bordes de la copa menor en torno a 2 mm, para así poder situar el aro, los tirantes, realizar los cosidos de telas/encajes y demás componentes finales.

Para los sujetadores que no tienen push up, el espesor de la plancha de la que se parte es de 5 mm, tras el termoconformado se buscará que el espesor final sea constante. Sin embargo en las zonas de los bordes de las copas se buscará obtener un espesor menor tal y como se relató en líneas superiores:

- *Pigmentación de la plancha de foam*, la espuma de foam puede ser pigmentada, hay que contemplar que existen sujetadores en diferentes colores y aunque los prehormados se recubran de tejidos y encajes para su apariencia externa, las espumas internas se pigmentan en una amplia gama de colores para que no se produzcan transparencias.

Por ello debe realizarse una evaluación de la pigmentación de la plancha de foam y si esta afecta al proceso de termoconformado.

- *Propiedades físicas y químicas del foam recibido.* La importancia de la uniformidad de propiedades proporcionada por el proveedor, guarda relación con la estandarización del proceso. Es por lo que se realizó un análisis microscópico adjuntado en el ANEXO 1, que revela las propiedades del foam enviado por el proveedor, para así controlar el proceso.

También debe realizarse un estudio estándar de las características del foam recibido, para reconocer la variación de alguno de los parámetros y que pueda influir en el proceso de termoconformado.

Para obtener el prehormado de foam que dará lugar al sujetador final (push up o no) nos centraremos en determinar cuál debe ser el material adecuado para fabricar el molde de termoconformado apartado 3.3 y cómo debe ser su geometría apartado 3.3, las variables de proceso viendo cómo afectan a su desarrollo entre las que se encuentra el estudio de temperaturas y de tiempos apartado 3.4 y los parámetros que del foam recibido, tal como se relató en el apartado 3.2.

El objetivo último es la obtención de un prehormado que pueda ser fabricado en serie e incorporarlo a la producción industrial, para ello se debe obtener un molde que reproduzca el sujetador push-up patrón confeccionado manualmente. Además para el desarrollo del diseño del molde deben ser considerados parámetros técnicos del proceso de termoconformado, tales como los elementos de generación de calor como pueden ser las resistencias que proporcionan el calentamiento.

Por lo tanto, para el diseño del molde final se necesita de varias etapas de desarrollo: por un lado la concepción geométrica del prehormado del sujetador partiendo de medidas personalizadas, el reflejo en el molde de termoconformado de estas características, el análisis matemático de estos datos y por otro de la complementación de estudios de las variables influyentes en el proceso.

Para la metodología se tratarán distintas tallas para dos modelos distintos. El modelo **1413** se trata de un prehormado para sujetador push up y el modelo **1560** se trata de un prehormado normal, sin push up.

El modelo **1560** se trata de un modelo de sujetador con las copas prehormadas sin costuras y con tirantes, el espesor del foam es constante e igual a 5 mm.



Los sujetadores del modelo **1413** son push-up, sin costuras y con tirantes. Tienen las copas prehormadas con un espesor de 5 mm y en la parte inferior se dispone de una zona con espesor de 15 mm que realza el pecho.

3.2. Análisis de las características físico-químicas del foam

La espuma de poliuretano se trata de una estructura reticulada con celdas abiertas que viene recubierta por una tela textil tal que el eje de la fibra viene definido por el punto de entrecruzamiento de los hilos de urdimbre y de la trama de trayectoria rectilínea, que discurren sensiblemente perpendiculares respecto a los hilos de urdimbre.

3.2.1. Proceso de fabricación de la espuma de poliuretano

VARIABLES como temperatura, tiempo o tensión en el procesado del tejido que recubre la espuma de poliuretano condicionan el proceso de termoconformado, más concretamente el procesado de la plancha de foam. Estas variaciones de la materia prima con la que se harán los prehormados tienen su influencia en el proceso de termoconformado. Se establece como procedimiento previo al proceso de termoconformado inspeccionar las características del foam, siendo en ocasiones necesario alterar en el proceso la temperatura o los tiempos de termoconformado para obtener el prehormado óptimo.

Con respecto a la espuma de poliuretano está formada por celdas, los poros están interconectados entre sí. La existencia de mayor o menor membrana de polímero se puede decir que se trata de una espuma más o menos reticulada. Se muestra, en la ilustración 3.2.1., una imagen de microscopía óptica en la que se aprecian las celdas y las paredes de celda.

En función de la proporción de celdas con membrana de polímero, se concluye si se trata de una espuma con estructura más cerrada (con mucho espesor de membrana) o con estructura abierta (con menor espesor o que carece de membrana).

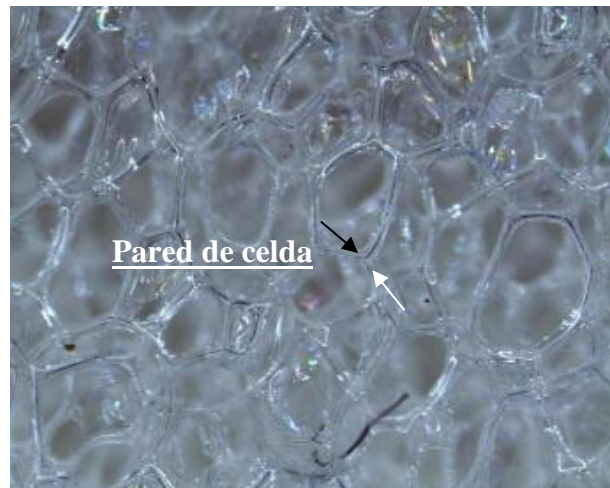


Ilustración 0-1.2.1. Imagen de microscopía de la espuma de poliuretano

El grado de reticulación que presenta la microestructura condicionará las propiedades físicas del foam y tal como se relató, condicionará el proceso de termoconformado. La fabricación de las espumas de poliuretano es complejo aunque se parta de reacciones básicas simples que son controladas por la acción de aminocatalizadores, catalizadores metalorgánicos, agentes de soplado auxiliares y estabilizadores. El empleo de estos elementos es un condicionante clave para la consideración de la dureza del foam.

Es de gran importancia conocer las características físicas de la espuma de poliuretano recibida, para lo que se realiza una primera comprobación manual que consiste en separar del foam recibido el tejido que recubre la espuma. Tomando en consideración unos parámetros estándar, para considerar correcta la rigidez del foam en función de los parámetros establecidos, el tejido que recubre la espuma debe tener tras su separación idénticas dimensiones a la pieza de foam, si esta encoje no se consideraría un foam estándar y se deberían ajustar los parámetros de termoconformado para adecuarse a la rigidez del foam.

3.2.2. Influencia del color y densidad de foam en el termoconformado

En este apartado se va a tratar la influencia del color de las planchas de foam para obtener los prehormados de foam por termoconformado.

La gama de colores de foam depende del pigmento que se incorpore, existen por lo tanto muchos colores de foam.

El color negro absorbe casi toda la radiación electromagnética que recibe (90-98%), mientras que el color blanco absorbe un 15-40% de la radiación electromagnética que recibe. Los otros colores están en porcentajes intermedios en proporción a su tono y brillo. Por lo tanto para igual aporte de temperatura, se parte de que el cuerpo negro absorbe más energía que el cuerpo blanco.

El color de la plancha de foam es considerado una variable de la materia prima, ya que la temperatura proporcionada para el calentamiento de la plancha de foam no será la misma. Siendo necesario aplicar (para igualdad de tiempos) mayor temperatura para la plancha de foam negra que para la plancha de foam blanca. Por lo que se deduce también que aplicando igual temperatura, la plancha de color blanca lograría el calentamiento en un menor tiempo así que su tiempo de ciclo sería más corto.

Son razones por las que se considera realizar un estudio técnico para conocer las propiedades de la espuma foam que modifican la temperatura en función del color. El primer aspecto que se aborda es la densidad de dos muestras de foam (una de color claro y otra de color oscuro) mediante la técnica de determinación y caracterización de polímeros con FTIR.

Se toman muestras de:

*Una espuma gris con camisa de tela azul (muestra 1)

*Una espuma blanca con camisa de tela blanca (muestra 2)

El informe de dicho estudio se recoge en documentos anexos (ANEXO 1). Y tras estimar la densidad de cada espuma mediante gravimetría, obtenemos para la muestra 1 una densidad de 0,06-0,07 g/cm³ y para la muestra 2 la densidad es de 0,04-0,05 g/cm³.

Se concluye así que para la espuma gris (color oscuro), la densidad es mayor que para la espuma blanca (color claro). Una plancha de foam de espuma gris tiene la misma densidad que una plancha de foam de espuma blanca, sin embargo, la plancha de foam de la espuma gris concentra más masa por lo tanto es más reticulada,



aumentan los enlaces internos y necesita de más temperatura para alcanzar la misma deformación en el mismo espacio de tiempo. Este desarrollo se realizó en el apartado 3.2.1, con más detenimiento.

Esta conclusión del estudio permite explicar la necesidad de variar la temperatura de los prehormados en función del color, y por qué en comparación con un color claro para un color oscuro se debe aumentar la temperatura en el proceso de termoconformado.

3.3. Análisis de parámetros del molde de termoconformado

Tras realizar el estudio de la influencia de las variables de proceso en el proceso de termoconformado y determinar sus restricciones, se va a proceder a analizar la geometría del molde con el que se obtendrán los prehormados de foam para el sujetador.

3.3.1. Análisis del material del molde

Para la elección del material que se va a emplear en el molde de termoconformado deben evaluarse distintos factores. En primer lugar para la elección del material del molde debe tenerse en cuenta el volumen de producción, en el caso a estudio se trata de la producción de unas 500 unidades diarias de prehormados de sujetadores push-up. Se decide consecuentemente que el material del molde debe ser lo suficientemente robusto para realizar dicha serie de producción.

La comparativa de materiales se realizará ente los más empleados para moldes de termoconformado en línea de producción y fabricación en serie, para la cantidad indicada en líneas superiores, el acero y el aluminio. El acero más empleado para los moldes de termoconformado es el acero 1020, un acero bajo en carbono utilizado para componentes que no requieren de alta resistencia. Y el aluminio más empleado para moldes de termoconformado es el aluminio 1100 que se corresponde con un aluminio comercialmente puro.

Retomando la evaluación de factores que condicionan la elección de un material u otro, figuran las siguientes:

a) **Conductividad térmica:** la conductividad térmica es la propiedad de los materiales que valora la capacidad de transmitir el calor a través de ellos.

Para la elección del material que se va a emplear interesa que la conducción de calor sea rápida, ya que esto indica que tiene facilidad para calentarse al igual que facilidad para perder calor.

Para evaluar esta propiedad se analizan las conductividades térmicas de estos materiales que son las siguientes:

Acero 1020	45 W/mK
Aluminio 1100	209,3 W/mK



b) **Facilidad de mecanizado:** para realizar el molde es necesario realizar una serie de operaciones de conformado mediante la eliminación de material.

Es conveniente que el proceso de mecanizado sea lo más eficiente posible es la razón por la que interesa un material fácilmente deformable. Para ello se realizará una comparación de la dureza Brinell. La **dureza Brinell** es una escala de medición de la dureza de un material mediante el método de indentación, midiendo la penetración de un objeto en el material a estudiar. Los valores son los siguientes:

Acero 1020	111 HB
Aluminio 1100	25 HB

c) Otro de los aspectos a considerar es el **peso** del molde final, a la hora de realizar la manipulación para cambio de utillaje es preferible que se pueda realizar sin equipo de transporte. Un menor peso de molde facilitaría su movimiento para cambio de utillaje o mantenimiento por parte del operario, sin necesidad de emplear aparatos de elevación. Se va a realizar la comparativa del peso específico de ambos materiales, el molde de termoconformado realizado con el material con menor peso específico pesará menos y podrá ser movido más fácilmente:

Acero 1020	7,85 g/cm ³
Aluminio 1100	2,75 g/cm ³

d) El peso específico del acero respecto al aluminio es casi el triple, estaría por lo tanto cerca de triplicar el peso del molde final.

De los apartados anteriores se puede concluir que para la realización del molde, el aluminio es el metal con mayor conductividad térmica, y menor peso específico, por lo que el peso del molde final será considerablemente inferior y facilitará al personal el manejo y movimientos del molde, sin necesidad de usar aparatos de elevación. Tras realizar la comparativa de escala Brinell se concluye que también es más fácilmente mecanizable ya que tiene un valor inferior de dureza.

Para evaluar las desventajas del uso del aluminio frente al acero se encuentra que por tener menor valor de dureza es más deformable. Otra característica que

podría perjudicar el proceso de termoconformado es que durante el termoconformado al calentarse la posibilidad de deformación es mayor, sin embargo, esta deformación por aumento de temperatura puede ser controlable y previsible al conocer que el coeficiente de dilatación térmica lineal del aluminio es de $23 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Tras realizar un balance de las ventajas frente a los inconvenientes del uso del aluminio y del acero, se decide que para la fabricación del molde de termoconformado se empleará el **aluminio** que garantiza una buena representación dimensional y la capacidad de soportar los numerosos ciclos de formado a altas presiones y temperaturas de procesamiento.

3.3.2. Influencia del proceso de fabricación

Para la fabricación del molde de aluminio final existen dos posibilidades. Se puede partir de un tocho macizo de aluminio o partir de un bloque de fundición de aluminio y a continuación mecanizar, que habría que realizarlo en ambas opciones.

En moldes antiguos para la fabricación del molde se partía de un bloque de fundición de aluminio y se mecanizaba. El proceso consiste en fundir material e introducirlo en una cavidad donde solidifica. Dicha cavidad se corresponde con el negativo del molde de termoconformado, de forma que al extraer el material solidificado, se obtenga el molde de termoconformado en el que se obtendrán los prehormados de foam.

Para los moldes que se están desarrollando actualmente se parte de un tocho macizo de aluminio y se mecaniza, ya que económicamente no es viable realizar una fundición porque no se trata de una producción elevada de unidades iguales y la calidad superficial obtenida va a ser correcta (en gran medida debido a la aparición del mecanizado rápido que permite trabajar con elevadas velocidades de corte sin que se produzca embotellamiento de los filos de corte).

Además de responder a métodos de fabricación distintos con posibilidad de desarrollar moldes finales geoméricamente idénticos, debe realizarse el estudio de las diferencias que podrían existir en el comportamiento térmico. Ya que el molde fabricado a partir de bloque de fundición destaca por ser un molde poroso en contraposición del molde fabricado a partir de un tocho macizo.



El molde obtenido por fundición aporta exactitud en las medidas y excelente capacidad de mecanizado para trabajos finales de acabado. Durante la colada para la fundición de aluminio, el aluminio en estado líquido posee una elevada capacidad para disolver el hidrógeno que se desprende cuando reacciona con el vapor de agua y es absorbido por el caldo, en estos casos el hidrógeno se separa en forma de burbujitas y son los responsables de la formación de poros. Se puede colegir que los moldes de aluminio realizados por fundición son porosos (en mayor o menor medida, dependiendo del contenido de hidrógeno, del tamaño de sus poros, así como de la velocidad de solidificación y de la temperatura que se alcance durante la solidificación del caldo).

Al existir poros de hidrógeno en el aluminio, la conductividad entre aluminio-hidrógeno se reduce por lo que para alcanzar la temperatura de proceso de termoconformado, se requiere de mayor tiempo. Esto se revierte en un mayor tiempo de estabilización de temperatura en la máquina, pero a su vez en un mayor tiempo para pérdidas térmicas.

El molde por fundición sufre con los ciclos térmicos desgaste, por lo que es necesario incorporar un material que soporte cambios térmicos considerables, con baja capacidad de rozamiento, que permita la adherencia y que no interfiera químicamente con las planchas de foam. Para ello se elige el teflón que aúna las características previamente descritas soportando temperaturas de 270°C y con buenas excelentes características antiadherentes.

En contraposición, los moldes de aluminio que son fabricados a partir de un tocho, no requieren ser fundidos y no les afecta la porosidad arriba mencionadas. Para estos moldes no es necesario utilizar ningún tipo de recubrimiento ya que el molde no sufrirá este tipo de desgaste.

Para la realización de moldes prototipos se utilizarán materiales de menor coste como la madera o resinas. Sin embargo estos materiales no pueden ser sometidos numerosos ciclos ni a altas presiones o temperaturas y la estabilidad dimensional es considerablemente inferior que el molde de aluminio.

En el presente estudio se incorpora al desarrollo de la técnica de fabricación e industrialización del prehormado de foam para sujetadores push up, el empleo de un molde prototipo de resina previo a la realización del molde de aluminio que permite obtener prehormados de primera aproximación y hacer varios ensayos de validación de geometría sin que suponga un coste adicional excesivo.

El molde que será desarrollado no tendrá canales de eliminación de calor, de expulsión de aire ni sistemas de vacío. La expulsión de aire se realiza de forma natural al aprisionar el molde macho contra el molde hembra, no encontrando significativas para el acabado superficial del prehormado las concentraciones de aire retenidas en su interior (por su baja concentración).

3.3.3. Modelado y desarrollo geométrico del molde

La geometría del prehormado de foam del sujetador push up, condiciona el diseño del molde. Con esta etapa de estudio se busca modelar en 3D el molde con los detalles requeridos para la obtención del prehormado de foam para el sujetador (con prehormado simple y prehormado para sujetador push up). Existen dos posibilidades para iniciar el proceso de creación de un sujetador:

a) Iniciar una colección nueva para lo que se generaría una talla partiendo de la confección de un sujetador patrón realizado de forma artesanal con las medidas de una modelo.

b) O bien, una vez obtenida una talla en concreto, recrear a partir de esas otras tallas. Para ello se requiere de una extrapolación de tallas, ya que no existen medidas proporcionales para pasar de una talla a otra.

Para la realización de la extrapolación arriba mencionada se puede partir de una talla equivalente, por ejemplo, para obtener la 90 A se pueden extrapolar las medidas a partir de la 85 B o de la 80 C, teniendo en cuenta las diferencias existentes en los picos, bases o espaldillas.

Si las tallas son sucesivas habría que modificar la geometría para adaptarse a la talla que se busca, sin embargo si la talla no es inmediatamente superior o inferior habría que evaluar la variación de posicionamiento de resistencias.

3.3.3.1. Diseño de molde para talla específica

A continuación se van a detallar los pasos necesarios para la creación de una talla para una nueva colección, desde la etapa inicial hasta la industrialización del sujetador.



En la primera etapa se obtiene un sujetador patrón realizado por el taller de confección de la empresa. Se le realiza un escaneado de las copas, con un brazo articulado ROMER que permite tomar mediciones sin contacto y digitalizar con un sensor láser giratorio. Esta tecnología logra alta precisión con comunicación Ethernet, ligereza para realizar los movimientos (ya que está diseñado en fibra de carbono) y estabilidad térmica.



Ilustración 0-2.3.3.1-1. Brazo articulado ROMER

El digitalizado 3D de prendas proporciona una correlación de datos multidimensional. Ejemplos del desarrollo de estas técnicas son: 'Use of body scan data to design sizing systems based on target markets' (Susan Ashdown, Leader; Suzanne Loker da Cornell e Carol Adelson da Fashion Institute of Technology); se explica el protocolo de digitalizado, software y toma de datos a partir de un estudio de 203 mujeres en 'Three-dimensional body scan data analysis. Body size and Shape dependence of ease values for pants'fit' (Adriana Petrova e Susan P. Ashdown da

Cornell University), en el que, tras un escaneado tridimensional del cuerpo de una mujer, se analizó el ajustado de pantalones y la medida de las prendas en varios sitios; otro de los puntos tratados en estas análisis es la optimización de material empleado para la fabricación de las prendas, tal es el caso del estudio recogido en la publicación 'Automatic body measurement for mass customization of garments'

Para la toma de las medidas, se requiere para cada talla una digitalización, ya que como se explicó en líneas superiores no existe proporcionalidad entre las diferentes tallas.

Con esta digitalización se obtiene una nube de puntos en formato .STL (formato estándar utilizado en la industria también conocido como estereolitografía, que consiste básicamente en un listado de coordenadas x , y , z que describen un sistema de elementos triangulares conectados que forman el contorno del modelo, la información sobre la normal de cada triángulo es también incluida en el archivo, este formato permite disminuir las tolerancias creando representaciones más precisas del modelo con un mayor número de elementos aunque se incremente así el tamaño del archivo) o formatos .G3D

Tratamiento CAD de la nube de puntos

El desarrollo para lograr un modelo sólido CAD tridimensional partiendo del sujetador (push up o normal) patrón, consta de varios pasos: generación de la nube, triangulación de la nube, tratamiento de la malla.

Para la ejecución de las etapas anteriormente mencionadas se emplea el software CAD CATIA V5 R19 (Computer-Aided Three Dimensional Interactive Application) es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora realizado por Dassault Systèmes. El programa está desarrollado para proporcionar apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y el análisis de productos. Los puntos que contempla CATIA son: el modelado geométrico, análisis y optimización del diseño, revisión y evaluación de diseño y permite extraer documentación referencial.

Este software consigue tratar la población de puntos obtenida de las medidas digitalizadas para transformarla en superficies paramétricas suavizadas de grado dos, para ello se utiliza el módulo DIGITIZED SHAPE EDITOR. **DIGITIZED SHAPE**



EDITOR permite importar el archivo en distintos formatos, manipular las nubes de puntos permitiendo alinear y fusionar nubes de puntos o crear secciones planas.

GENERACIÓN DE LA NUBE

Tras la digitalización de los puntos escaneados, se busca importarlos a CATIA y manejarlos como una nube de puntos. La dificultad reside en obtener el formato para la nube de puntos digitalizada en el que su módulo de ingeniería pueda importar datos.

El escáner láser ofrece como salida un documento de texto con las coordenadas ópticas medidas. Para interpretar los datos se deben pasar a una hoja Excel y después obtener un formato CatPart que contenga todos los puntos y que pueda ser interpretado por CATIA. La nube de puntos será tratada como un único elemento que permite una mejora del rendimiento del equipo.

TRIANGULACIÓN DE LA NUBE

Con la nube de puntos se debe recrear el volumen en 3D para su tratamiento se realiza una malla compuesta por una red de triángulos poliédrica. Esta malla consiste en un conjunto de triángulos que representa la superficie de un modelo 3D de un objeto y cuyos vértices, son los puntos obtenidos del escaneado realizado.

Para la realización de la malla se somete a la nube a relaciones de proximidad entre los puntos, aplicando para ello un tipo de triangulación predefinida. Se tendrán en cuenta distintos parámetros, como:

- La distancia mínima que debe existir entre los puntos que se toman del escaneado para crear el triángulo.
- La distancia máxima entre los puntos tomados del escaneado para crear el triángulo. Si se toma una medida elevada, se crearían triángulos erróneos y se unirían zonas que deberían estar aisladas. En cambio si la distancia predefinida es demasiado restrictiva dejaría demasiados huecos en el mallado.

TRATAMIENTO DE LA MALLA

El algoritmo que aplica CATIA no garantiza la obtención de una malla perfecta. La complejidad de algunas zonas sumado a la escasez de puntos que la

definen, puede provocar que el mallado tenga triángulos corruptos o que se separe de la forma original del sujetador patrón.

Se deben localizar estos puntos y corregir manualmente la malla. Los criterios para examinar las zonas de la malla deben ser:

- Zonas complejas.
- Zonas con elevados huecos en la malla y/o poco definidas.
- Zonas claramente diferenciadas.

Según sea la causa de pérdida de correspondencia con la realidad, se pueden clasificar dos tipos de triángulos fallidos:

- Triángulos corruptos: son los triángulos producidos por errores del algoritmo para realizar el mallado automático.

Algunos de los triángulos que son identificados:

- o Triángulos duplicados: son triángulos que comparten sus tres vértices con otro triángulo.
 - o Triángulos cuyos lados comparten más de dos triángulos: estos triángulos se caracterizan porque alguno de sus lados es compartido por dos o más triángulos.
 - o Triángulos que unen zonas separadas, unen trozos de malla independientes.
 - o Conjunto de triángulos contiguos con normales opuestas. Estos triángulos se caracterizan porque a un lado y al otro, los triángulos tienen normales opuestas.
- Triángulos erróneos: estos triángulos son causados, por datos erróneos de los mismos para definir determinadas zonas con una superficie compleja.

Algunas de las causas que pueden dar en triángulos erróneos, son:

- o Puntos correctos ignorados: suele darse este fallo porque aunque eran correctos, se encuentran alejados del resto. Si esto ocurre se requiere de un nuevo remallado.
- o Uso en el mallado automático de puntos erróneos.
- o Triángulos irregulares: se debe buscar que el uso de triángulos que unen una serie de puntos sea lo más regular posible, si esto no ocurre se podrían dar irregularidades en la superficie.



- Triángulos mal orientados: es posible que aparezcan triángulos mal orientados y esto provoca que la curvatura no se corresponda con la del modelo original.

Al identificar un triángulo corrupto o erróneo, éste se debe eliminar aplicando el método correspondiente según proceda.

Al usar el mallado automático también puede dejar sin triangular debido a la distancia entre los puntos de la zona. Por lo tanto debe completarse el volumen y cerrar todos los huecos que queden en la malla, obteniendo así una malla totalmente cerrada sin triángulos aislados o corruptos.

A continuación se muestra el digitalizado de la copa una vez realizado el tratamiento en CATIA (se mostrará el tratamiento de una sola copa por consideración de copas simétricas).

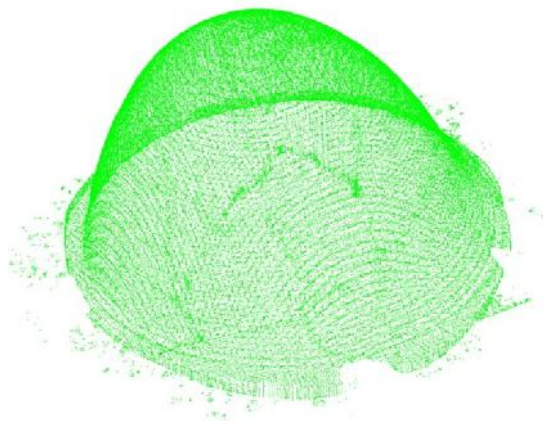


Ilustración 3.3.3.1.-2. Digitalizado tratado en CATIA

Una vez obtenida la digitalización, se generan en CATIA superficies complejas paramétricas, definidas por curvas generatrices (perfiles) que discurren por curvas guía. Se muestra a continuación la copa:

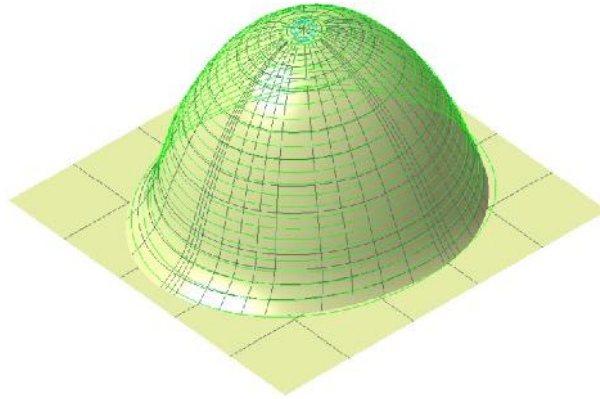


Ilustración 3.3.3.1-3. Generado de superficies complejas paramétricas

Se analiza la dispersión geométrica de las superficies generadas en CATIA con respecto a la nube de puntos original, eliminándose discontinuidades en tangencia, curvatura, obteniendo una copa final continua y suavizada con calidad óptima.

El suavizado debe respetar las características más significativas de la copa, para que no se pierdan las características con las principales.

A continuación se muestra el análisis dimensional entre la nube de puntos y el suavizado realizado en CATIA.

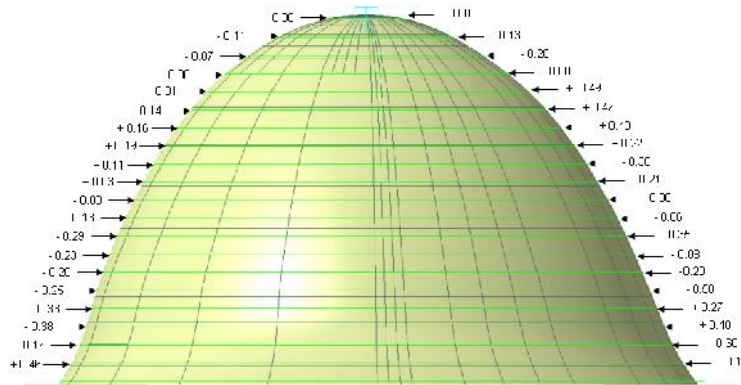


Ilustración 3.3.3.1-4. Análisis dimensional entre la nube de puntos y suavizado en CATIA.

Tras obtener las primeras geometrías de aproximación a los digitalizados realizados, se refinan para poder realizar un estudio matemático de las diferentes superficies de un modo paramétrico.



Para ello, se sacan planos paralelos. Las curvas isoparamétricas de tales superficies deben ser aproximadas por una curva cuadrática de 2º grado para obtener así los parámetros de las ecuaciones de la superficie que las definen. Las curvas cuadráticas se utilizan en el suavizado porque mantienen la segunda derivada constante, consiguiendo así mantener la invariabilidad (sin puntos de inflexión).

Las curvas de grado 2 (hipérbolas, circunferencias, elipses y parábolas) siguen la ecuación:

$$Ax^2 + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0$$

- Si se cumple que $A > 0$ y $C > 0$ y $A=C$, se corresponderá con una circunferencia
- Si $A=0$ o $C=0$, se trata de una circunferencia.
- Si $A*C > 0$, la curva se corresponde con una elipse
- Si $A*C < 0$, la curva es una hipérbola

Se muestra el resultado obtenido en esta fase:

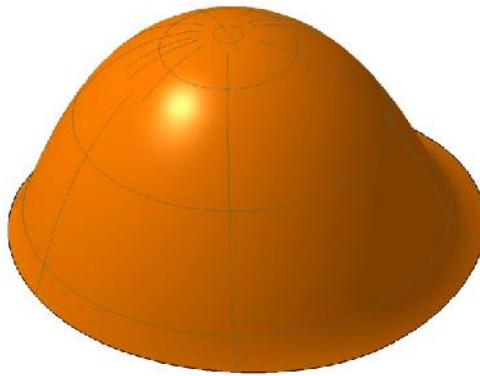


Ilustración 3.3.3.1-5. Refinado de la geometría de aproximación

El desarrollo que se efectúa a continuación es la digitalización de la copa, se obtiene así una nube de puntos que permite el posterior tratamiento en CAD.

El proceso se inicia con la realización del digitalizado, y la obtención de la nube de puntos. A una escala de 1:1, se realiza el suavizado de la superficie correspondiente a la nube de puntos.

El proceso de suavizado de la superficie debe iniciarse con la realización de secciones a la superficie de la pieza, de manera que para cada sección se obtenga un suavizado que se corresponda con la geometría de la copa patrón en esa misma sección. Este proceso aunque tedioso, debe realizarse de forma manual para obtener la reproducción exacta de la pieza que fue digitalizada y conseguir así desarrollar el molde de termoconformado que permita obtener un prehormado con idénticas características a la copa patrón confeccionada manualmente.

Se establece como objetivo del tratamiento de CAD obtener un molde macho y un molde hembra cuyas cavidades se correspondan con el prehormado que se va a diseñar.

En el CAD deben contemplarse tres zonas: la propia copa, el tramo intermedio entre la copa y el foam, y la zona correspondiente al molde. La importancia de realizar el tramo intermedio es debido a que facilita el proceso de recortado de la copa que formará parte del sujetador.

Cabe destacar que para la producción en serie, este recorte. Se realiza con unos troqueles específicos, se contempla la implantación de un brazo laser que permita el corte prácticamente automatizado del prehormado.

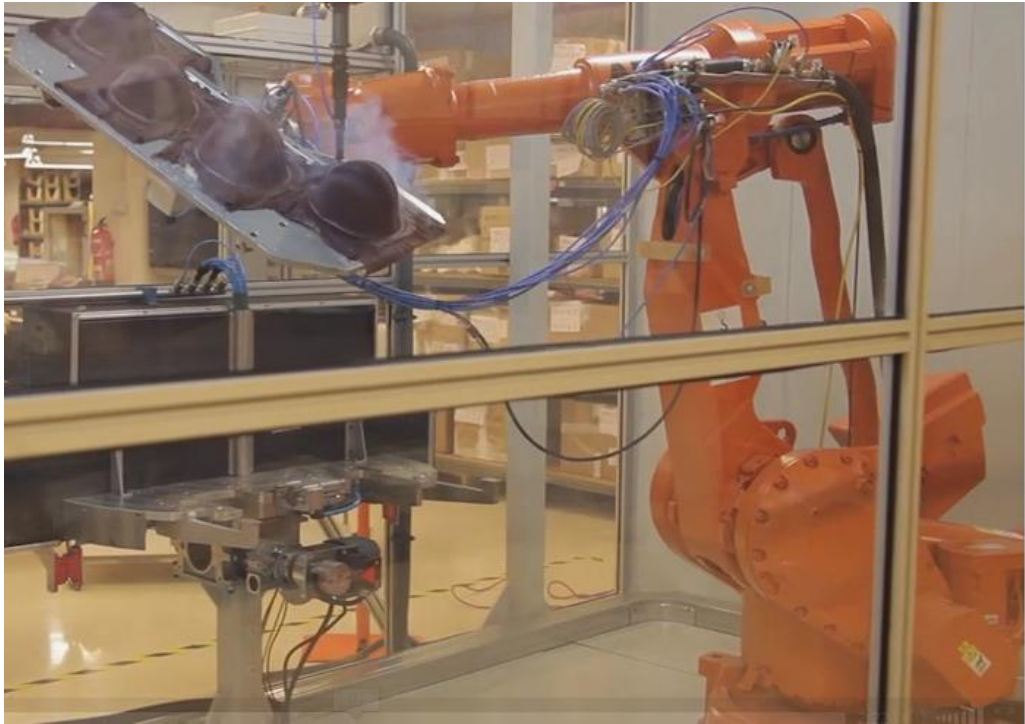


Ilustración 3.3.3.1-6. Imagen del proceso de recanteo automatizado

En el diseño del molde no pueden existir contrasalidas, para realizar un correcto mecanizado del molde. El ángulo de salida estipulado como correcto para el diseño del molde es de 45° , se considera como el mayor ángulo de construcción de contrasalida, y será el utilizado para el desarrollo geométrico de los moldes.

Una vez obtenida la geometría de la copa del sujetador, se diseña el molde de termoconformado (molde macho y molde hembra), de forma que al introducir la plancha de foam en el molde de termoconformado adquiera la forma de la copa que previamente se confeccionó a medida.

El molde que se pretende desarrollar para el proceso de termoconformado de los prehormados de foam será de aluminio por las características definidas en el [apartado 3.2](#). Será un molde de termoconformado mecánico con configuración macho-hembra, de forma que se generan protuberancias en el molde macho y al forzar a la plancha de foam sobre el molde hembra, la plancha de foam tome las formas que con las protuberancias de los moldes se pretenden recrear.

En el estudio particular de los prehormados de foam para push up, se debe tener en cuenta que el espesor del inserto push es superior al espesor de la copa de

prehormado, por lo tanto, al utilizar un calentamiento a base de resistencias eléctricas la diferencia en el espesor del material puede provocar un calentamiento desigual. Es necesario por ello estudiar las características térmicas del proceso de termoconformado así como establecer un control de forma exhaustiva en las temperaturas que se inducirán en los distintos volúmenes de la pieza.

Conocida la forma que debe adquirir el prehormado de foam una vez que es termoconformado, para el proceso de diseño de CAD debe tenerse en cuenta que el prehormado de foam sufrirá una contracción entorno al 4% una vez que se enfríe y dado que las dimensiones son críticas, los moldes deben construirse un 4% mayores escaladas en volumen para compensar la contracción del material.

El molde final de aluminio es diseñado en CAD 3D. En el desarrollo de este estudio se incorpora como paso preliminar la utilización de un molde prototipo de resina en el que se inyecta silicona. Con el empleo de este molde se busca validar la geometría como primera aproximación.

La realización de este molde permite obtener prototipos de silicona para hacer una o varias pruebas físicas a la modelo antes de fabricar el molde de aluminio (para que el molde de aluminio final recoja modificaciones geométricas previas sin que suponga la necesidad de fabricar varios moldes de aluminio que tendría un coste elevado). Con la prueba del sujetador prototipo de silicona, la modelo indicará su percepción de comodidad y en función de sus sensaciones se realizarán los cambios oportunos en las copas, a continuación es necesario trasladarlos al CAD 3D del molde y obtener otro molde físico de poliuretano para inyectar unas nuevas copas de silicona y volver a realizar la prueba a la modelo.

En este punto se volvería a repetir el proceso (si es necesario) de prueba y de corrección del CAD 3D en función de las indicaciones de comodidad de la modelo. Se daría por validada la geometría de las copas cuando la modelo considere que se asemejan al sujetador modelo realizado de forma manual.

3.3.3.2. Diseño de molde de una talla a partir de una existente

En el supuesto caso de que se parta de una talla ya existente, esta talla ya tiene un molde de aluminio diseñado. Este será el punto de partida, para realizar el digitalizado.

El proceso para la creación del prehormado con la talla requerida parte de la digitalización del molde correspondiente a la talla de la que se toma como referencia.

Se comienza así la recreación de la talla deseada. Una vez digitalizado se podría comprobar con la talla con la que guarda correspondencia.

Para la talla 110 del modelo 1560, se realiza esta opción de desarrollo de molde, para ello se parte de un molde de una talla 100 de modelo 1560 y se generan unos postizos.

Se comienza desarrollando la capacidad necesaria para la nueva talla 110 y una vez determinada, se procede a crear unos empostizados que permitan reproducir el volumen óptimo para la talla 100.

Estos **empostizados** se muestran a continuación:

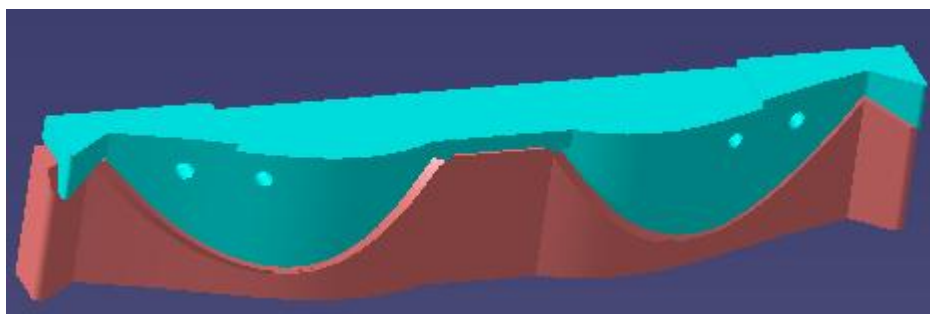


Ilustración 3.3.3.2-1. Empostizado ejemplo para la talla 100

El conjunto que se muestra en la imagen superior se corresponde con dos postizos, uno pertenece al postizo del molde hembra y se muestra en la siguiente ilustración:

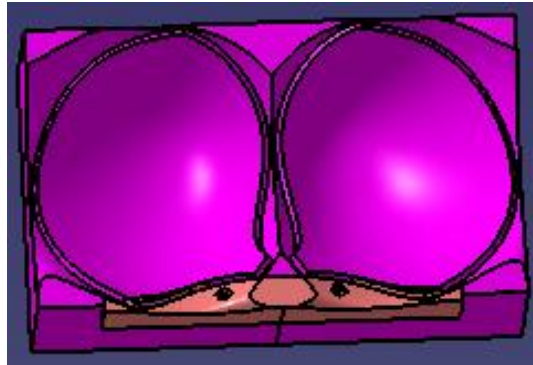


Ilustración 3.3.3.2-2 Postizo en el molde hembra de la talla 100

Para el molde macho se desarrollaría el siguiente postizo que se muestra a continuación insertado en el molde macho:

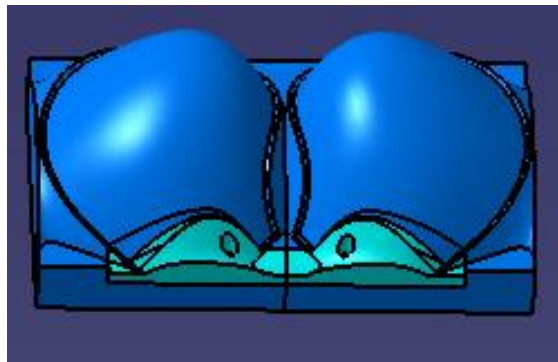


Ilustración 3.3.3.2-3. Postizo en el molde macho de la talla 100

Así se conseguiría obtener el molde con los postizos que se correspondan con la talla 100, y con el que se obtendrá mediante el termoconformado un prehormado de foam de dicha talla.

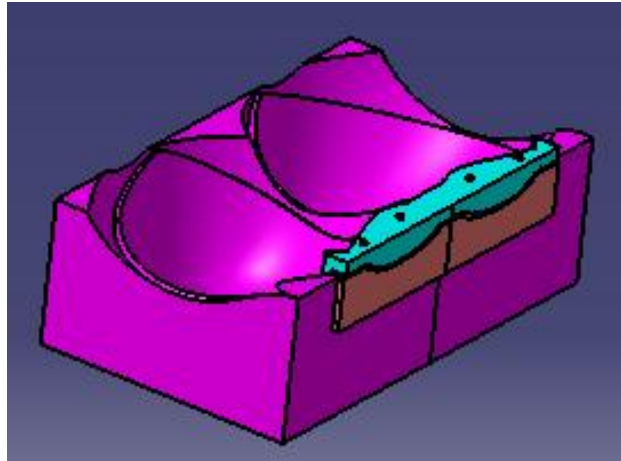


Ilustración 3.3.3.2-4. Imagen de postizos superpuestos

A continuación, se incluye una imagen del molde hembra del modelo 1560 de la talla 100, en la que se aprecia el postizo realizado:

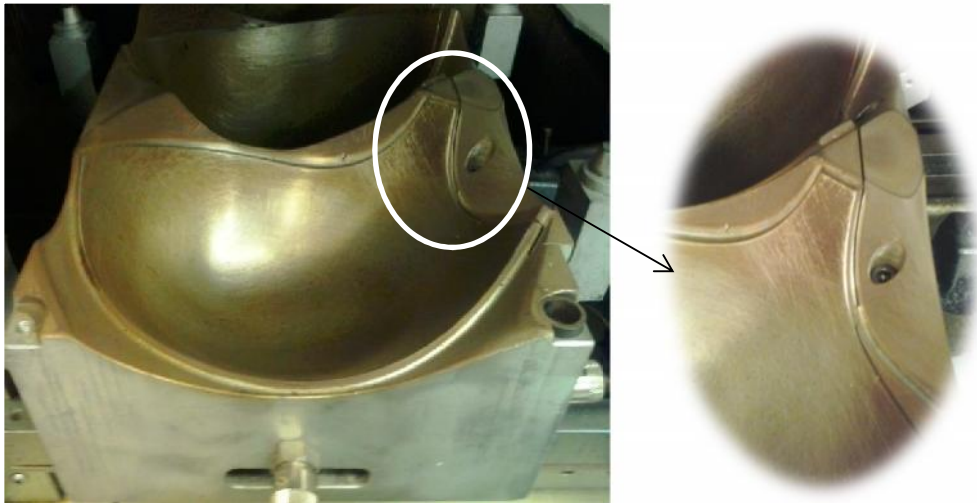


Ilustración 3.3.3.2-5. Imagen del postizo en el molde del modelo 1560 de la talla 100

3.4. Análisis de las variables del proceso de termoconformado

En este apartado se establecerán las variables que intervienen directamente en el proceso de termoconformado y se analizará su influencia, para establecer los valores óptimos que permitan obtener una producción repetitiva en serie de los prehormados de foam para sujetadores.

3.4.1. Estudio de la temperatura en el ciclo de termoconformado

El proceso de calentamiento de moldes requiere un gran aporte de calor que es suministrado por resistencias eléctricas. Esta forma de transferencia de energía entre cuerpos en forma de calor se realiza gracias a una fuerza motriz que es el diferencial de temperaturas entre ellos. Existen tres mecanismos de transferencia de calor:

1) Conducción: en los moldes de termoconformado la transferencia de energía se realiza como resultado de la interacción de las partículas más energéticas hacia las menos energéticas con colisiones y vibraciones que transportan energía por parte de los electrones libres, el mecanismo es modelado por la “ecuación de Fourier”.

$$Q = -k A \frac{\delta}{x}$$

Donde:

Q: velocidad de transferencia de calor por conducción [W]

K: conductividad térmica [W/mK]

A: área superficial de transferencia de calor [m²]

T: diferencia de temperaturas [K]

x: diferencia de espesor [m]

Se busca que la temperatura de operación en los moldes para el proceso de fabricación sea óptima, generalmente desde la resistencia eléctrica se genera calor, y este se transmite a través de todo el molde hasta el lugar donde se ubica la plancha de foam.

El fenómeno de transferencia de calor también está presente en las desventajas que hacen ineficiente el proceso, mediante mecanismos por los cuales se pierde calor



hacia el medio ambiente. Se cuantifican como pérdidas por radiación y pérdidas por convección:

2) Radiación: la transferencia de energía se realiza sin necesidad de un medio a través de ondas electromagnéticas y es la más rápida, a la velocidad de la luz, sin sufrir cambios en el vacío. Cualquier cuerpo que tenga una temperatura superior al cero absoluto, emite radiación.

$$E = T^4$$

Existe intercambio energético entre la resistencia eléctrica, el molde y el medio ambiente, además entre el molde que se va calentando y el medio ambiente.

3) Convección: esta transferencia se realiza entre las superficies de un sólido y un fluido que se encuentran en movimiento, involucrando la velocidad de movimiento del fluido con el aumento de transferencia de calor. Puede ser forzada si el fluido es forzado a moverse por la superficie en contacto.

$$Q = h (T_s - T_\infty)$$

Donde:

Q: es la velocidad de transferencia de calor por convección [W]

h: coeficiente de transferencia de calor [$W/m^2 K$]

A: área superficial de transferencia de calor [m^2]

T_s : temperatura superficial [K]

T_∞ : temperatura en los alrededores [K]

En el proceso de termoconformado, la temperatura determina el ciclo térmico e influye decisivamente en la validación del prehormado final. La plancha sufre dos variaciones de temperatura relevantes.

Una de ellas se produce en el calentamiento de la plancha de termoconformado, es una de las etapas que más tiempo emplea y en la que se pueden presentar grandes dificultades. La plancha de foam pasa de una temperatura ambiente a una temperatura óptima en la cual al aplicar la fuerza predeterminada en la máquina, el foam adquiere la geometría que le imprimen los moldes al establecer el contacto. La correcta selección de la temperatura de operación condicionará la obtención de un prehormado válido, en el que no se encuentren incrustaciones de partículas externas, rugosidad superficial ni imperfecciones. Son las razones por las que se debe realizar un exhaustivo estudio de las variables que intervienen durante el proceso de calentamiento.

Una vez la plancha está conformada en el prehormado, comienza la etapa de enfriamiento. En este tránsito la temperatura del prehormado pasará de una temperatura de calentamiento elevada a la temperatura ambiente. Debe estudiarse detalladamente si afecta a las características físicas del prehormado y si debe realizarse algún procedimiento concreto.

Previo al proceso de termoconformado debe procederse al estirado, de la plancha de foam, durante el que existen tensiones internas que no alcanzan un equilibrio de su energía potencial. Si en este estado se le comunica una energía suplementaria en forma de calor a la plancha de foam, las cadenas individuales comenzarán a vibrar y aumentar la agitación térmica generando cambios de posición o de orientación de las moléculas y una ruptura de las interacciones, puesto que la energía dependiente de la distancia de los átomos es inferior a la energía térmica del movimiento molecular. En este punto, las moléculas del polímero tienen la posibilidad de acomodarse de manera que la energía potencial y las tensiones internas sean menores y el material encoje. Si la aportación de calor al tejido cesa, la tensión entre cadenas se encontrará en un estado débil, y se enfría rápidamente se bloquea la energía de agitación térmica de las moléculas. El foam se estabiliza en un estado relajado por establecimiento de nuevas interacciones más permanentes y no adquiere la forma deseada.

Se puede colegir de esto que el objetivo del termoconformado es que mediante la aplicación de calor, se libere al foam de las tensiones generadas y mediante relajación interna se llegue a un estado de equilibrio.



Se ha indicado que el reagrupamiento de la estructura interna de la materia se produce por rotura de un cierto número de interacciones bajo la influencia de la agitación térmica correspondiente a una temperatura determinada. Pero si se sobrepasa un cierto umbral, dependiente de la naturaleza macromolecular, puede producirse un descenso de la tenacidad y de otras cualidades textiles. Para temperaturas más elevadas podría provocar degradación térmica. Por lo tanto hay que establecer los límites a partir de los cuales existe riesgo de que se presente alteración o degradación en la plancha de foam. El límite superior que no se puede sobrepasar viene dado por la temperatura a la cual la resistencia del foam es nula, y debe situarse por debajo de la temperatura de fusión, Si se superase esta temperatura podrían aparecer restos de carbonilla que mancharían la plancha de foam que se está procesando e incluso incrustarse en planchas de foam que se procesen con posterioridad.

Las propiedades del foam fueron definidas en el [apartado 1.2](#), donde se especifica que las espumas de poliuretano deben tener un control de temperatura para que no se alcance la temperatura de ignición y el proceso de calentamiento garantice las propiedades del producto final.

En el estudio que se va a realizar se van a diferenciar los prehormados simples pertenecientes al modelo 1560 caracterizados por un espesor homogéneo y los prehormados con push up que se enmarcan en el modelo 1413 que guarda una distribución de distintos espesores, ya que se concentra foam en la zona reservada para el push. Esto entraña una dificultad adicional al estudio ya que el objetivo es obtener una temperatura uniforme sin que se concentre en los puntos con menor espesor y que consiga un comportamiento estable. Si no se logra un equilibrio de temperaturas y por lo tanto se mantienen las tensiones uniformes podrían inducirse fuerzas internas que se manifestarían cuando las sollicitaciones tensionales sean altas.

Para obtener la geometría del prehormado final se debe diseñar un molde de termoconformado, tal que permita realizar una producción en serie repetitiva y en la que se mantengan las variables de proceso. En este apartado en el que se trata de la temperatura, uno de los factores que influye en la transmisión de calor y por lo tanto en el calentamiento del molde de termoconformado es el material del molde. Para la elección del material del molde de termoconformado se evalúan entre otras propiedades, la conductividad térmica. Ya que si el material posee una conductividad elevada, la rapidez para alcanzar una determinada temperatura es mayor que para

otro material con menor conductividad térmica al que se le aplique idénticos valores de calor.

Calentamiento de la plancha de foam

El calentamiento de la plancha de foam se realiza por contacto, estará en contacto con las dos partes del molde (molde macho y molde hembra) que le transmitirán por conducción el calor. Es un método de calentamiento rápido que ayuda a disminuir el tiempo empleado en esta operación.

Para generar el calor necesario que permita la moldeabilidad de la plancha de foam, existen dos métodos que pueden ser empleados:

- Uno de ellos, es el calentamiento por contacto de placas bases, tanto en el molde superior como en el molde inferior.
- Alojarse en las dos partes del molde resistencias con encendido por inducción, esta opción es la elegida siempre que el calentamiento ofrecido por las placas no sea suficiente para alcanzar todos los puntos de la copa (es decir, para sujetadores de mucha capacidad), estas resistencias redistribuyen el calor al molde y la lámina de foam se calienta por contacto con ambas partes del molde.

Se debe tener en cuenta para desarrollos posteriores y obtención de conclusiones que el calentamiento en las máquinas de termoconformado se puede dar de estas dos formas.

Se analizará detalladamente el uso de generación de calor por medio de resistencias, ya que por su configuración no pueden ofrecer una distribución térmica totalmente homogénea.

El principio de la inducción se basa en la generación en el material ferromagnético de corrientes eléctricas que producen calor por el efecto Joule, que también aportan calor las pérdidas de energía electromagnética debidas a los ciclos de histéresis del campo magnético. Entre las ventajas de la inducción frente a otros métodos de calentamiento se encuentran la posibilidad de generar calor en el lugar



requerido, rapidez en el calentamiento y control del proceso con posibilidad de ser automatizado.

La dificultad reside en encontrar la distribución correcta de las resistencias para que su aporte de calor sea homogéneo y a su vez la inversión económica no genere un desembolso económico desproporcionado.

La situación de las resistencias en ambas partes del molde viene condicionada por la distribución de temperaturas que se quiera obtener y por las dimensiones y la geometría del molde.

Para alojar las resistencias en el molde, se mecanizan unas cavidades donde se introducen las resistencias de inducción. Cuando se accionan las resistencias comienza el calentamiento del molde, en este proceso de calentamiento intervienen los procesos de conducción, convección y radiación.

El objetivo final de la distribución de las resistencias es buscar un reparto lo más homogéneo posible de temperaturas, se busca por lo tanto que no se produzca concentración de calor en un punto significativo si no que se reparta por toda la superficie del molde y en la medida de lo posible, de forma homogénea. Sin embargo, se debe obtener un calentamiento tal que sea suficiente para conformar la plancha de foam.

Para ello se realiza un estudio dimensional del molde y en función de sus dimensiones y de las dimensiones de las resistencias se elige la distribución correcta, la distribución final de las resistencias de inducción se estudiará en el apartado correspondiente a la geometría del molde y en los casos particulares que se desarrollarán.

La temperatura en la superficie del molde influye directamente en la apariencia de la pieza formada, en la duración de los ciclos de formado y en el encogimiento final de una pieza termoconformada (dependerá de que la temperatura aproximada del molde sea similar al coeficiente de expansión térmica del material). Por ejemplo: temperaturas del molde bajas dan lugar a velocidades de enfriamiento altas y por lo tanto, cristalizaciones bajas pero grandes post-contracciones.

Control de la temperatura

El molde tiene un sensor de temperaturas, tipo J (hierro y constantán) su rango de utilización abarca desde los -270 °C hasta los +1200°C; en el proceso de toma de medidas no se alcanzarán los 550 °C por lo que se garantiza que el hierro no sufrirá oxidación. Este sensor registra las temperaturas en un punto del molde. Si la temperatura del molde desciende notablemente respecto a la temperatura que se tiene registrada para obtener el termoconformado óptimo, se aumenta la temperatura hasta que esta alcance la temperatura de consigna. No actúa como un regulador, no compara la temperatura real con la temperatura deseada o punto de ajuste, simplemente indica la temperatura y es en la máquina de termoconformado donde se actúa aumentando su intensidad para recuperar la temperatura que se tiene registrada como nominal.

Para comprobar que la temperatura que se marca es la correcta se podría usar una sonda que hiciese la función de comprobación pero este método proporcionaría variaciones dependiendo de la inclinación o de la posición del terminal medidor que conllevaría errores en la medida, por lo que esta idea es desechada.

Se instala por lo tanto una segunda estación de medida, en un punto arbitrario del molde. Este punto para las mismas condiciones de intensidad de corriente y voltaje, registrará diferente temperatura. Esto es debido a que los dos puntos de medida no son contiguos y la geometría del molde varía.

Para verificar que la temperatura real del molde se corresponda con la temperatura adecuada para producir el termoconformado, se usan estos dos puntos de medida. Se obtendrá para un mismo momento temporal dos temperaturas diferentes del mismo molde (si se tomaran las temperaturas de más puntos, obtendríamos una temperatura para cada punto, y no tendrían por qué ser coincidentes). Se realiza, por lo tanto un registro de temperaturas para cada molde.

3.4.2. Establecimiento de tiempos de termoconformado

Otra de las variables en el proceso de termoconformado que interesa controlar y determinar para lograr la estandarización de la producción en serie de prehormados de foam es el tiempo que se requiere para el proceso de termoconformado.



Durante el proceso de termoconformado interesa por lo general que la velocidad de deformación de la plancha sea rápida, ya que esto permitirá que se reduzca el tiempo del ciclo de termoconformado.

Previo a centrarnos en el inicio del proceso de termoconformado, debe ser puntualizado que el encendido de las máquinas de termoconformado no es inmediato y requiere de un tiempo de puesta a punto. El tiempo varía en función de la temperatura que deba alcanzarse en la máquina de termoconformado, este tiempo viene influido por factores como el volumen del molde o el tipo de generación de calor establecido.

En el proceso en sí de termoconformado para obtener el producto unitario termoconformado se distinguen tres tiempos: el tiempo de calentamiento, de conformado y de enfriamiento. Para el prehormado de los sujetadores (modelo push up o prehormado simple), el calentamiento y el conformado de la plancha de foam se realiza de forma simultánea

Para comenzar el proceso, se introduce la plancha de foam y por accionamiento manual el molde macho desciende calentando y conformando la plancha de foam. El tiempo dedicado al conformado varía en función del modelo que se esté produciendo.

- Se diferencian los modelos de prehormados de foam sin push up, con un espesor de 5mm de plancha de foam, para los que se establece un tiempo óptimo de 50 para el modelo 1560.
- Para los modelos de prehormados de foam de push up 1413, con un espesor de plancha de foam de 15 mm, el tiempo que se considera como óptimo tras realizar diversas pruebas es de 65 segundos.

El tiempo de termoconformado, viene determinado por la relajación de las tensiones internas de la espuma de foam no siendo un proceso instantáneo y donde la accesibilidad de calor varía en relación a la microestructura o el espesor, entre otros factores.

- La etapa de enfriamiento del producto debe considerarse generalmente despreciable para el termoconformado realizado para los moldes fabricados a partir de tocho de aluminio. Tras el proceso de calentamiento y conformado de la plancha de foam, se retira el molde macho y ya es posible retirar el prehormado.

Debe considerarse como excepción el enfriamiento para la talla 105 con push up, su procesamiento tras el conformado es crítico. Esta salvedad debe considerarse porque se trata de una talla con dimensiones elevadas en la que se reúne un alto volumen de foam.

Se establece que el prehormado push-up de talla 105 debe enfriar un tiempo mínimo de 325 s. Durante este tiempo el prehormado debe reposar sobre una superficie plana horizontal, sin apilar otro prehormado de similares características sobre él.

Tales deben ser los requisitos de calidad, que tras el tiempo de enfriamiento el peso mayor que puede soportar un prehormado es el de cuatro prehormados apilados sobre si, en contraposición a un prehormado de cualquier otra talla sobre el que podrían apilarse(sin producir deformación) hasta nueve prehormados con idénticas características.

Para los prehormados realizados en los moldes de termoconformado fabricados por fundición, el tiempo de enfriamiento de termoconformado se estipula en 20 segundos hasta la retirada del prehormado, en concreto por las características que la máquina de termoconformado presenta.

- Al proceso de termoconformado estándar con las etapas de calentamiento, conformado y enfriamiento, es necesario agregar una fase debido al empleo de foam. En esta fase se sitúan los prehormados en la estación de extracción de gases de isocianato, tal y como se explicó en el apartado 1.5. correspondiente a la normativa aplicable al termoconformado textil.

La duración de esta etapa no debe ser inferior a 10 s, para eliminar totalmente las partículas que se desprenden tras la sublimación de foam y que son catalogadas como perjudiciales si se inhalan en instantes posteriores a la salida del proceso de termoconformado.



3.5. Etapas de desarrollo del molde de termoconformado para prehormados de foam

Tal y como se definió en párrafos anteriores, para la fabricación del molde de termoconformado que permita realizar los prehormados de foam de un sujetador estándar en serie, se incorpora el desarrollo de un molde prototipo de termoconformado que permita la validación en una primera aproximación de la geometría.

Previo a establecer un molde para el termoconformado de prehormado, debe obtenerse el sujetador patrón confeccionado de forma artesanal y desarrollar el CAD que permita adecuar la geometría y las curvaturas para a continuación, proceder a la fabricación en serie.

3.5.1. Fabricación del molde prototipo de termoconformado

Una vez realizado el escaneado del sujetador confeccionado a mano, se procede a la recopilación en una base de datos de la nube de puntos, se tratan para poder así realizar un análisis matemático y se obtienen los parámetros de las ecuaciones de distintas superficies que se corresponden con la copa a realizar. En definitiva, se inicia el desarrollo de un molde que permita reproducir las características definidas durante los pasos previos de confección artesanal y validación de la modelo.

El molde prototipo que se desarrolla, surge con la única pretensión de que sea útil para verificar la geometría en una primera aproximación. Este molde prototipo no tendrá ningún sistema calefactor, se trata así de un molde frío, con el que no se podrá extraer ninguna conclusión de análisis térmico.

Elección de materiales para molde prototipo

El proceso para obtener del molde de resina la copa del sujetador es la inyección y el material empleado es silicona.

Con respecto al material del molde prototipo, se emplea **POLIURETANO PU-31**, se trata de un poliuretano de alta densidad. Las características más significativas son.

- Su baja viscosidad, sin necesidad de emplear agentes espumantes.

- Permite realizar moldes con alta dureza, buenas propiedades físicas y mecánicas. Que garanticen tolerancias dimensionales.
- Se puede procesar entre 20°C y 30°C, indicado especialmente para inyecciones a baja presión.
- Posibilidad de garantizar 90 segundos en estado de gel.

En el ANEXO I, se encuentra la ficha técnica del POLIURETANO PU-31.

La silicona utilizada, **ELASTOSIL 4601 A+B**, para las copas prototipos se trata de un caucho-silicona, curable, de curado por adición que vulcaniza a temperatura ambiente. Entre las características principales de esta silicona, se encuentran:

- El curado rápido y sin contracción a temperatura ambiente. Con posibilidad de acelerar el curado. El tiempo de procesado a 23 °C es de 90 minutos.
- Buena estabilidad de larga duración entre sus propiedades mecánicas, entre ellas, posee una elevada elongación a la rotura.
- Permite fabricar piezas con mucho detalle.
- Su relación de mezcla en peso es de 9.1
- La dureza Shore A 28 que indica que se trata de un material blando que absorbería energía si se realizase un ensayo de choque. Para la aplicación que se está estudiando permite reproducir la geometría del futuro prehormado de foam.

En ANEXO I, se encuentra la ficha técnica del ELASTOSIL 4601 A+B.

Entre las ventajas que presenta el uso de esta silicona, se encuentran la posibilidad de recrear las copas geométricamente del futuro prehormado y valorar como primera impresión en pruebas físicas su validez dimensional. Cuando se realizan las pruebas físicas con la modelo se tiene una alta viscosidad que proporciona flexibilidad, aunque con el paso del tiempo la silicona endurezca.

Proceso de fabricación del molde prototipo

El proceso de fabricación del molde prototipo, se comienza con el tratamiento en CATIA de la nube de puntos que se obtiene tras el digitalizado del sujetador patrón. Una vez que esta nube es tratada, se procede al diseño del molde.

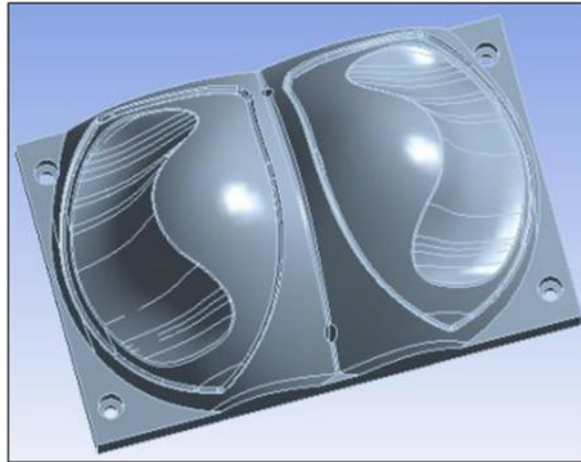


Ilustración 3.5.1. Nube de puntos del molde macho

Se busca que a partir de este molde recrear la geometría del sujetador patrón, para este desarrollo se comienza recreándolo en resina, tanto para el molde macho como para el molde hembra

Con la obtención de la geometría del molde en CAD y su realización del molde físico en resina se procede mediante un proceso iterativo a la obtención de un prototipo de sujetador de silicona, que permita como primera aproximación validar la geometría 3D del molde final, con el que las modelos realizan distintas pruebas.

El **moldeo se realiza por inyección** de silicona consiste en un proceso semicontinuo en el que se inyecta el polímero (silicona) en estado fundido en un molde cerrado a presión a través de un orificio. En el molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

El caucho de silicona líquida posee baja viscosidad lo que permite que el material fluya a través de la cavidad del molde de manera rápida y lo llene completamente, con esta técnica se pueden moldear piezas con perímetros complicados, distintos espesores o características.

En el ciclo de moldeo por inyección existe una secuencia de pasos, que se relatan a continuación:

- En un primer momento el molde se encuentra cerrado y vacío. La unidad de inyección carga la silicona y se llena de polímero fundido.
- La presión se mantiene constante para lograr que la pieza tenga las dimensiones adecuadas, pues al enfriarse tiende a contraerse.
- Se elimina la presión.
- La pieza en el molde termina de enfriarse (este tiempo es el más caro pues es largo e interrumpe el proceso continuo), y se extrae la parte moldeada fuera de la cavidad.

Finalmente se vuelve a cerrar el molde y el ciclo puede reiniciarse.

Se obtendría así el molde de resina físico con el que se pretende obtener la geometría del prehormado de silicona final.



Ilustración 3.5.1-2. Molde macho prototipo de resina

La opinión subjetiva de “sienta bien o no sienta bien” por parte de la modelo entraña una dificultad adicional para la fabricación del sujetador push up, ya que no es un aspecto tangible que pueda ser evaluado cuantitativamente pero es el factor más importante para que el resultado final tenga una buena acogida en el mercado.

Con la fabricación previa de moldes en poliuretano se busca que sea asumible económicamente realizar distintas pruebas y que faciliten el proceso de desarrollo de un molde final de aluminio que consiga un sujetador push up que se asemeje al sujetador patrón realizado de forma manual.

La copa final de silicona obtenida con el molde de silicona se muestra a continuación:

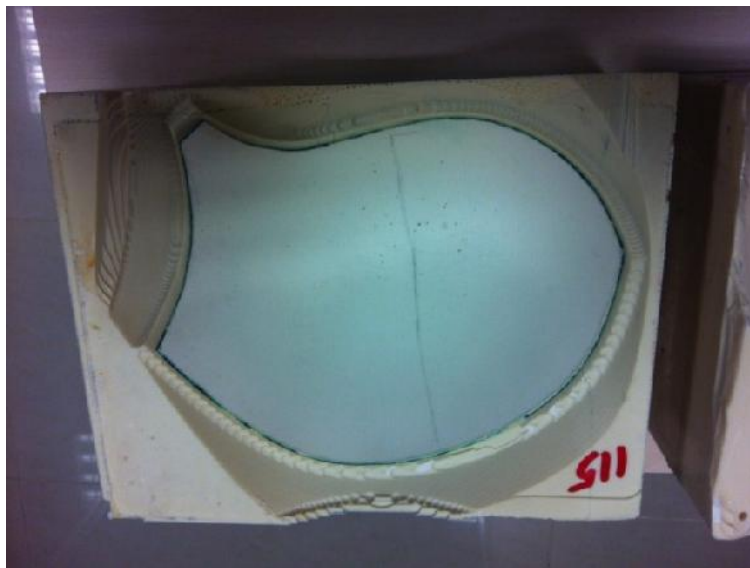


Ilustración 3.5.1-3. Pieza de silicona obtenida con molde de poliuretano

Y con este molde de silicona es posible realizar ya la primera prueba a la modelo, el sujetador obtenido de silicona tiene una mayor rigidez que el preformado de foam que se busca industrializar, pero es un buen modelo para validar la geometría.



Ilustración 3.5.1-4. Prueba del sujetador a la modelo

Antes de realizar la prueba del sujetador de silicona por parte de la modelo, se toman referencias de las medidas sobre la piel del contorno del sujetador patrón. Estas referencias se corresponden con las marcas verdes de rotulador de las imágenes superiores y serán la guía al probar el sujetador de silicona para determinar si la geometría de este se corresponde con la determinada por el sujetador patrón.

Debe por lo tanto ser modificado el CAD 3D último que se había realizado ya que el resultado obtenido tras la realización del prehormado de silicona no se corresponde con las medidas del sujetador patrón.

Tras las modificaciones de CAD oportunas se vuelve a realizar un nuevo molde de resina y de ese molde se vuelve a extraer un prehormado de silicona que será nuevamente probado. Este proceso se repite tantas veces como se considere que la geometría puede ser mejorada, hasta que se valide una geometría que guarde todas las garantías para fabricar el molde de aluminio definitivo y obtener el prehormado de foam final.

3.5.2. Fabricación de un pre-molde de termoconformado

Una vez obtenida la geometría en el molde de resina, los prehormados de silicona que se consideren correctos y se correspondan con una buena aproximación, se puede proceder al diseño del pre-molde CAD 3D de aluminio:

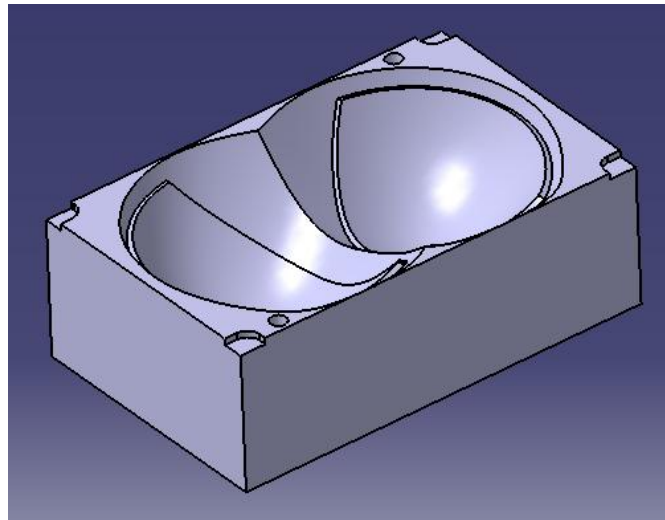


Ilustración 3.5.2. Diseño CAD 3D del molde hembra



Ilustración 3.5.3. Molde de aluminio del modelo 1413 de la talla 105

Este pre-molde se emplea en ocasiones, una vez validada la geometría, para realizar las pruebas de cómo se comportaría el molde al aplicar calor. Es decir, cómo se comportaría la distribución de calor en el molde.

Para realizar pruebas de calentamiento no sería necesario realizar el calentamiento por resistencias de inducción. Se podría realizar un calentamiento con placas base de calentamiento uniforme.

Una vez realizada la validación de uniformidad de temperatura se podrían diseñar las cavidades para alojar las resistencias, ya que la posición de las cavidades vendrá condicionada por la temperatura que se considere óptima para el proceso de termoconformado.

3.5.3. Fabricación del molde final de termoconformado

Una vez obtenido el análisis térmico del molde de aluminio se puede proceder a realizar el molde definitivo en 3D, dándose así por concluido el proceso de modelado y comenzando la etapa de CAM (fabricación asistida por ordenador) de las piezas del molde.

Debe tenerse en consideración que el estudio térmico que se realizó, tendrá ciertas diferencias con el resultado térmico de los moldes de aluminio finales. Esto es debido a que la opción de la generación de calor al molde mediante placas base es inasumible económicamente y se decide realizar el calentamiento de los moldes mediante una distribución de resistencias. La distribución de las resistencias, variará en función del modelo y la talla que se considere a estudio, para lograr un reparto térmico lo más homogéneo y adecuado a las necesidades del resultado óptimo del prehormado final.

A continuación se mostrará alguna distribución de resistencias particularizando para modelo y talla.

Para el modelo 1413 (modelo con push), en concreto para la talla 105, el desarrollo de distribución de resistencias es el siguiente:

La primera etapa comienza con un estudio dimensional para el molde de termoconformado, el molde tiene 320 mm de largo y 200 mm de ancho.

Se dispone de unas resistencias de 400 W con dimensiones de 12,5 x 70 mm y de 500 W con dimensiones de 12,5 x 130 mm

La distribución de las resistencias depende, por lo tanto de la geometría del molde. Se decide ubicar tres cavidades para resistencias de inducción en el molde hembra y en el molde macho dos cavidades para sus correspondientes dos resistencias.

Las resistencias que se sitúan por ejemplo para el modelo 1413 de la **talla 105** del sujetador push-up en el molde macho se corresponden con las cavidades circulares que se muestran en la imagen que se muestra a continuación:

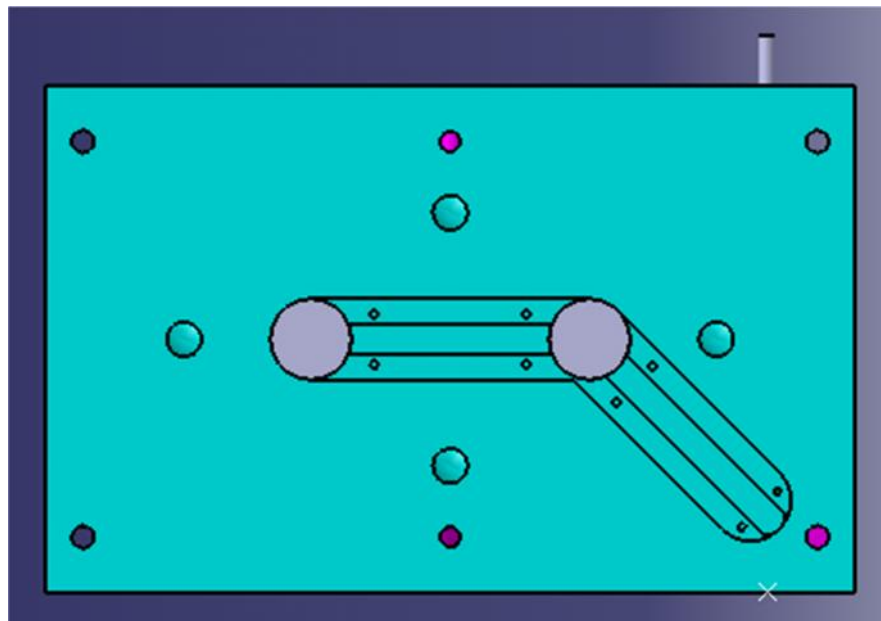


Ilustración 3.5.3-1. Disposición de las resistencias en el molde macho para talla 105

La distribución de las cavidades en las que se alojan las resistencias en el molde completo, tanto en el molde macho como en el molde hembra se muestran en la ilustración inferior.

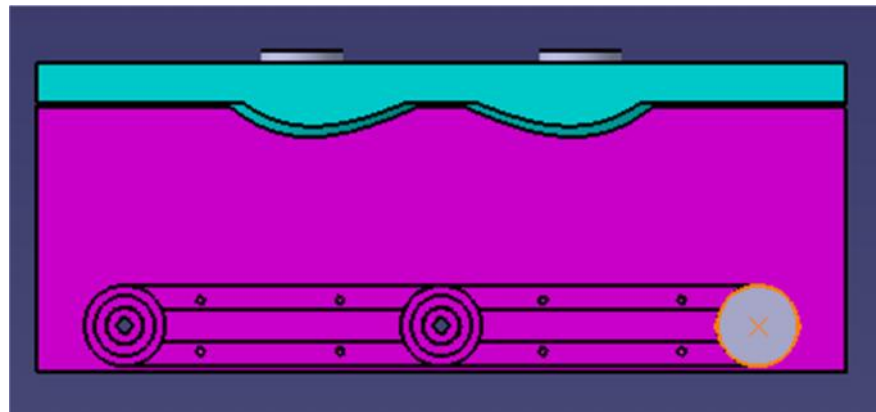


Ilustración 3.5.3-2- Disposición de las resistencias en el molde hembra para la talla 105

El diámetro de las cavidades del molde 105 se decide realizar de 15 mm tanto para el molde macho como para el molde hembra. De forma que las cavidades sean suficientemente holgadas para ubicar a las resistencias tanto de 400 W como de 500W.

Una vez conocida la distribución de las resistencias, se puede concluir el diseño del molde CAD 3D. En la imagen en CAD 3D se distinguen los tres alojamientos para las resistencias por inducción del molde hembra.

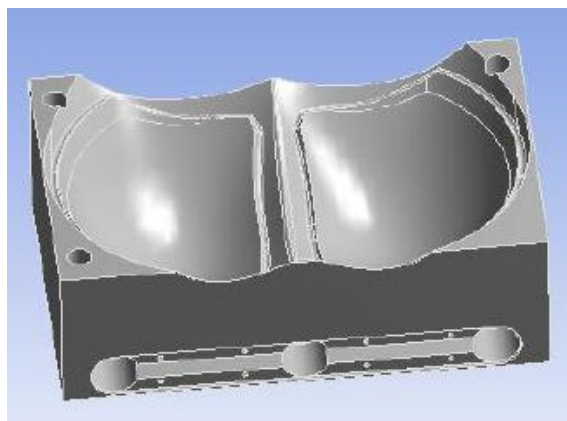


Ilustración 3.5.3-3. Diseño completo molde hembra para modelo 1413 de la talla 105



Ilustración 3.5.3-4. Imagen del molde de termoconformado con la disposición de las resistencias

La situación del molde en la máquina de termoconformado parte de la consideración de que el molde se comporta como un sólido rígido. Toda su masa se concentra en un punto, centro de masas. Las coordenadas en mm de este punto son:

$$[X_0, Y_0, Z_0] = [3,547, 98,445, -51,4]$$

Para garantizar que el molde hembra mantenga su posición durante el termoconformado, los moldes en sí se apoyan sobre unas placas portamoldes. Estas placas portamoldes alojan las cavidades donde irán incorporadas las resistencias.

El peso final del molde de aluminio para la talla 105 del molde 1413 es de 18,426 kg y las dimensiones:

$$X = 320 \text{ mm}; Y = 200 \text{ mm}; Z = 121,68 \text{ mm}$$

Para llegar a la obtención del posicionamiento de las resistencias óptimo se requiere de la realización de varias pruebas previas, en la imagen 3.5.3-4 se observa una distribución de las 3 resistencias en la que la resistencia central se encuentra en una posición más elevada que las otras dos.

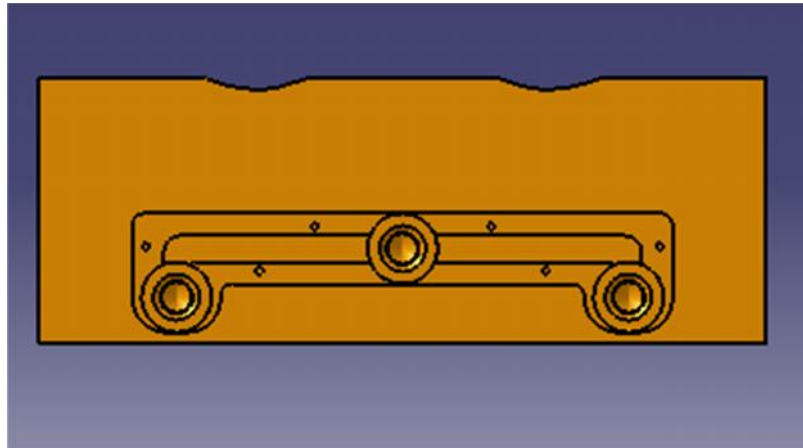


Ilustración 3.5.3-4. Prueba de posicionamiento de las resistencias para el molde macho de la talla 105 del modelo 1413

Sin embargo, esta disposición generaría problemas porque la resistencia central estaría demasiado próxima a la plancha de foam (y por lo tanto al prehormado final), en el [apartado 3.5.4](#) se comprobará que la zona del molde hembra en el que se concentran mayores temperaturas es la central.

Si la cavidad en la que se introduce la resistencia está más próxima al prehormado de lo habitual, implica que las temperaturas que se registrarán en el prehormado serán mayores. Estas temperaturas no interesan porque podrían provocar diferentes velocidades de enfriamiento y contracciones- dilataciones en el prehormado.

Así que se descarta la opción de utilizar para el modelo 1413 y talla 105, la disposición de tres resistencias en las que una de ellas se encuentre en posición más elevada que las otras dos.

La disposición de las resistencias en el molde viene condicionada por la geometría del molde. La geometría del molde no permite disponer de muchas posibilidades para el posicionamiento de las resistencias porque existe poco espacio para albergarlas y porque se busca que con la mínima inversión económica posible se consiga obtener un reparto del calor homogéneo o al menos que el reparto de calor para termoconformar la plancha de foam sea óptimo, que no genere deformaciones en el prehormado final.

El estudio de la temperatura en el proceso de termoconformado engloba desde el calentamiento hasta el enfriamiento de la plancha de foam, de forma que debe estudiarse la temperatura del molde hembra y del molde macho desde el inicio al final del proceso.

Con respecto a la evacuación de aire se realiza sin canales de vacío, el aire será removido a la hora de conformar por la inercia natural una vez que se acerca el molde macho al molde hembra. Por lo tanto no afecta a la geometría del molde de termoconformado.

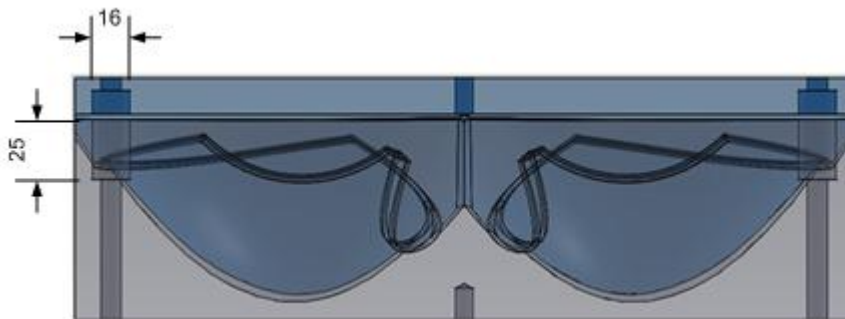


Ilustración 3.5.3-5. Molde final completo con detalle del sistema de encaje de los dos moldes.

Las dos partes del molde se encajan por medio de tres uniones, dos en los extremos del molde con dimensiones definidas en la ilustración 3.5.3-5 y una central.

Debe garantizarse que la plancha quede aprisionada entre los dos moldes, para lo que se aplica una fuerza constante de 5 bares sobre el molde macho.

En el documento ANEXO 3 se adjunta un plano, en el que se detallan los elementos de encaje del molde de talla 110, para el modelo 1560. Sobre este molde se realizará un análisis térmico correspondiente.

La fabricación asistida por ordenador permite ayudar en la fase directa de manufactura de un producto, es un puente entre el diseño asistido por ordenador (CAD) y el lenguaje de programación de las máquinas herramientas con una

intervención mínima del operario. Permite por lo tanto la posibilidad de describir la trayectoria de la herramienta para diversas operaciones desde la base de datos que se desarrolla durante el CAD.

Las órdenes de mecanizado necesarias para realizar el molde macho se corresponden con la secuencia de órdenes programadas en lenguaje FAGOR, para realizar dicha etapa se tiene en cuenta las características del material del molde, que como se explicó anteriormente será de aluminio.

PROCESO DE MECANIZADO CAM POR ORDEN DE EJECUCION					DISPOSITIVO: MOLDE_1413_103_V1-MACHO		
					LENGUAJE CNC:FAGOR		
DENOMINACION	Nº DE PROGRAMA	Ø HERRAMIENTA	AVANCE	Pz (PROFUNDIDAD DE PASADA)	Pl (PASADA LATERAL)	OFFSET	OBSERVACIONES
PLANEADO CIL	702511	CIL 12	1200 REV.3500	0.5	6	0	L=70
DESEASTE	702512	ESF16	4500 REV.3500	1	1	+8	L=70
DESEASTE	702513	ESF16	4500 REV.3500	1	1	+5	L=70
DESEASTE	702514	ESF16	4500 REV.3500	1	1	+3	L=70
DESEASTE	702515	ESF16	4500 REV.3500	1	1	+1.5	L=70
PREACABADO	702316	ESF16	4500 REV.5500	1	1	+0.3	L=70
ACABADO	702517	ESF16	4500 REV.5500	0.8	0.8	0	L=70
ACABADO RADIOS	702318	ESF8	3500 REV.6500	0.5	0.5	0	L=70

NOTA: UTILIZAR COMANDO G51 E 0.02

Ilustración 3.5.3-6. Instrucciones CNC para mecanizar molde macho

En las imágenes inferiores se muestra el resultado final del molde macho sólo con el prehormado en alzado y en planta, y se puede ver la silueta que adquirirá el foam después del proceso de termoconformado.

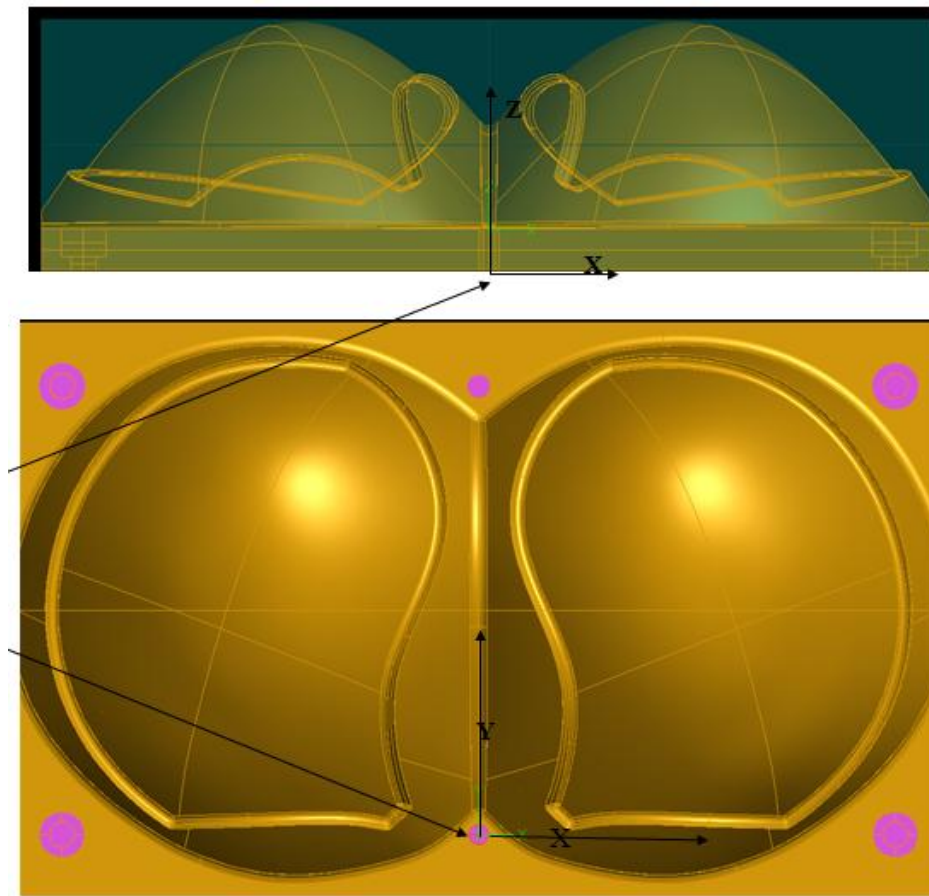


Ilustración 3.5.3-7. Diseño molde macho sólo con el prehormado

En la imagen inferior se puede ver como se realizaría el mecanizado asistido por ordenador del molde macho comandado por la secuencia de órdenes obtenida del CAD 3D.

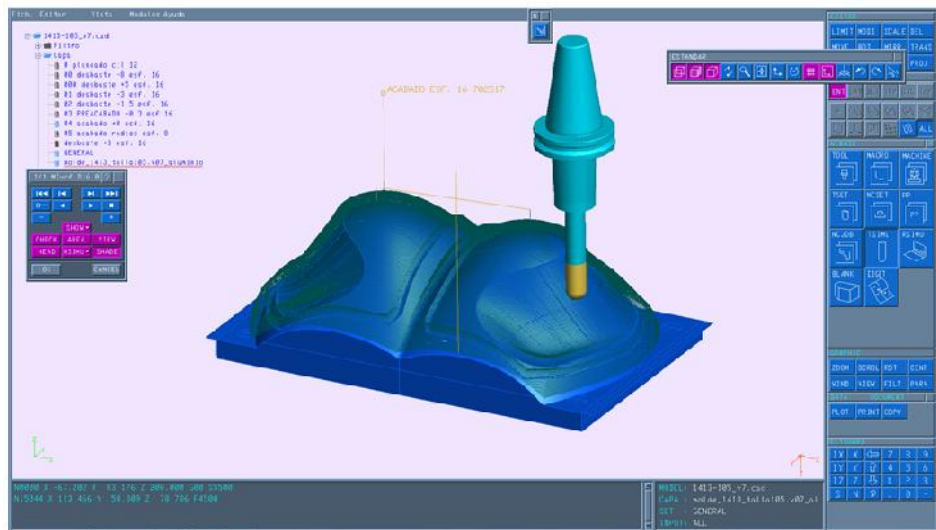


Ilustración 3.5.3-8. Mecanizado del molde macho por ordenador

El resultado final obtenido, se aprecia en la ilustración siguiente:



Ilustración 3.5.3-9. Molde hembra del modelo 1413 de la talla 105

Una vez obtenido el prehormado del diseño del molde macho, se deben dar las órdenes de mecanizado CNC para obtener los postizos push up del prehormado final.

El resultado final del molde de aluminio para los prehormados de foam se corresponde con: el molde inferior que será un molde fijo (molde hembra) y el molde

superior que será un molde móvil (molde macho), que se desliza por el accionamiento de un actuador en la máquina de termoconformado.



Ilustración 3.5.3-9. Molde termoconformado para prehormados simple

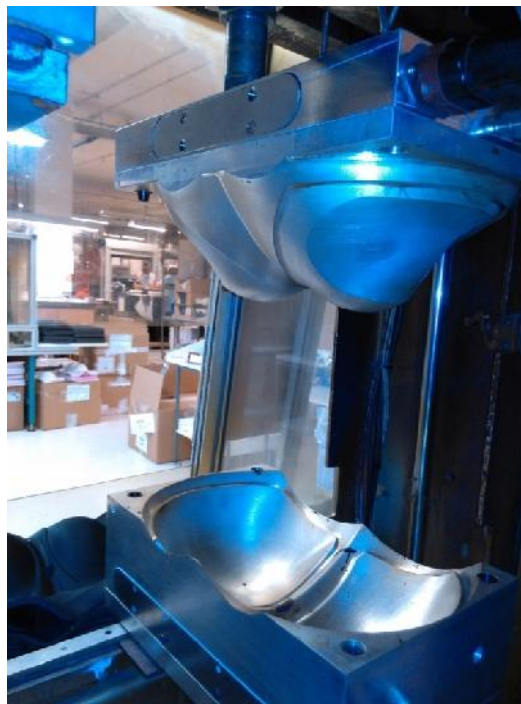


Ilustración 3.5.3-10. Molde termoconformado para prehormados con push up

El molde hembra - macho se inserta en la máquina de termoconformado que está provista de un actuador neumático de doble efecto, que permite descender el molde macho para calentar y conformar la plancha de foam y elevarse una vez el proceso de calentamiento y conformado esté finalizado.

El accionamiento de la máquina está configurado para que sea manual, es decir, es un operario quien centra la plancha de foam y acciona el descenso del molde macho. La máquina dispone de una cuenta atrás que mide el tiempo que debe estar el molde macho ejerciendo una fuerza de 5 bares sobre la plancha de foam a la temperatura adecuada y así obtener el prehormado óptimo.



Ilustración 3.5.3-11. Plancha de foam en el molde de termoconformado

Una vez el contador llegue a 0, de forma automática el molde macho sube, dejando el prehormado conformado y listo para retirarlo.

Para el posicionamiento del molde macho respecto al molde hembra se utilizó un sistema neumático lineal con unas guías de desplazamiento que garanticen que el sistema baje y suba entorno a las guías, manteniendo el ajuste.



3.5.4. Análisis térmico del molde de aluminio final

Tal cómo se relató en apartados anteriores, debe realizarse un estudio minucioso de la distribución de temperaturas que se producirá en el molde de termoconformado, ya que esta condicionará el proceso y el resultado final de los prehormados. Para poder obtener una previsión de la distribución de temperaturas que se alcanzará en los moldes se emplea el software de elementos finitos ANSYS.

El análisis térmico del molde viene condicionado por el diseño geométrico de los moldes y por la ubicación de los elementos de generación de calor. Por ello, se elegirán determinados moldes con diversas características entre si, para obtener conclusiones que puedan ser aplicadas en el desarrollo técnico de moldes de termoconformado.

La transferencia de calor se define como “la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas”. Existen diferentes formas en la que se da la transferencia de calor, ocasionadas por la presencia de energía que altera el estado de equilibrio térmico de un cuerpo. Estas formas son: conducción, convección y radiación.

Para realizar un correcto equilibrio térmico, debe realizarse un control de la estabilidad de los equipos que intervienen en el comportamiento del sistema. En el calentamiento de los moldes de termoconformado se obtiene estabilidad térmica tras un plazo de tiempo finito.

Independientemente del estado que se tenga en el sistema, se debe cumplir el principio de la conservación de la energía. En el balance que se realice el calor entrante o generado dentro del sistema debe salir y/o almacenarse cumpliendo los principios de conservación de energía. El flujo de la energía generada, se corresponde con la producida por las resistencias eléctricas.

El flujo de energía entrante así como el flujo de energía saliente, pueden ser transferidos por medio de cualquiera de las tres formas existentes de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

En la búsqueda para caracterizar el fenómeno de transferencia de calor a una plancha de foam, se debe realizar un estudio de cuál es el comportamiento y distribución de temperatura en los moldes.

La dificultad de estudiar los casos de transferencia de calor reside en que el valor de la temperatura en cada punto de la placa viene determinado principalmente por la distancia a la que se encuentra la resistencia y por el instante de tiempo que se busque evaluar, ya que se trata de un fenómeno en estado transitorio. Previo a realizar los cálculos se puede prever que para obtener una superficie con calentamiento uniforme, todas las líneas de flujo deberían recorrer la misma distancia.

A continuación se van a caracterizar las tres formas de transmisión de calor que se producen en el molde de termoconformado a estudio:

Proceso de conducción

La conducción de calor se da en un medio sólido donde la energía generada por una fuente de calor se transmite a las partículas más cercanas a esta, y a su vez esas partículas transfieren la energía a las partículas contiguas con menor temperatura.

Para poder cuantificar la cantidad de calor transmitido a un cuerpo por medio de la conducción se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(k \frac{\delta T}{\delta x} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(k \frac{\delta T}{\delta y} \right) + \frac{\delta}{\delta z} \left(k \frac{\delta T}{\delta z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\delta T}{\delta t}$$

Donde se establece que “la transferencia de energía por conducción en un volumen dado más la rapidez de generación volumétrica de energía térmica debe ser igual a la rapidez de cambio de energía térmica almacenada dentro del volumen”.

Cada miembro de la ecuación se corresponde con la transferencia de calor de entrada a través de X, de Y y de Z, considerándose q como la transferencia de calor a través de los límites del volumen.



Para realizar una previsión de la distribución térmica de la temperatura en el molde se utiliza el software ANSYS, que permite la resolución de un sistema con infinitas incógnitas a un modelo de elementos finitos resolviendo las ecuaciones diferenciales superiores. Con esta comprobación previa se pretende obtener una correlación de temperaturas en el molde de termoconformado.

La cantidad de calor transferido por unidad de área depende principalmente de las propiedades del material, como el coeficiente de conductividad térmica k , la densidad y la capacidad térmica específica, la cantidad de energía generada y la diferencia de temperaturas.

Si se requiere hacer un análisis teórico para predecir el comportamiento del cuerpo en cada instante de tiempo y para una posición cualquiera del mismo, es preciso hacer un balance de energía, usando la ecuación superior.

El incremento de energía interna en un volumen se describe por la siguiente integral.

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{vc} \rho c T dV = dU$$

El volumen de control considerado para nuestro estudio de conducción de calor, al igual que el empleado para los ensayos por elementos finitos en ANSYS, son el molde macho y el hombre hembra.

Al tener una diferencia en el flujo de energía en la entrada y la salida del volumen de control, se considerará la existencia de un incremento en la energía interna del volumen. Lo cual se establece como:

$$\oint_s \mathbf{q} \cdot \mathbf{n} dS = \oint_v \text{div } \mathbf{q} dV$$

Considerando que para la conservación de la energía, se debe cumplir que la energía absorbida por un cuerpo sea igual a la variación de energía interna del volumen de control.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \text{div } \mathbf{q} = 0$$

Usando la ecuación de conservación de energía, se obtiene:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \nabla^2 T$$

Donde:

$\frac{\partial}{\partial t}$: Diferencial de la temperatura con respecto al tiempo

k : Capacidad del cuerpo para conducción

ρc : Capacidad de un cuerpo para almacenar calor

$\nabla^2 T$: Laplaciano de temperatura

Conocida por la ecuación de Fourier de conducción de calor.

La forma más simplificada de expresar esta ecuación se establece cuando el cuerpo en estudio ha alcanzado el equilibrio, es decir no presenta cambios en la temperatura en función del tiempo pero si en función de la distancia entre el punto de análisis y la fuente de calor.

En este caso se da por hecho que la energía interna permanece constante. Por lo que la ecuación queda como:

$$\rho c_p \frac{\delta T}{\delta t} = 0$$

La transmisión de calor por conducción, se realiza por contacto de las resistencias de inducción con el molde de aluminio. También es por conducción el proceso de calentamiento de la plancha de foam para conformarlo en el proceso de termoconformado.

De forma experimental se comprueba que la temperatura disminuye conforme la distancia crece con respecto a las resistencias de inducción. Con esto se puede deducir la dirección del flujo de calor. Siendo en este caso el punto donde la



temperatura es más elevada, el más cercano a las resistencias de inducción y decayendo progresivamente conforme avanza a lo largo del espesor en dirección a cualquier punto situado en la superficie del molde.

Si se consideran dos puntos arbitrarios, que se encuentren uno entorno a las resistencias de inducción y otro en la superficie del molde, con posibilidad de moverse, se concluye que a mayor distancia existente entre los puntos, menor será la temperatura alcanzada en el punto considerado de la periferia.

Si se representa dicha curva con los valores de temperatura registrados, se obtendría una constante correspondiente a la pendiente de dicha curva y que se corresponde con la constante de conductividad térmica k , valor establecido por el material usado para el análisis.

La cantidad de energía que se está transmitiendo de un punto a otro de un cuerpo se puede saber solo conociendo los siguientes parámetros: tipo de material del que será hecho el objeto calentado o el valor de la constante de conductividad térmica, la diferencia de temperatura que hay entre el punto más caliente y más frío, y la distancia que hay entre estos dos puntos, teniendo estos valores se puede aplicar la *ecuación de Fourier*, el resultado de esta ecuación se corresponde con un instante (se tendría que suponer un proceso estacionario), y se obtendría el calor en W por unidad de superficie.

Así se podría conocer, el calor que recibe la plancha de foam en el instante en el que se considera que la temperatura del molde es la óptima para el proceso de termoconformado.

Sin embargo, la transmisión de calor que recibe la plancha de foam no es en su totalidad la que difunde en el molde de termoconformado desde las resistencias a la superficie del molde. Y estas pérdidas son debidas al proceso térmico de radiación y de convección, que se tratan a continuación.

Proceso de radiación

Esta forma de transferencia de calor se caracteriza por ser independiente de un medio sólido o fluido a través del cual se deba transmitir la energía.

El principio de la radiación establece que al tener un cuerpo o superficie caliente se generan grandes excitaciones subatómicas al grado de emitir energía sin ningún contacto directo con el receptor.

La cantidad de energía radiante que un cuerpo emite se limita sólo a la superficie expuesta y la velocidad a la que se libera esta energía por unidad de área llamada también potencia emisiva. El valor máximo de potencia emisiva que se puede llegar a tener es en un cuerpo negro, que es un caso idealizado y se determina por medio de la ley de Stefan- Boltzmann.

$$E_d = T_s^4$$

Donde :

T_s : temperatura de la superficie del sólido radiante.

: constante de Stefan –Boltzmann ($5,67 \text{ e}^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)

Generalmente los cuerpos emiten menos cantidad de energía que la de un cuerpo negro, para estos se establece la ecuación:

$$E_d = \epsilon T_s^4$$

Donde ϵ se define como la eficiencia del cuerpo para emitir radiación. Se corresponde con un rango de valores que va de 0 a 1, dependiendo del material y del acabado de la superficie.

El molde de aluminio que sería el encargado de realizar la emisión en forma de radiación, tiene una emisividad para un valor de 400 K de 0,76.

El resultado final:

$$E_d = 0,76 * 5,67 \text{ e}^{-8} * 469^4 = 2.084,91 \text{ W/m}^2$$

Para una superficie de $0,0451 \text{ m}^2$,

Se obtendría un valor de calor emitido por unidad de superficie de una de las partes del molde:



$$Q_{\text{radiación}} = 94 \text{ [W]}$$

Proceso de convección

Además de la conducción y la radiación presente en el análisis de transferencia de calor de un cuerpo, en la mayoría de los casos también se ven involucradas la convección, debido a que no se pueden controlar las condiciones del medio a las que se encuentra expuesto el cuerpo. Para la convección, el aire que es un fluido es el medio en el que se llevaría a cabo el proceso.

Al existir una diferencia de temperaturas entre un cuerpo y un fluido se presenta el proceso de convección, así como la conducción aunque esta última en menor medida. Para definir el comportamiento y dirección del fluido a la hora de llevar a cabo el proceso. La convección se da por la energía transmitida en forma de calor a las partículas del aire desde las paredes del molde de termoconformado, dependiendo de la temperatura del fluido.

Existen dos tipos de convección. La convección forzada cuando existe un elemento externo que en la velocidad del movimiento del fluido como un ventilador o una bomba; y convección natural, donde el movimiento se genera por medio de los cambios de densidad como producto de los cambios de temperatura.

La transmisión de energía que se produce entre el molde y el aire, se trata de convección natural porque no se emplean elementos externos para incrementar la velocidad del fluido. La ecuación que calcula la cantidad de energía transferida por convección en una superficie es:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T)$$

Donde:

h: coeficiente de convección que dependerá de la naturaleza del fluido y la velocidad del mismo.

A: Área que se encuentra en contacto con el fluido que está presentando el fenómeno de convección.

T_s : temperatura de la superficie del sólido

T : temperatura del fluido.

Si consideramos que la temperatura ambiente T es 22 °C y que la temperatura que se alcance en la superficie es de 400 K (temperatura superior a la que se registrará).

$$T_f = \frac{(T + T_\infty)}{2} = \frac{(400 + 22)}{2} = 211 \text{ °C} = 484 \text{ K}$$

Dónde:

T_f : temperatura de película promedio [K]

T_s : temperatura superficial [K]

T : temperatura en los alrededores [K]

Número de Grashof : representa la razón entre la fuerza de empuje y la fuerza viscosa que actúan sobre el fluido y mediante el cual es posible determinar el régimen turbulento o laminar de flujo en convección natural.

$$GrL = \frac{g (T - T_\infty) L_c^3}{\nu^2}$$

Donde:

β : coeficiente de expansión volumétrica $1/T_f$ [1/K]

L_c : longitud característica de la conf. geométrica, ancho del molde [m]

ν : viscosidad cinemática del fluido [m²/s]

$$GrL = \frac{9,8 \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} (400 - 22) 0,1^3}{(2,4 \cdot 10^{-5})^2}$$



Numero de Rayleigh: es un término adimensional que asocia la transferencia de calor al interior de un fluido, para lo cual determina rangos de valor crítico y de esta forma definiendo si la transferencia de calor se realiza por conducción o convección, al ubicarse por debajo y por encima del calor crítico respectivamente.

$$RaL = GrL * Pr$$

$$RaL = 22,65 e^6 * 0,7 = 15,86 e^6$$

El número de Nusselt: es un término adimensional que mide el cambio en la transmisión de calor desde la superficie de un sólido relacionando la transferencia por convección comparada con conducción.

Considerando convección natural externa, siguiendo las correlaciones de Churchill y Chu:

Donde el Número de Nusselt:

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,3 * Ra^{1/6}}{[1+(0,4 * Pr)^{1/4}]^{3/2}} \right]^2 = 35,55$$

$$Nu = \frac{hL}{k} \rightarrow h = \frac{0,0}{0,1} * 35,55 = 9,37 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

$$Q_{convección} = 9,37 \left[\frac{W}{m^2K} \right] * (200 - 22)$$

$$Q_{convección} = 1.667,85 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$$Q_{convección} = 75,22 [W]$$

Se obtienen así las pérdidas de radiación y convección en el proceso de termoconformado para una parte del molde. La suma total de estas pérdidas para una

parte del molde es de 169,22 W, por lo que se concluye que existiría una pérdida de 338,44 W durante el proceso de termoconformado.

Para conocer el calor que es aplicado a la plancha de foam, deben restarse las pérdidas térmicas en radiación y convección de 338,44 W a la energía aportada por las resistencias, que tal cómo se especificó en apartados anteriores pueden ser de 400 W o 500 W y con distintas configuraciones.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se busca caracterizar el fenómeno de transferencia de calor de las resistencias de inducción situadas en las cavidades del molde de termoconformado a la plancha de foam para conformar un prehormado, obteniendo el comportamiento y distribución de temperaturas en superficie.

Los casos de transferencia de calor en los cuales el fenómeno se puede caracterizar usando las ecuaciones de manera directa son limitados. Estas se emplean para conocer la temperatura alcanzada por un único punto del cuerpo, o en los casos donde se presenta condiciones de frontera favorables como: generación de energía constante y uniforme, y/o un régimen estacionario.

Las ecuaciones no podrían aplicarse de manera directa al proceso global, pues el valor de la temperatura de cada punto de la placa está determinado principalmente por la distancia a la que se encuentra de la resistencia, además al tratarse de un fenómeno en estado transitorio la temperatura estará variando en cada instante de tiempo.

Las ecuaciones se aplican con las siguientes consideraciones:

- Se considera una distancia específica, que vendrá definida por uno de los puntos en el que se realiza la medida de temperatura sobre el molde y la superficie del molde.
- Se considerará que la temperatura no variará de valor, una vez el molde esté a la temperatura que se consideró como óptima para el proceso de termoconformado.



Se emplea por lo tanto una resistencia en el interior de un canal maquinado específicamente para su introducción. Se busca que la resistencia se sitúe en el canal maquinado minimizando la resistencia térmica del aire.

Cálculo de la energía generada por la resistencia

La resistencia es uno de los elementos del que depende el calentamiento de la placa, por lo que es esencial conocer cuanta energía es capaz de generar.

Para calcular la energía liberada por la resistencia en forma de calor, se seleccionan dos tipos de resistencias que puedan ser empleadas en los moldes con las geometrías indicadas en el apartado anterior.

Las resistencias se seleccionan en función de las dimensiones del hueco del molde y del calor requerido:

- Con dimensiones de 12,5 x 70 mm, ofrecen una potencia de 400 W
- Con dimensiones de 12,5 x 130 mm, suministran una potencia de 500 W

Esta diferencia de dimensiones permite poder acomodar las resistencias en función de espacio geométrico.

Con los datos anteriores se procede a hacer el cálculo de la distribución de potencia en cada unidad de volumen y en cada unidad de superficie.

Análisis térmico por software de elementos finitos

Para obtener una primera aproximación de la distribución de temperaturas en el molde de aluminio final se pretende discretizar el problema mencionado anteriormente, se realizará un estudio complejo usando un software de elementos finitos (FEA). Esta simulación requiere de un modelo geométrico del molde a analizar y de las variables físicas del entorno en las que se encuentre el molde en condiciones normales de funcionamiento. Estos dos requerimientos se obtuvieron a través de mediciones directas del molde y experimentación sobre condiciones de trabajo.

Con el mapa de temperaturas resultante se busca obtener una guía para conocer las sollicitaciones térmicas a las que se expone la plancha de foam. Es importante realizar ensayos térmicos sobre la estructura inicial del molde para conocer el comportamiento del foam durante el proceso de termoconformado.

Para la realización de este estudio se emplea el software ANSYS, el análisis se realizará partiendo del modelado de las piezas. En ANSYS se calcula la distribución de temperatura y relaciona cantidades térmicas en un sistema tales como distribución de temperatura, gradientes térmicos, flujos térmicos. La solución de elementos finitos calcula temperaturas nodales y luego usa estas temperaturas nodales para obtener otras cantidades térmicas.

Análisis térmico experimental por medio de termografías

Para la toma de datos experimentales se utiliza la cámara termográfica FLUKE Ti25, se recoge en ANEXO 4 su ficha técnica, que permite obtener la temperatura de una gran cantidad de puntos sobre la superficie, que es lo que se busca con este trabajo, conocer todo el patrón de temperaturas de la superficie de la placa y para varios instantes de tiempo.

La cámara se colocó a una distancia no menor de 10 cm, considerando una emisividad del molde de 0,95 y una temperatura ambiente de 22 °C.

En la cámara se fijó el rango de temperaturas de la paleta de colores con los que describirá a la imagen, quedando establecido como valor mínimo y como valor máximo -22°C y 357°C.



Ilustración 0-3.5.4-1. Cámara termográfica realizando termografía

La resistencia montada en el interior de la placa se conecta a la corriente eléctrica y se empieza a capturar imágenes en la superficie del molde, para lapsos de 15 minutos durante el tiempo que se considere dependiendo del modelo y de la talla del preformado a estudio.

Para el estudio térmico y la toma de termografías de los moldes, se sigue el siguiente procedimiento. Se realizan termografías sobre:

- Moldes del modelo 1413 talla 105, fabricados a partir de tocho.
- Moldes del modelo 1413 para talla 90, fabricados a por fundición.
- Moldes del modelo 1560 talla 100 y 110, fabricados a partir de tocho.

Se seleccionaron estos tres tipos de moldes, por su representatividad de:

Moldes para modelos 1413 y modelos 1560.

Se seleccionan dos moldes para el modelo 1413, se estudiará un ejemplo del molde realizado por fundición y un caso para el molde fabricado a partir de tocho. De esta manera se pretende extraer una conclusión del comportamiento térmico del molde frente a diferentes tipos de fabricación.

Uso del modelo 1413 para la talla 105, por ser un molde con gran copa y con diferencia de espesores en el prehormado final que es calentado por medio de resistencias.

Para los modelos 1560, se seleccionará la talla 100 por corresponderse con un calentamiento mediante postizos en los que se alojan dos resistencias.

Y la talla 110 por ser un modelo de gran capacidad de copa calentado por medio de resistencias alojadas en el propio molde (macho y hembra).

3.5.4.1. Estudio térmico para talla 105 modelo 1413

Se selecciona la talla 105 del modelo 1413, porque entre todas las tallas de las que se desarrolló el modelo push-up, ésta se corresponde con el prehormado de mayor volumen, por lo tanto más crítico para realizar el seguimiento en el proceso de termoconformado.

Una vez desarrollados estos pasos previos a la obtención del molde final, se va a realizar el estudio del comportamiento térmico para la talla 105 de este modelo en concreto.

Se decide emplear resistencias de inducción para el calentamiento del molde, se barajaron distintas combinaciones posibles para obtener el calentamiento más rápido y uniforme posible, más detallado en el apartado 3.3.2.

Disposición de las resistencias para el modelo 1413 y talla 105

Para el molde macho, se sitúan dos resistencias distanciadas entre si a 110 mm y a 105 mm del extremo del eje transversal. Están situadas en el eje longitudinal del molde, por lo tanto centradas con respecto al mismo.

El diámetro de las cavidades en las que se insertan las resistencias de inducción es de 14,7 mm.

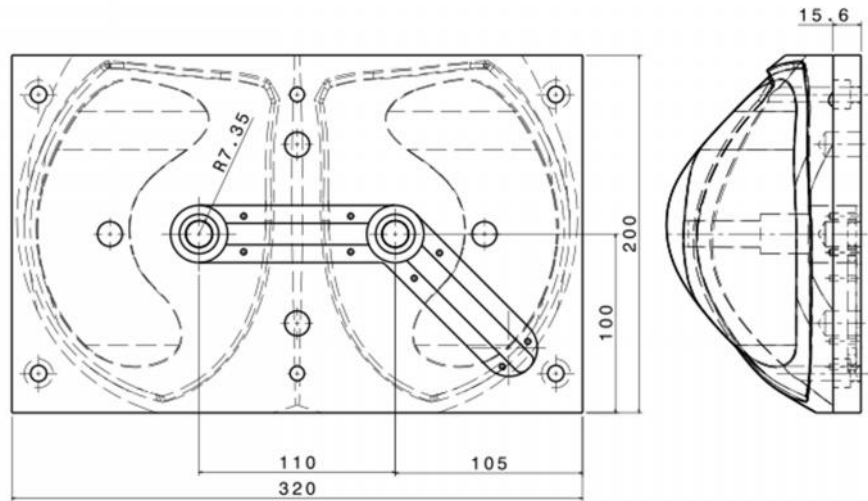


Ilustración 3.5.4.1-1. Posicionamiento de las resistencias en el molde macho más significativas

Se decidió disponer las resistencias en posición vertical, ya que se consigue así un calentamiento más uniforme en el molde macho. Las dimensiones de éstas 12,5mm x 70mm son adecuadas a las cavidades internas.

Con respecto a la posición de las resistencias en el molde hembra, se disponen de tres resistencias en posición horizontal con separación entre si de 125mm. La distancia entre las resistencias más exteriores y el lateral del molde es de 35 mm. Con respecto a la distancia existente entre la cavidad de la resistencia y el extremo superior del molde hembra, donde se realizará el contacto con el molde macho es de 86 mm.

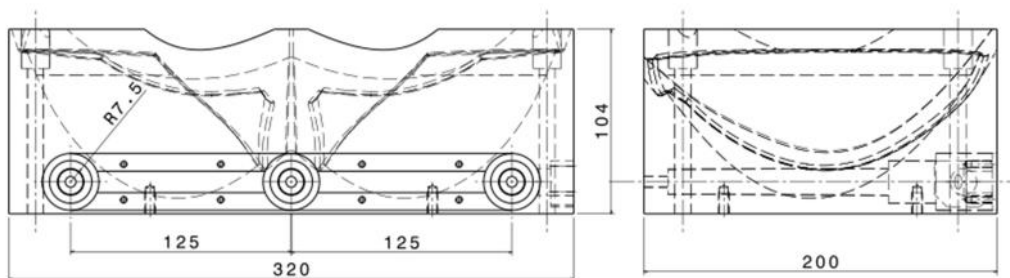


Ilustración 3.5.4.1-2. Posicionamiento de las resistencias en el molde hembra más significativas

Se considera así realizar un calentamiento por 2 resistencias situadas en posición vertical generando 400 W cada una y 3 resistencias en posición horizontal generando 500 W cada una. Por lo tanto, para el calentamiento del molde se generan 2300 W, si a este valor se le restan las pérdidas por radiación y por convección que se consideran iguales a 338,44 W, se obtiene un calor neto que se transmitirá por conducción de las resistencias al molde y de este a la plancha de foam de **1961,56 W**.

Análisis térmico por elementos finitos para el molde hembra- molde macho del modelo 1413 de la talla 105

El análisis se realiza de forma individual para las dos cavidades del molde. Los dos estudios se realizan como análisis transitorio para temperatura inicial de 22 °C con un flujo de calor de 400 W para las dos resistencias situadas en el molde macho y de 500 W para las tres resistencias situadas en el molde hembra.

Se pretende conocer cómo la concentración de temperatura afecta a la geometría de la pieza para asegurar una correcta distribución del calor, se busca con ello evitar dilataciones posteriores o concentración de tensiones en el preformado. También se podrá reubicar las resistencias para asegurar la correcta distribución del calor, especialmente en zonas donde exista mayor concentración de masa. El informe completo de Análisis Finitos se encuentra en el ANEXO 5

Para la realización del cálculo térmico por elementos finitos, se toma en especial consideración la transmisión de calor por convección natural. Considerando que el molde de aluminio se encontrará en el proceso de calentamiento a mayor temperatura que el aire que lo rodea, causando un movimiento llamado corriente de convección natural. Esta circulación se debe a la diferencia de densidades, producto del gradiente de temperaturas del fluido en contacto con el sólido.

Se distinguirá la convección que se producirá entre las paredes del molde y el ambiente y por otro lado la convección de la propia huella del molde macho y del molde hembra (notable en el proceso de cierre del molde para producir el termoconformado).

Partiendo de esta teoría se realizó el cálculo del coeficiente de transferencia de calor h , el cual es un factor que acompañado de un diferencial de temperaturas y un área superficial expuesta a este gradiente de temperaturas, determinan la transferencia de calor, para este caso de forma natural con el medio ambiente, es decir la cantidad de calor que los moldes para el caso práctico pierden hacia el medio ambiente.

De la realización de los ensayos se obtiene la distribución de temperaturas en el molde macho que se muestra a continuación:

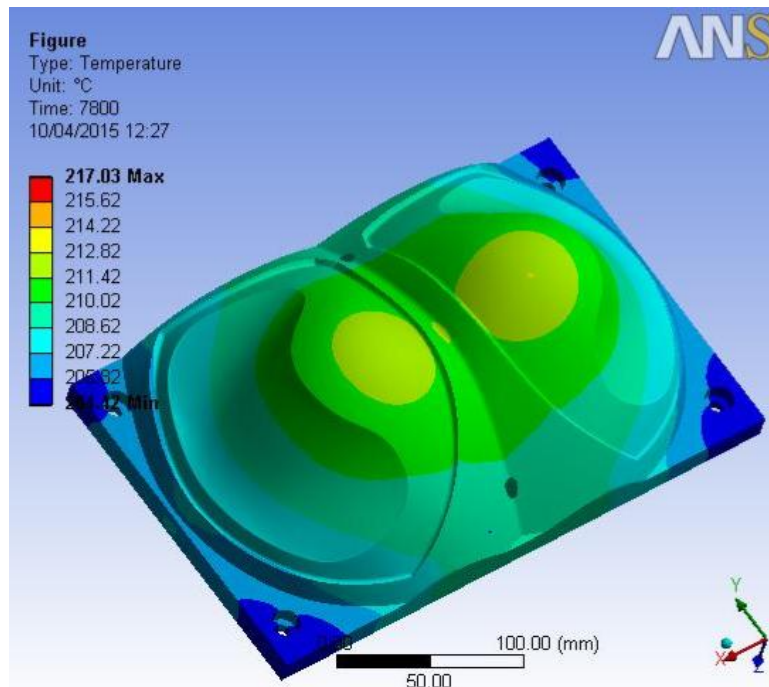


Ilustración 3.5.4-3. Ensayo FEA molde macho para talla 105 modelo 1413

En la superficie que entrará en contacto con la plancha de foam, la temperatura máxima que se alcanza es de 214°C. La temperatura más elevada que se registrará en el molde macho, se encuentra en las cavidades donde se sitúan las resistencias (alcanzando temperaturas superiores a 217°C).

El tiempo que se estipula para que el molde alcance estas temperaturas es de 7800 s. Esta selección se debe a ensayos de elementos finitos en los que se fue modificando tiempos sucesivos para conseguir la distribución de temperaturas que ofrezca las condiciones necesarias para prehormar.

De los resultados obtenidos se puede concluir que la concentración de temperaturas en el molde macho se produce en las zonas donde el espesor de foam es más reducido. Zonas coincidentes con las más próximas a las resistencias.

Se comprueba así, la importancia de una correcta ubicación de las resistencias, para que las temperaturas registradas en todo el molde se correspondan al menos con la temperatura mínima que debe registrarse.

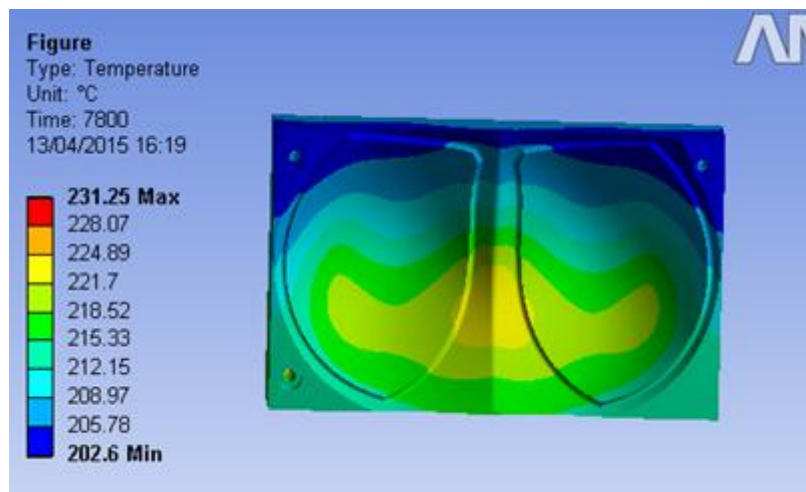


Ilustración 3.5.4-4. Ensayo FEA molde hembra para talla 105 modelo 1413

Con respecto al molde hembra, ilustración 4.4.1-2, la concentración de temperaturas se produce en una zona poco significativa para el prehormado de foam ya que será recortada posteriormente.

A continuación se muestran las gráficas de evolución de la temperatura durante los 7800 s que dura la simulación.

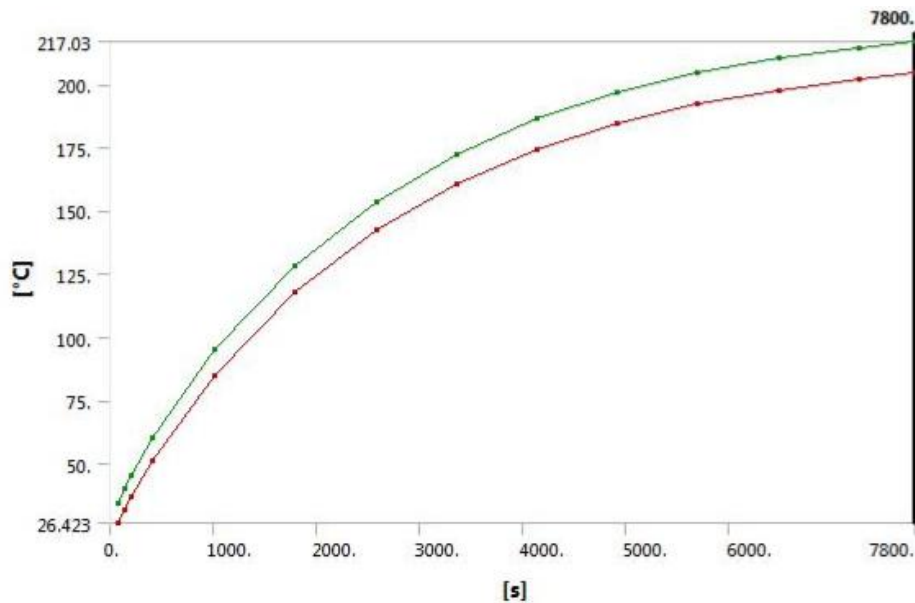


Ilustración 3.5.4-5. Evolución temperatura mínima y máxima en el tiempo

El ensayo de elementos finitos, permitió reducir la realización de prototipos físicos (con el consecuente ahorro) ya que se trata de corregir errores en la fase de diseño 3D.

Verificación térmica experimental para el molde macho-molde hembra para el modelo 1413 de la talla 105

Una vez realizada una primera aproximación para conocer las temperaturas en el molde por medio del método de elementos finitos, se procede a realizar los primeros preformados en las máquinas de termoconformado y mediante termografías se procede a la comprobación de la distribución de temperaturas.

Para realizar este estudio, se inicia el proceso con la toma de termografías con el molde apagado hasta que alcanza la temperatura óptima de termoconformado.

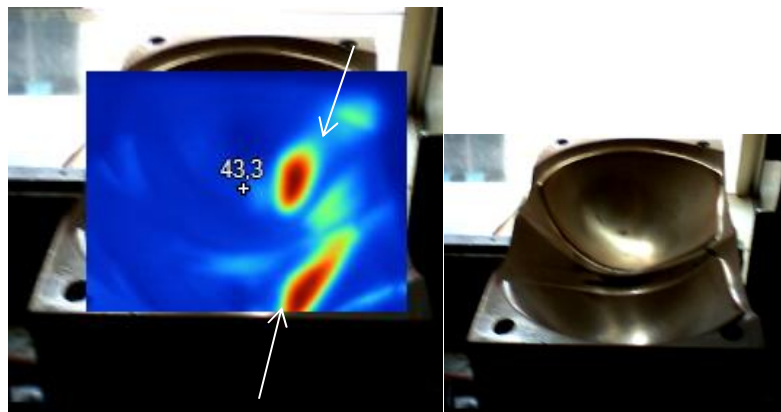
El procedimiento que se decide seguir es la toma de termografías desde un estado de molde apagado, en intervalos de 10 minutos y se verifica que el calentamiento óptimo para comenzar las termografías se obtiene transcurridos 160 minutos, correspondientes a los 7800 s que fueron predichos en los ensayos en ANSYS.

Resulta importante destacar que las termografías se realizan con el molde instalado en la máquina de termoconformado. Se busca obtener unas termografías lo más ajustadas al molde, sin embargo, en ocasiones se termografían zonas contiguas al molde o pertenecientes a la bancada de la máquina de termoconformado, que consecuentemente varían la temperatura mínima (haciéndola descender, notablemente). Es por lo tanto necesario discriminar para la obtención de resultados estas circunstancias.

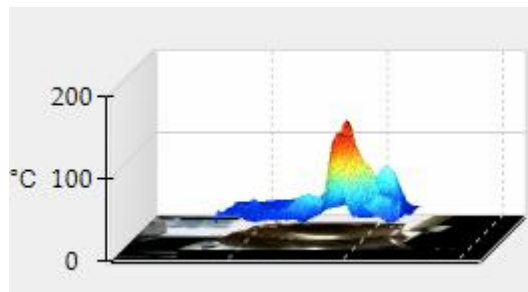
Termografía 1:

La primera termografía se toma transcurridos 10 minutos de calentamiento.

- Para molde hembra

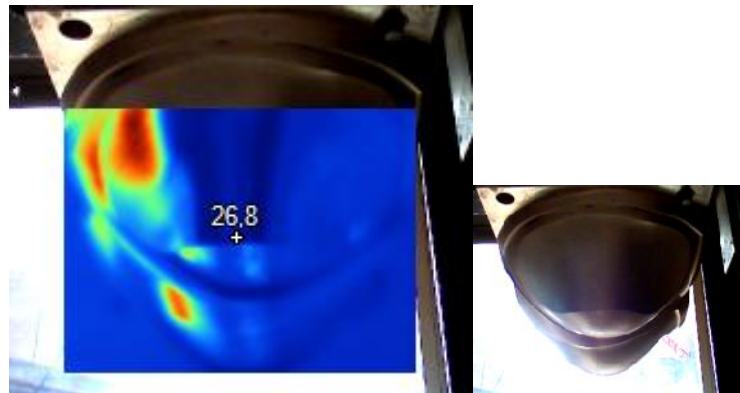


Obteniendo la siguiente distribución de temperaturas, el rango de temperaturas que se representa va desde 22,8°C a 141,6°C.

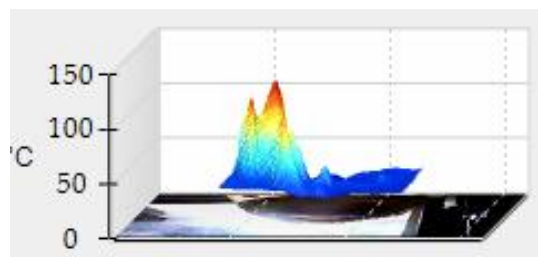


Se comprueba así que la temperatura más elevada se alcanza en la zona media del molde (al menos para los primeros 10 minutos de calentamiento)

- Para molde macho



Con un rango de temperaturas que van desde 21,7°C A 114 °C.



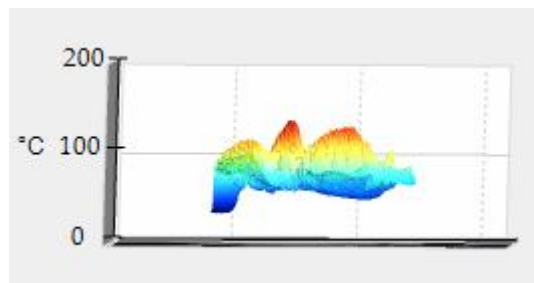
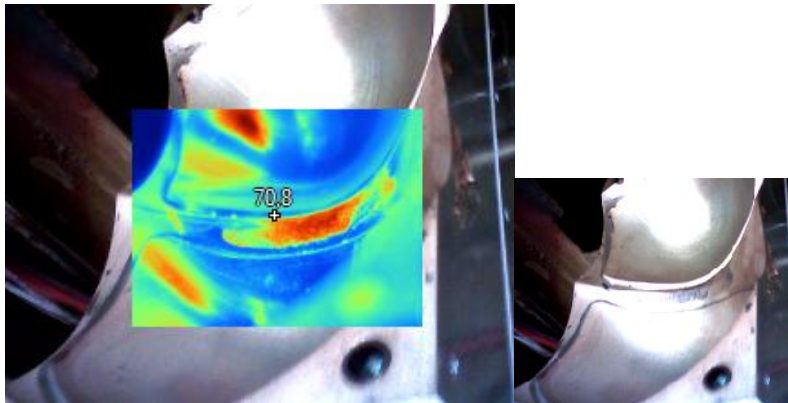
Dado que el análisis de la termografía inicial muestra que las zonas del molde donde se alcanzarán mayores temperaturas serán las centrales, se decide termografiar, dichas zonas en las siguientes termografías.

Termografía 2

Transcurridos 10 minutos se realiza la siguiente termografía, es decir 20 minutos después de encender la máquina de termoconformado.

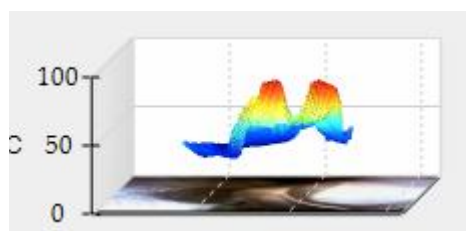
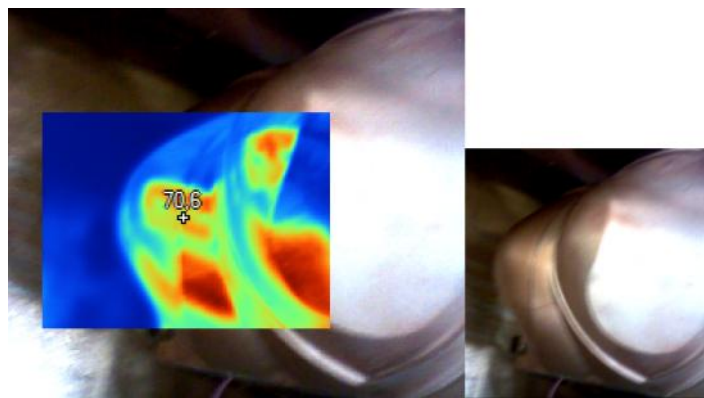
- Para molde hembra

El rango de temperaturas que se alcanza en la imagen va de 31,3 °C a 136,1 °C.



- Para molde macho

La temperatura máxima que se alcanza es de 89,2 y la menor es de 29,3 °C

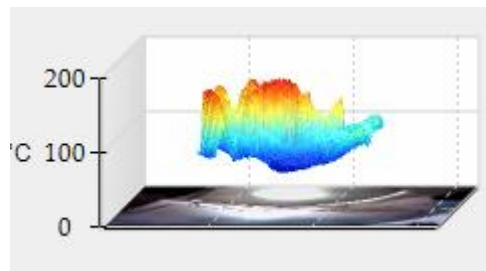
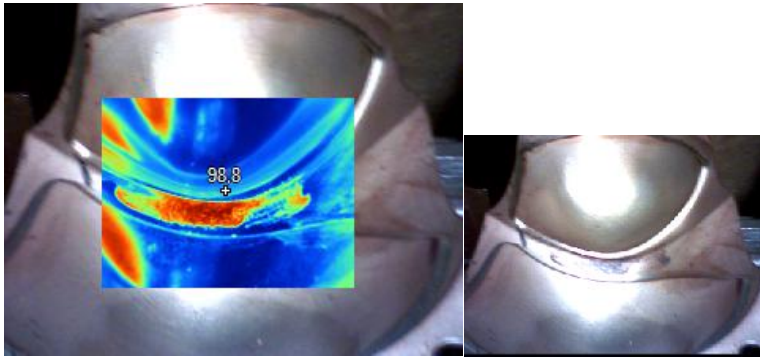




Termografía 3

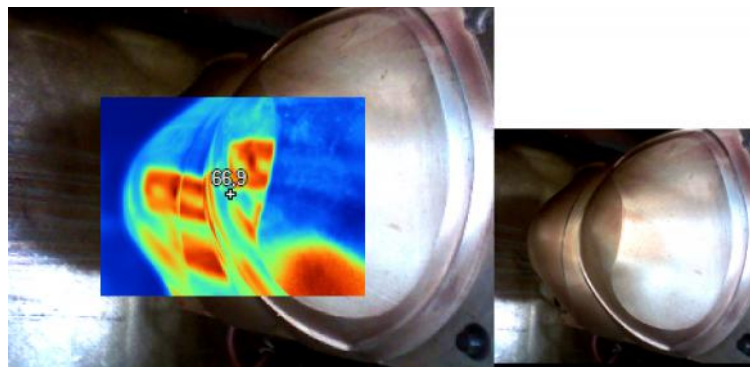
- Para molde hembra

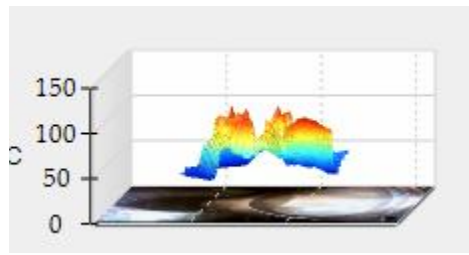
El rango de temperaturas que es registrado va desde 56°C a 177°C.



- Para molde macho

La temperatura menor registrada es de 32,5 °C y la temperatura mayor es de 108,7°C.

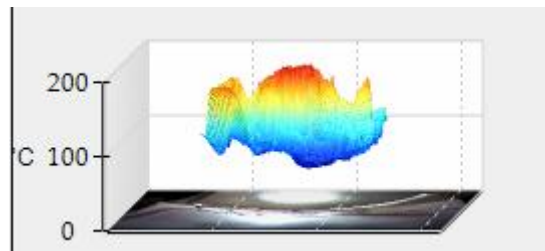
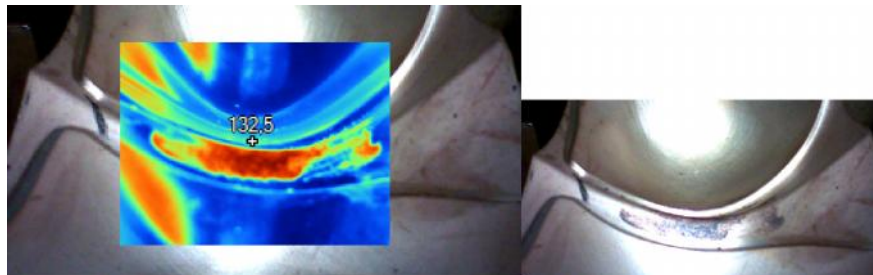




Termografía 4

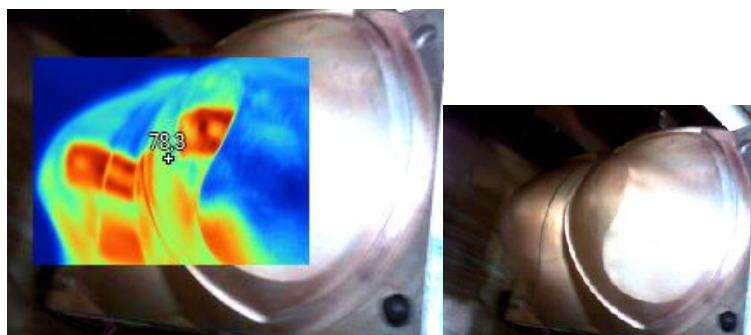
- Para molde hembra

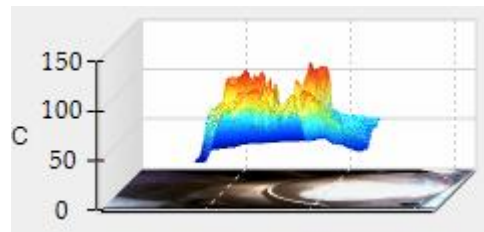
Si termografiamos la parte central del molde de termoconformado, el rango de temperaturas que comprende va de 68,9 °C a 199,9°C



- Para molde macho

El rango de temperatura es de 35,6 °C, para la temperatura mínima registrada y de 121,1 °C para la temperatura máxima registrada.

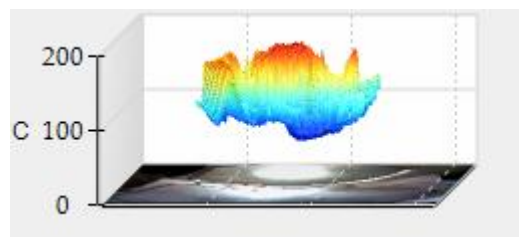
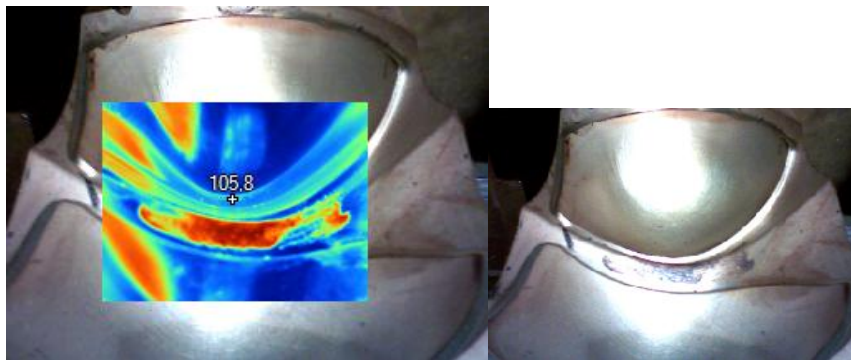




Termografía 5

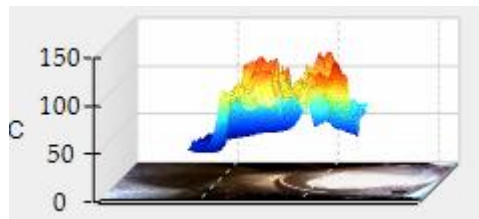
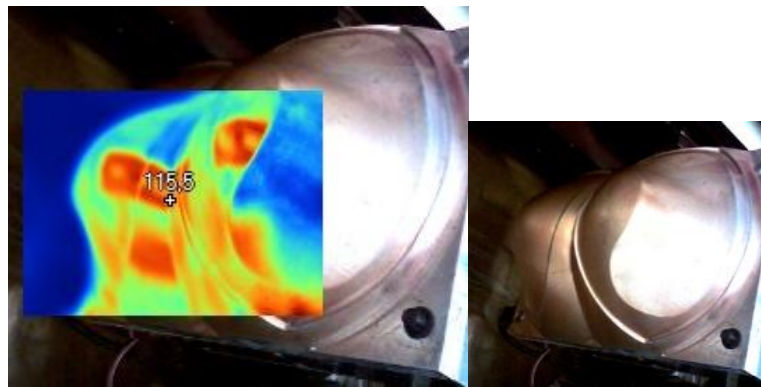
- Para molde hembra

El rango de temperaturas que es registrado va de 69,1 °C A 196,3 °C, la temperatura máxima registrada.



- Para molde macho

El rango de temperaturas que se alcanza en el molde es de 38,3 °C a 136,4 °C

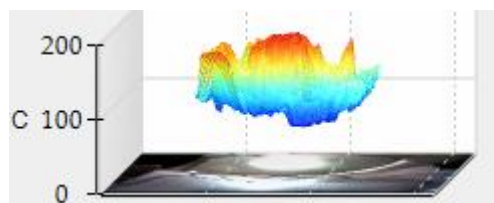
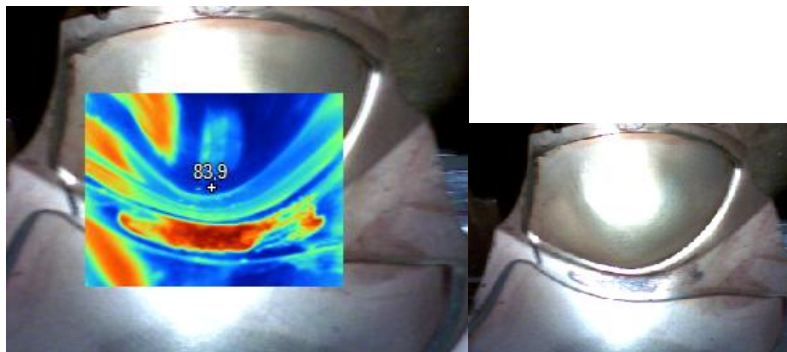


Termografía 6

Transcurridos 60 minutos de calentamiento de molde, se realizan las siguientes termografías:

- Para molde hembra

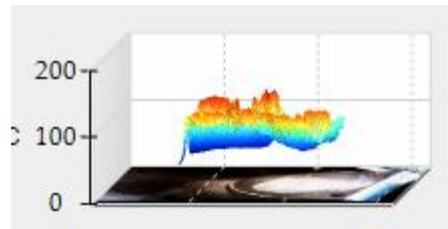
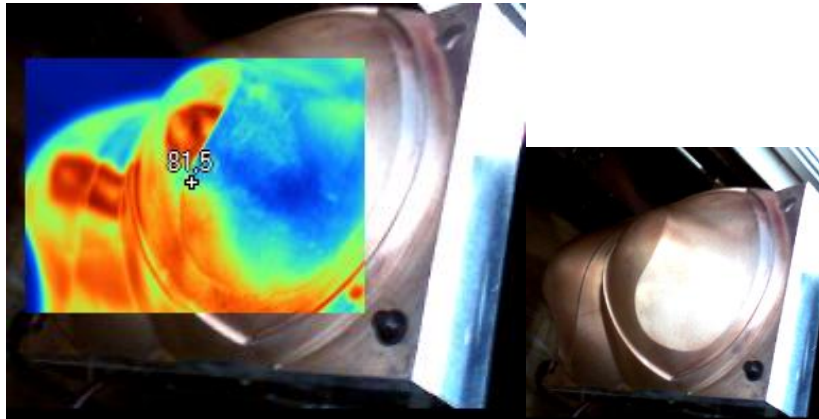
El rango de temperaturas que se alcanza es de 70,2°C A 196,5 °C



- Para molde macho



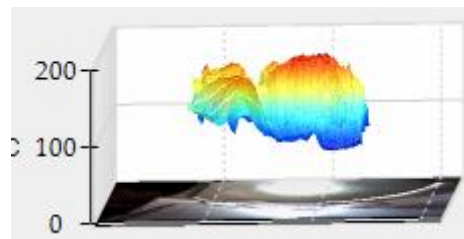
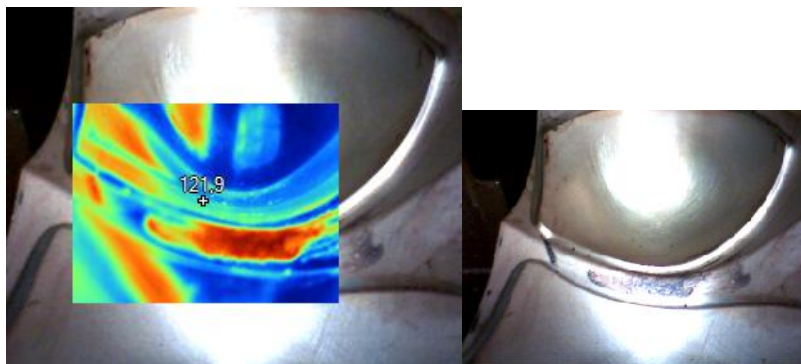
El rango de temperaturas es de 41°C A 137,7 °C



Termografía 7

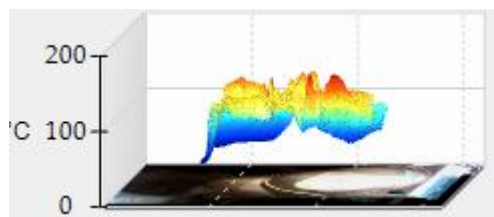
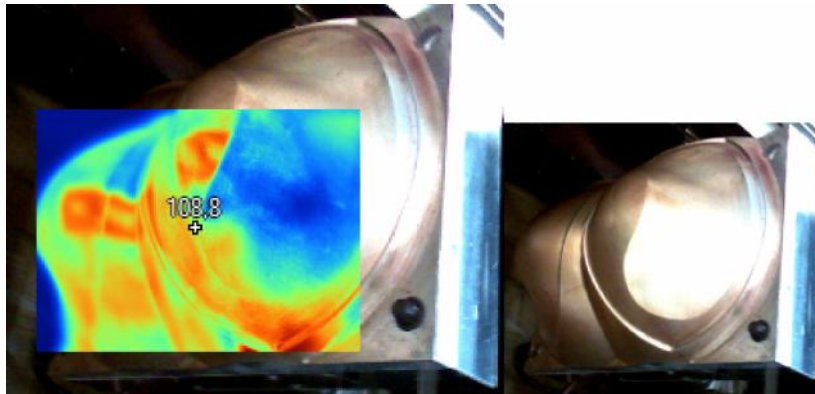
- Para molde hembra

El rango de temperaturas es de 73,8 °C a 196,9°C



- Para molde macho

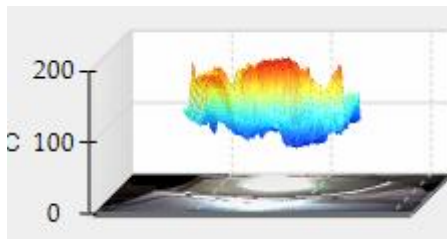
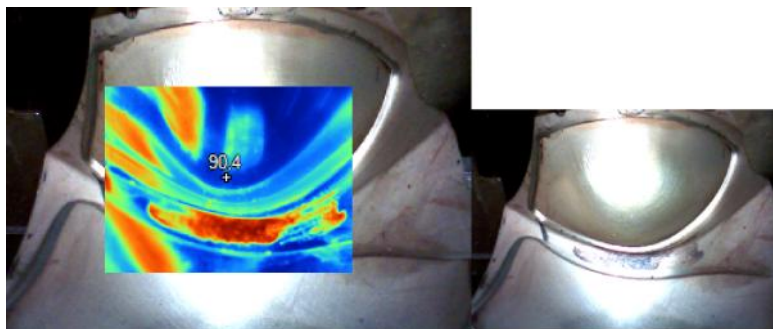
La temperatura que se alcanza se encuentra en un rango de 41,8 °C a 161,8 °C



Termografía 8

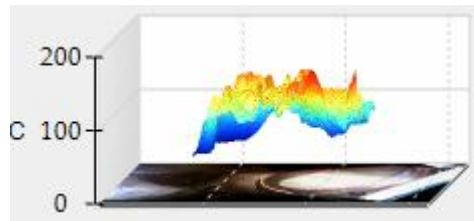
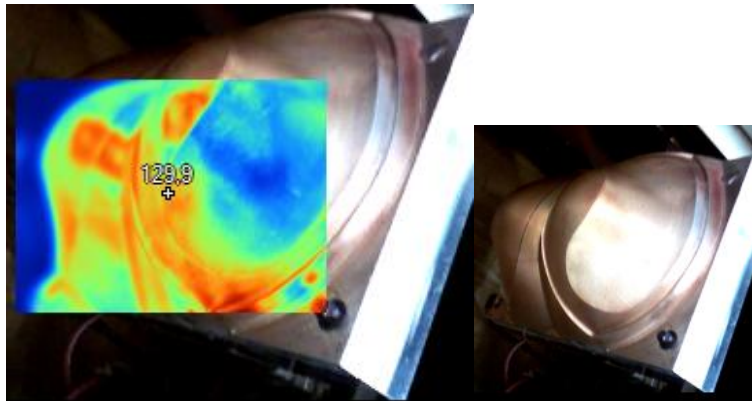
-Para el molde hembra

El rango de temperaturas que se registra es de 71,8 °C a 198,4 °C



-Para el molde macho

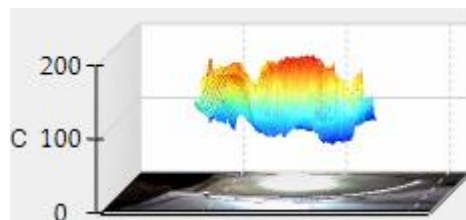
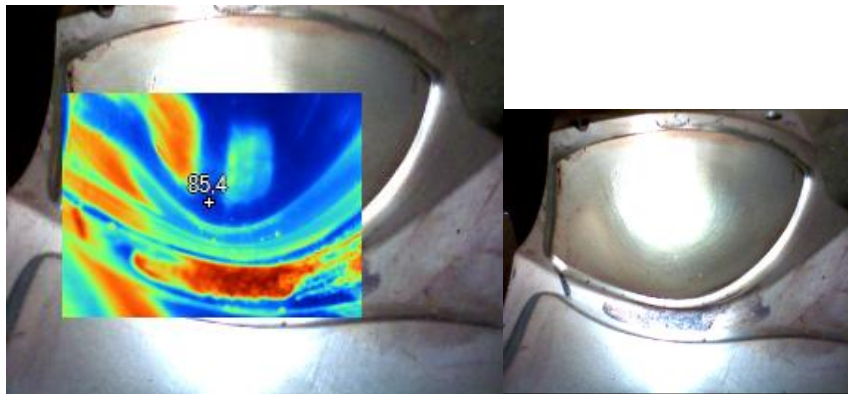
El rango de temperaturas que se obtiene está en un rango de 44°C a 169°C



Termografía 9

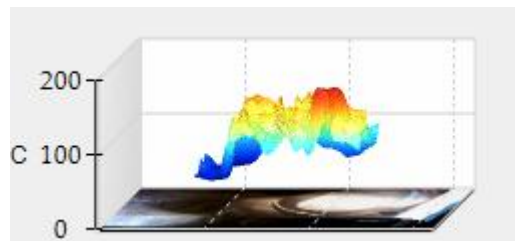
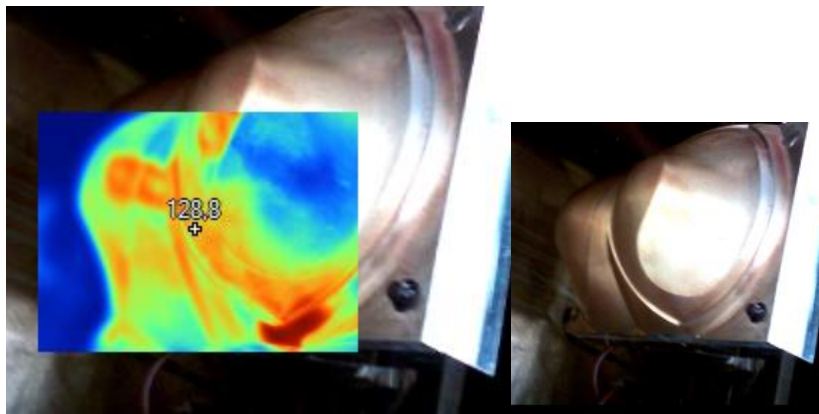
- Para molde hembra

El rango de temperaturas que se registra es de 71,2°C a 195,7°C



- Para molde macho

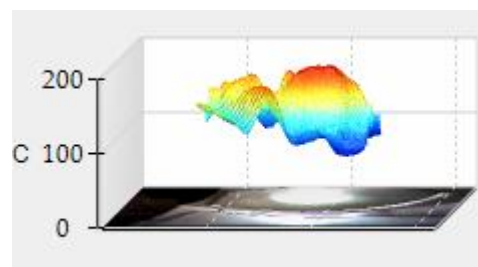
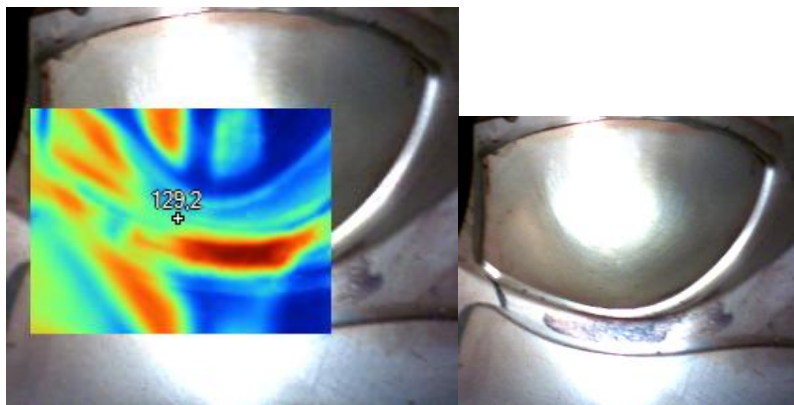
El rango de temperaturas que se registran es de 42°C a 176 °C



Termografía 10

- Para molde hembra

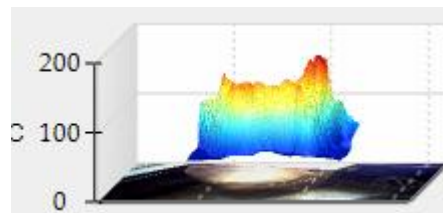
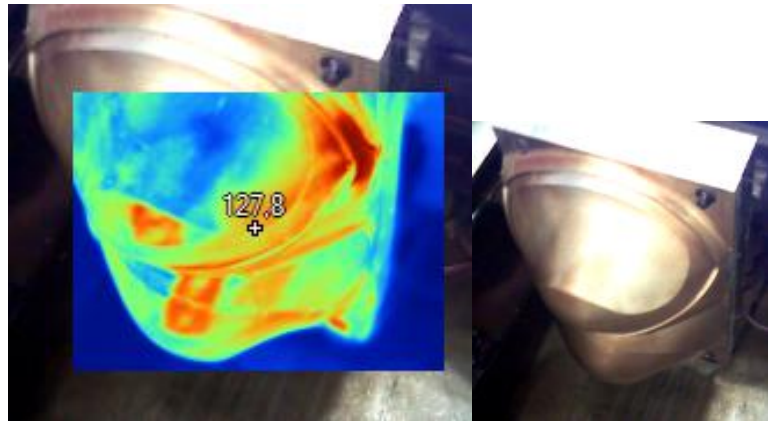
El rango de temperaturas que se registran abarca 76,9°C a 195,6°C





- Para molde macho

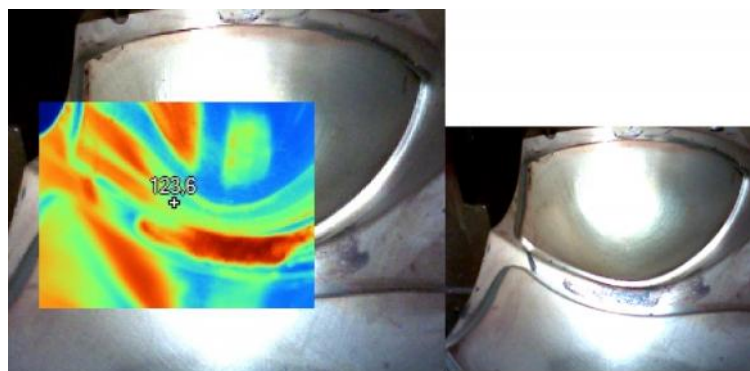
El rango de temperaturas que se registra es de 42,2 °C a 175,1 °C

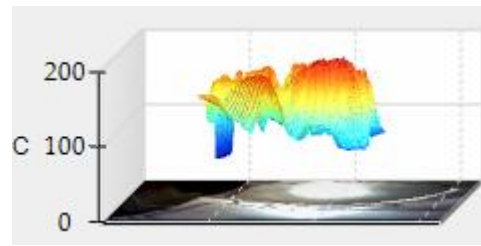


Termografía 11

- Para molde hembra

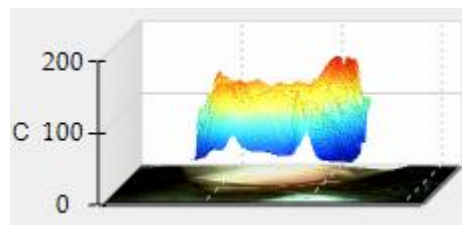
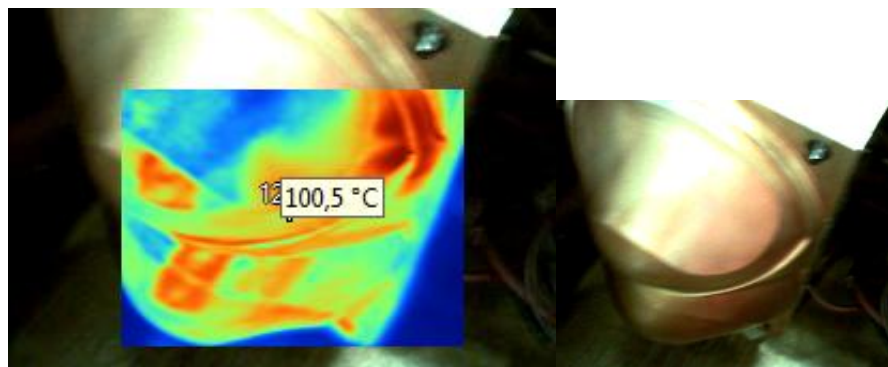
El rango de temperaturas que se alcanza es de 77,1°C a 197,1°C





- Para molde macho

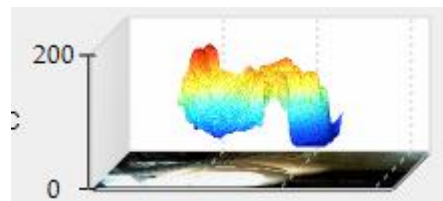
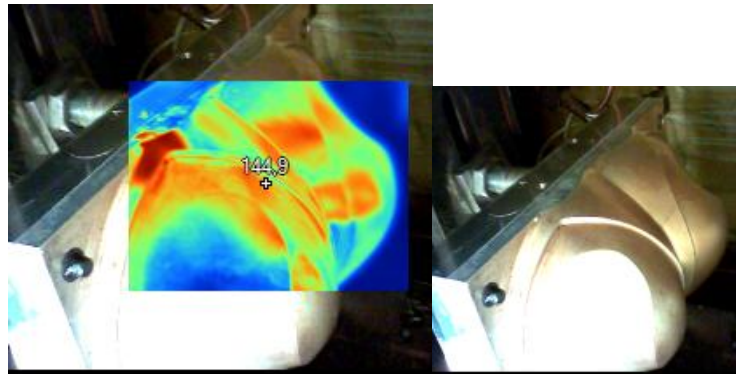
El rango de temperaturas que se registra va desde 42,6 °C a 172,8 °C



Termografía 12

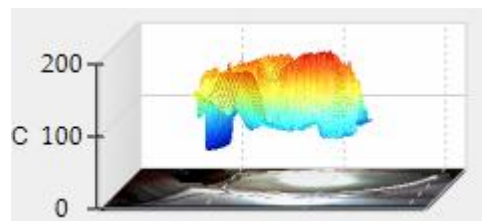
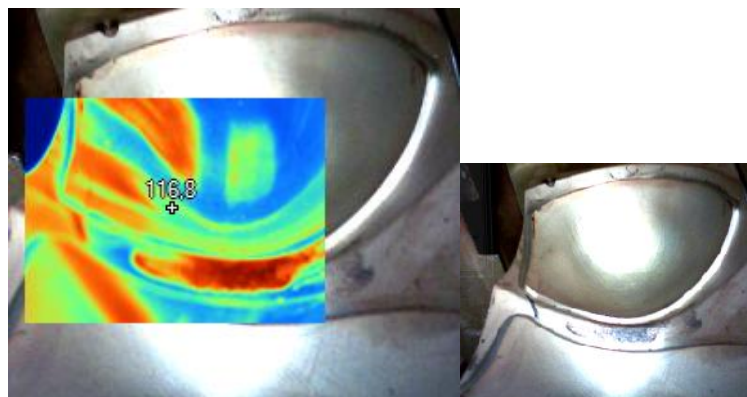
- Para molde macho

El rango de temperaturas es de 76,6 °C a 197,7 °C



- Para molde hembra

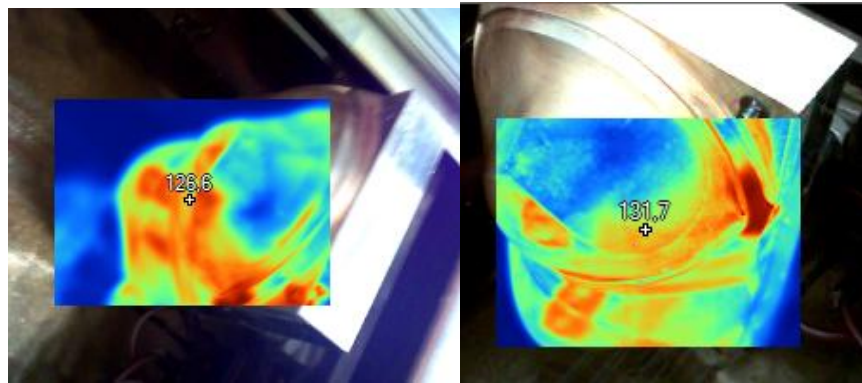
El rango de temperaturas que se observan es de 46,6 °C a 198,1 °C



Termografía 13

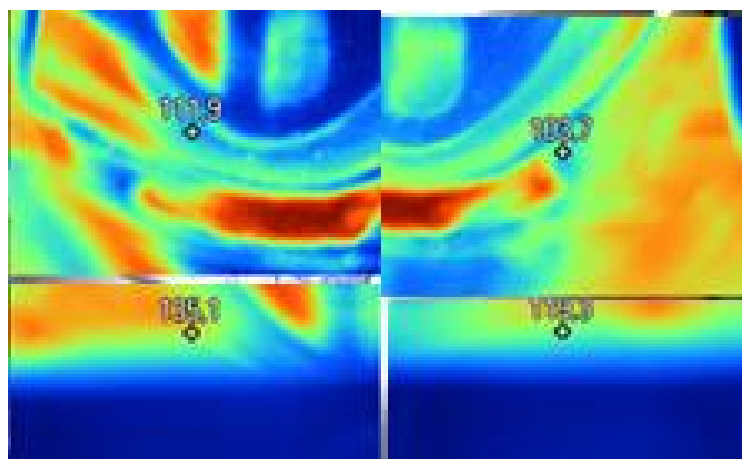
Esta termografía se corresponde con el fin del proceso de calentamiento, ya que se alcanza la temperatura óptima para comenzar el preformado de foam, transcurridos los 7800 s.

Las correspondientes termografías para el molde macho, se muestran en esta imagen desde los dos perfiles longitudinales del molde. El rango de temperaturas que se alcanza para el molde es de 45,7 °C a 182°C.



Si se realiza Una reconstrucción de las distribuciones de temperaturas en el punto óptimo, se comprueba que la zona central es la zona es la que mayor registro de temperatura se alcanza.

La distribución de temperaturas oscila de 53,9 °C a 197 °C, el punto con mayor temperatura registrada.



En la reconstrucción superior se observa para cada cuadrante una temperatura que se define como temperatura de promedio. No es una temperatura relevante para

nuestro estudio porque en la termografía realizada se tiene en cuenta zonas del molde que no intervienen directamente en el termoconformado de foam.

Pero esta reconstrucción, permite obtener una orientación de las temperaturas que se registran.

Si se aúnan los datos de las temperaturas registradas en la toma de datos experimental, con respecto al tiempo para la zona central de los moldes, tanto para molde macho como para molde hembra:

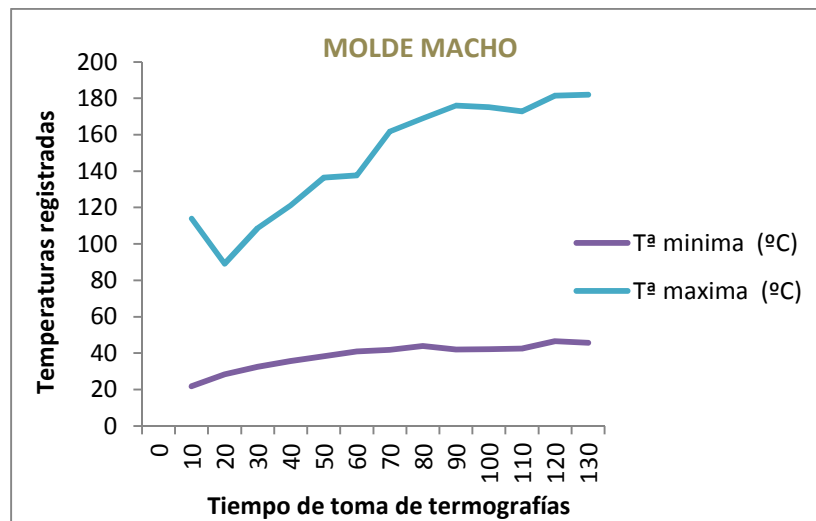


Ilustración 3.5.4.1-6. Gráfico de temperaturas máxima/mínima para molde macho_talla 105_molde 1413

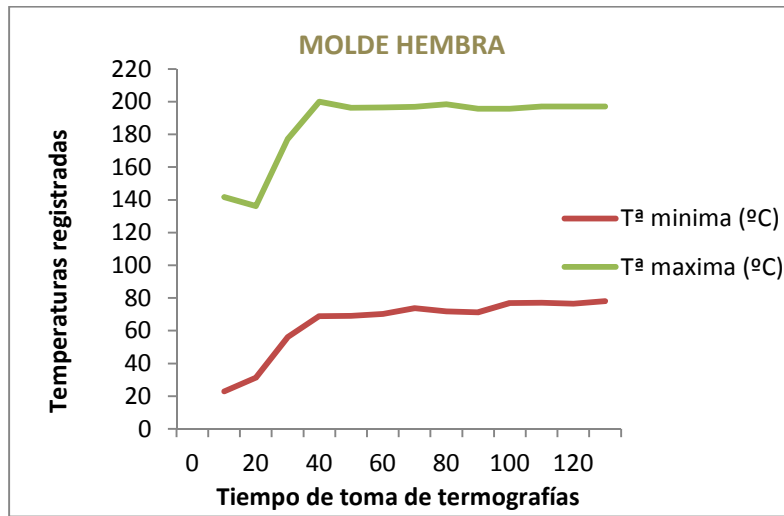


Ilustración 3.5.4.1-7. Gráfico de temperaturas máxima/mínima para molde hembra_talla 105_molde 1413

Estos gráficos muestran como las temperaturas del molde macho se incrementan de forma progresiva durante el tiempo de preparación del molde, concretamente, para las temperaturas máximas registradas que son las que afectarán más directamente al proceso de termoconformado. Se observa también la existencia de caídas de temperatura que son debidas a que el molde de la talla 105 del modelo 1413 está compartiendo máquina de termoconformado con otro molde que está en temperatura óptima y que está termoconformando planchas de foam, de forma que cuando este molde se eleva para retirar el prehormado, el molde que nos ocupa talla 105 modelo 1413 se eleva también. Cuando estos periodos de tiempo son breves, no existe un descenso significativo en su temperatura, pero si este tiempo se prolonga la temperatura desciende considerablemente, sin importancia en el resultado final pero que prolonga el tiempo de calentamiento del molde para conseguir la temperatura óptima de proceso.

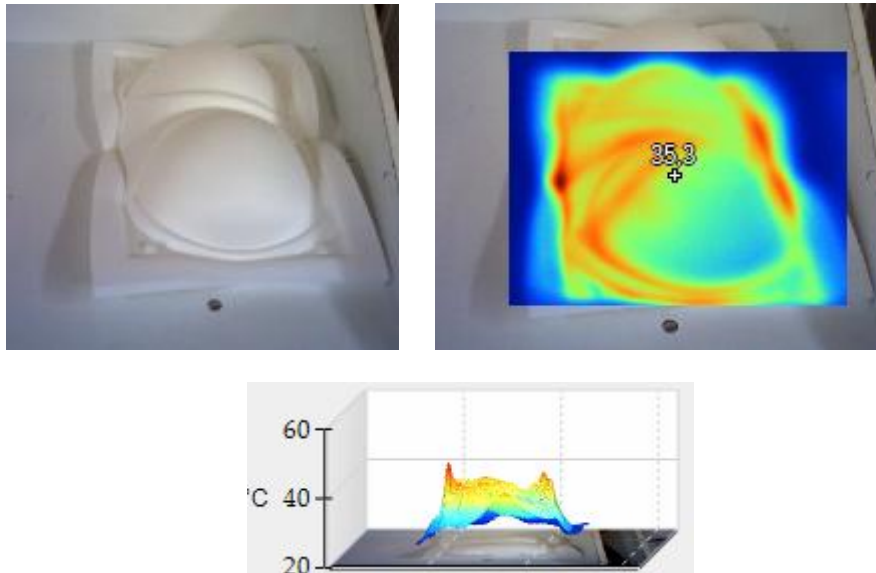
Es también significativa la curva de temperatura máxima para el molde hembra, los primeros 50 minutos se obtiene un calentamiento rápido hasta llegar a los 200°C. En este punto la temperatura máxima registrada se mantiene prácticamente uniforme.

La explicación de que la temperatura óptima del molde macho se obtenga con mayor rapidez es debida a que el volumen que debe calentarse es menor que el volumen que se debe calentar para obtener la temperatura óptima del molde macho.

ESTUDIO DE TEMPERATURAS EN EL PREHORMADO

Una vez conocidas y correlacionadas las temperaturas que registran los moldes de termoconformado, se debe conocer la distribución de temperaturas que se obtendrá en el prehormado de foam, ya que estas temperaturas condicionaran la velocidad de enfriamiento y por lo tanto la posible aparición de contracciones o dilataciones en el foam, que si se hacen muy notables podrían hacer que el prehormado no fuese válido.

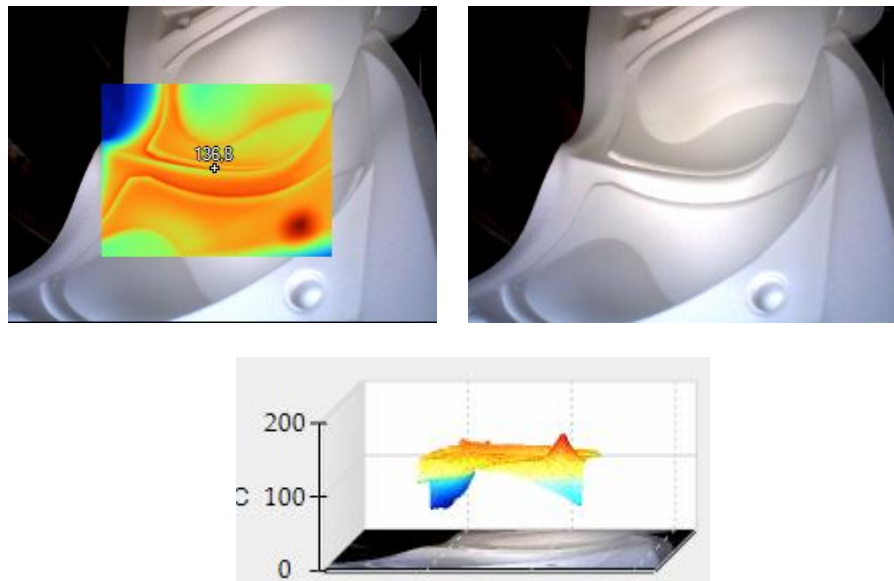
Si nos ocupamos de las temperaturas registradas en el foam una vez que ha sido termoconformado, se obtienen las siguientes termografías:



Como se comprueba con el registro de temperaturas de esta termografías, en la parte exterior del prehormado la temperatura no supera los 60 °C.

A continuación, se va a realizar una termografía de la parte interior del prehormado.

El rango de temperaturas que se alcanza en el prehormado se encuentra en un rango que va desde 45°C a 167 °C.



Las temperaturas registradas en esta termografía, son considerablemente superiores, especialmente en las zonas en las que el espesor del foam se reduce (es decir no se incluyen los push, porque en estas zonas el espesor se mantiene constante).

Con esta termografía se puede concluir que se deben tomar medidas a la hora de extraer el prehormado de la máquina de termoconformado, ya que sale a elevadas temperaturas y requiere de un tiempo que se evaluó en el apartado 3.4.2., para enfriar y que no se produzcan deformaciones.

3.5.4.2. Estudio térmico para talla 100 modelo 1560

Se elige la talla 100 del modelo 1560, por la peculiaridad de que el calentamiento no se efectúa directamente por medio de resistencias ubicadas en el molde ni por placas. Si no que se dispone de placas (postizos) a ambos lados de los moldes y en estas placas se sitúan resistencias internas, con las mismas características que las resistencias descritas en el apartado 3.5.4.

La elección de esta técnica de generación de calor, es debida a que facilitan el calentamiento en una talla (que aunque con gran volumen) permite un calentamiento de este tipo, lo que reduce costes en el maquinado del molde de aluminio y posibilita la intercambiabilidad de estas placas, si fuese necesario.

Elementos de generación de calor o disposición de las resistencias

Como se explicó en el párrafo superior, para la generación de calor en el modelo 1560 de la talla 110, se emplean resistencias. Estas resistencias se colocan en los postizos. Se sitúan 2 resistencias en un postizo del molde hembra y 2 resistencias en un postizo del molde macho.

A continuación, se muestra una imagen de este dispositivo de calentamiento:

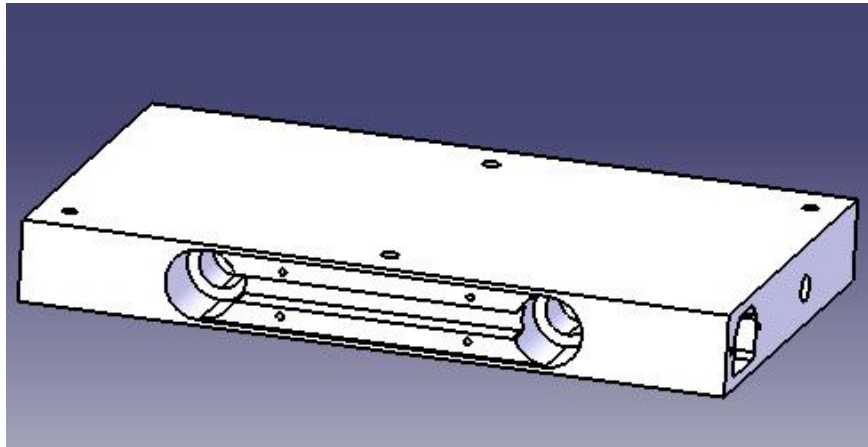


Ilustración 3.5.4.2-1. Imagen de un postizo para la talla 100

El conjunto de molde hembra y postizo se representa en la siguiente imagen:

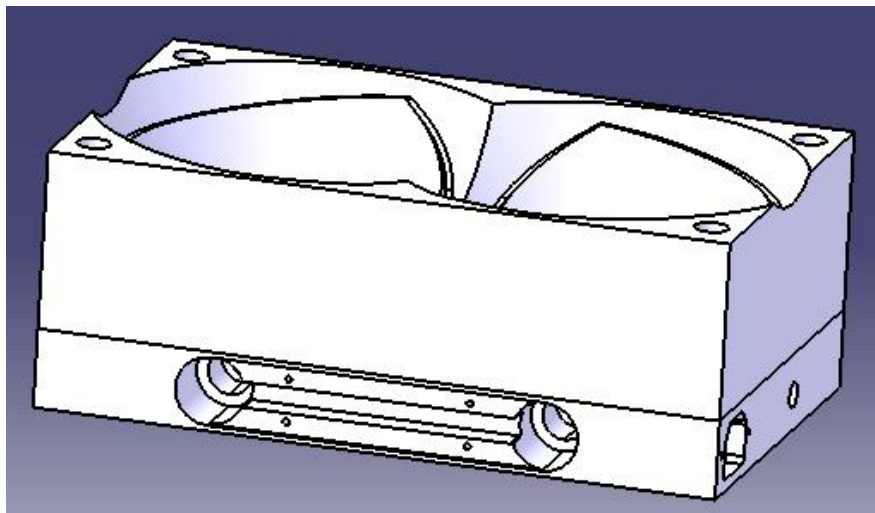


Ilustración 3.5.4.2-2. Imagen del molde y del postizo para la talla 100

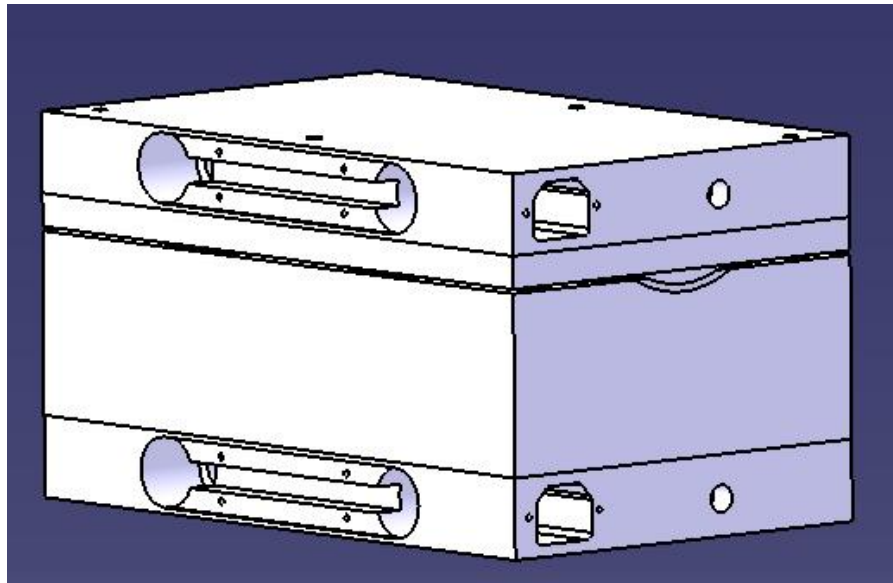
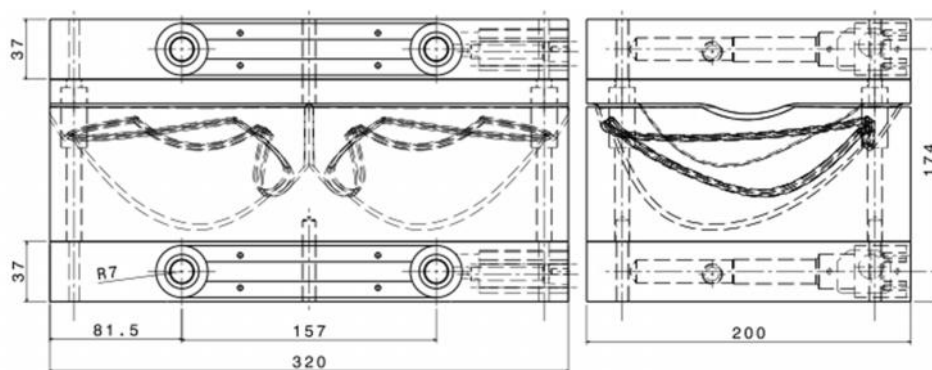


Ilustración 3.5.4.2-3. Imagen del molde final con los correspondientes postizos

En la imagen superior se puede ver que el calentamiento, aunque se realice por medio de resistencias, se realiza con un postizo que se anexa al propio molde. A continuación se indican las cotas de posicionamiento de los elementos generadores de calor.



Análisis térmico por elementos finitos para el molde hembra- molde macho del modelo 1560 de la talla 100

Se realiza un estudio por elementos finitos del molde hembra y del molde macho de la talla 100 del modelo 1560. Con este ensayo se busca predeterminar la distribución de temperaturas que se alcanzarán en ambos volúmenes y las tempe

Ilustración 3.5.4.3-4. Cotas principales del posicionamiento de los elementos generadores de calor.

Este ensayo ofrece también la perspectiva de realizar un calentamiento determinado por el calentamiento del molde mediante dos placas postizas en las que se incorporan dos resistencias en su interior. Se va a presuponer que la distribución térmica tendrá variaciones respecto a si el calentamiento sólo ocurriese por medio de resistencias.

Tanto para el molde macho como para el molde hembra, se le dará un tiempo de calentamiento de 6600s.

- Molde hembra

Para el molde hembra no se tendrán en cuenta las pérdidas por convección en la huella de las copas, si se considerarán para el resto de las superficies del molde. Más información, se encuentra en el ANEXO 6.

La distribución final que se obtiene para el molde hembra de la talla 100 transcurridos 6600s, es la siguiente:

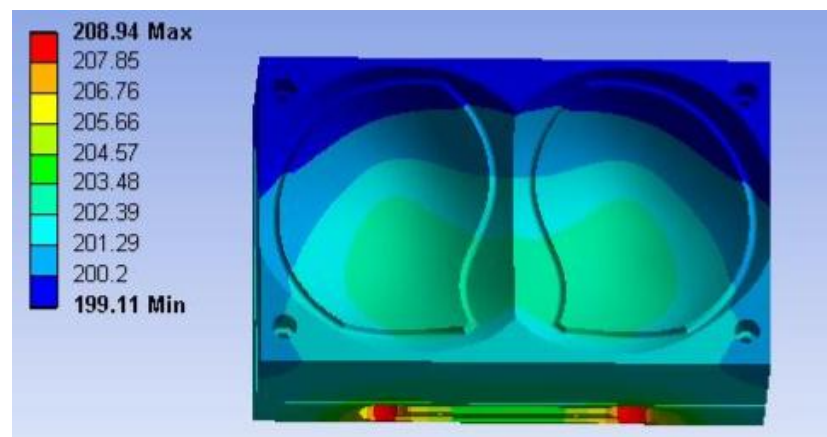


Ilustración 3.5.4.2-5. Imagen de la distribución de temperaturas del molde hembra

La temperatura máxima se alcanza en las zonas de las dos cavidades donde se alojan las resistencias, con temperaturas de 209°C. Como se puede comprobar en la siguiente imagen:

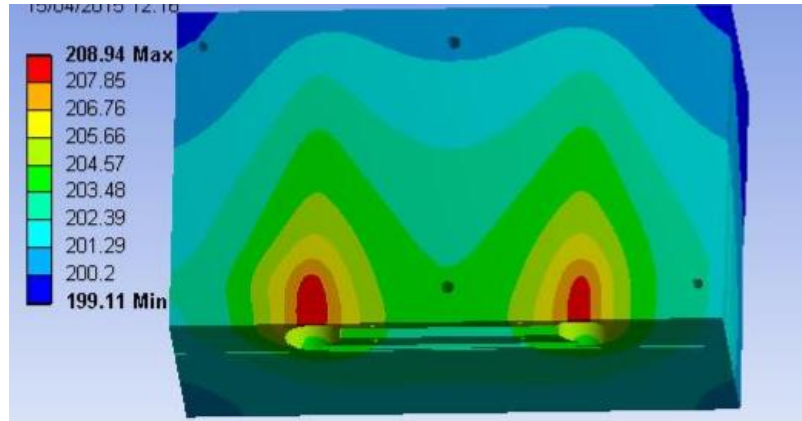


Ilustración 3.5.4.2-6. Imagen de la distribución de temperaturas del molde hembra (parte posterior)

La distribución térmica que se alcanza, se observa que describe superficies isotérmicas que van descendiendo conforme se alejan de la placa que aloja las resistencias.

Este calentamiento se puede considerar homogéneo para zonas que se sitúen en una cota de +/- 10 mm

La superficie que alcanzará más temperatura y que estará en contacto con la plancha de foam será de 204°C, según los estudios realizados en ANSYS para el molde hembra.

- Para el molde macho

Para los estudios que se realizan en el software de elementos finitos se considera una pequeña pérdida térmica por convección durante el proceso de bajada del molde macho para realizar el termoconformado. Este valor se consideró un 2% del total.

Los estudios realizados en elementos finitos muestran las siguientes distribuciones de temperatura:

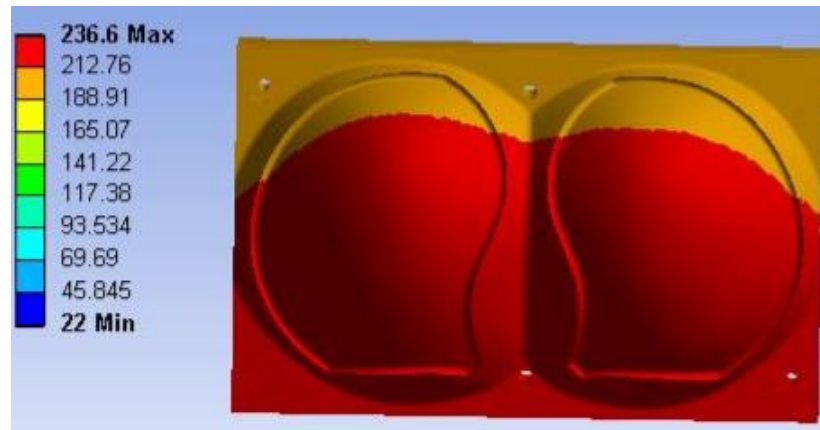


Ilustración 3.5.4.2-7. Imagen de la distribución de temperaturas del molde macho

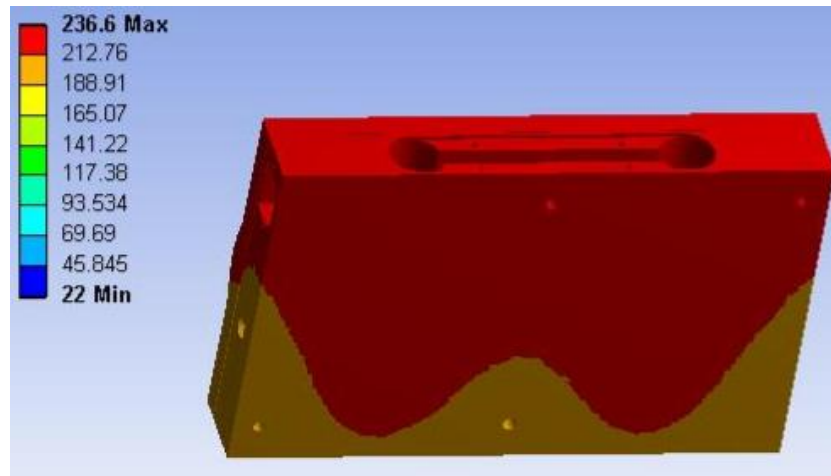


Ilustración 3.5.4.2-8. Imagen de la distribución de temperaturas del molde macho (parte posterior)

Se muestra, por lo tanto una distribución de temperaturas que se puede definir como homogénea en parte del volumen del molde macho. Alcanzando su máxima temperatura en 236,6°C. Esta distribución térmica se puede identificar con las zonas en las que se sitúan las dos resistencias. La homogeneidad obtenida es debido también a que se empleen placas (que albergan dos resistencias), el contacto con el molde no es directo.

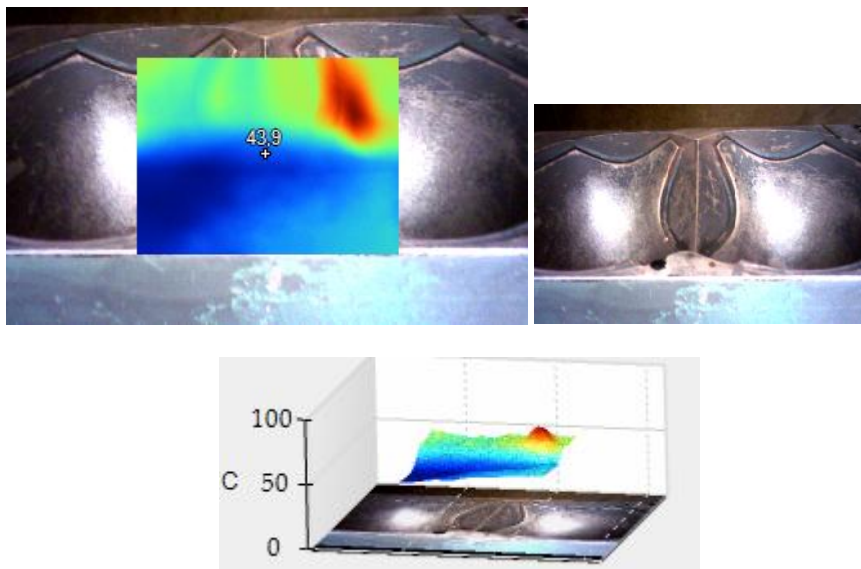
Verificación térmica experimental para el molde macho-molde hembra para el modelo 1560 de la talla 100

Para verificar que la predicción de distribución de temperaturas y tiempos realizada con el programa ANSYS es correcta, se procede a realizar verificaciones térmicas por medio de termografías en intervalos de 10 minutos, con la consideración que el molde está apagado a temperatura ambiente de 22°C que la primera termografía tomada se realizará a los 10 minutos y que la última cuando se considere que la temperatura es la óptima para obtener el prehormado.

Termografía 1

-Para molde hembra:

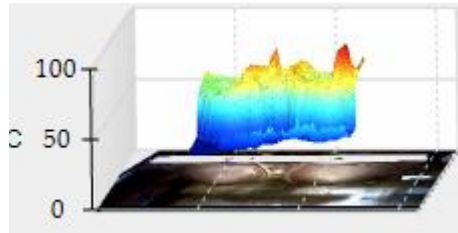
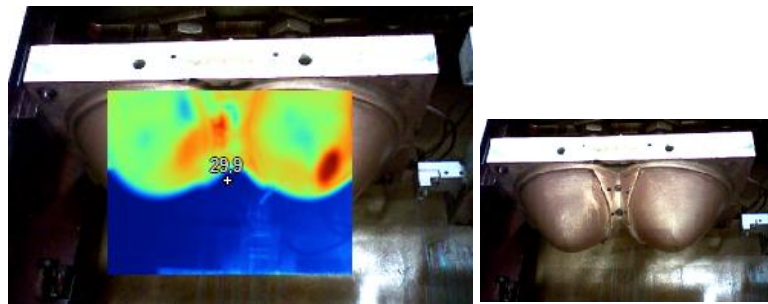
Se toma la primera termografía 10 minutos después de su encendido, obteniendo la siguiente distribución de temperaturas.



La temperatura máxima registrada en el molde es 68,3 °C y la temperatura mínima 38,8°C

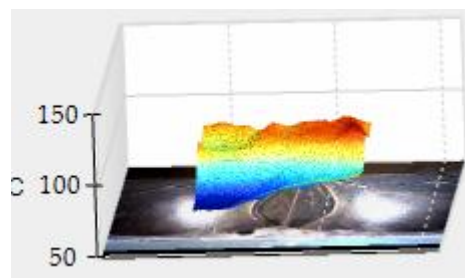
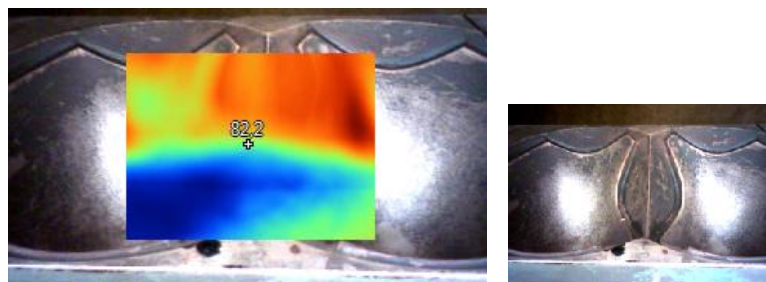
-Para molde macho:

En los primeros 10 minutos, la temperatura más alta registrada es de 87,3°C. No se debe tener en cuenta las temperaturas mínimas ya que corresponden a elementos de la máquina de temoconformado y no directamente con el molde.



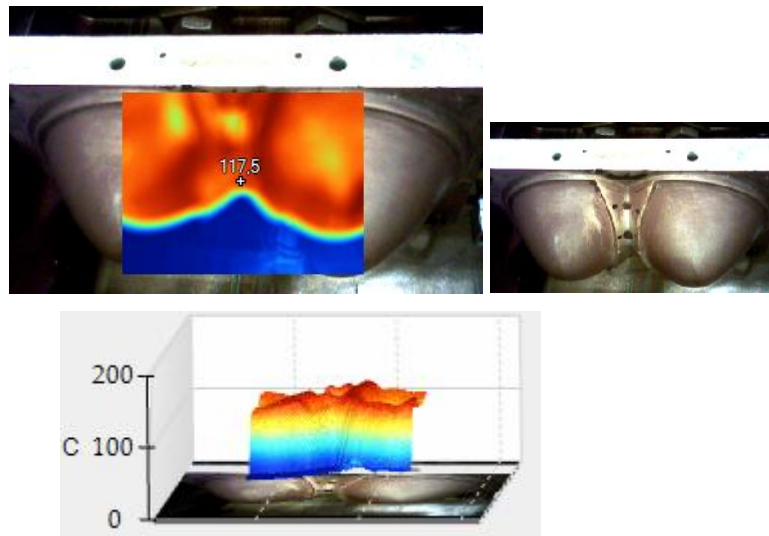
Termografía 2

- Para molde hembra



El rango de temperaturas que se obtiene en la termografía es de 63,2 °C a 104°C.

- Para molde macho

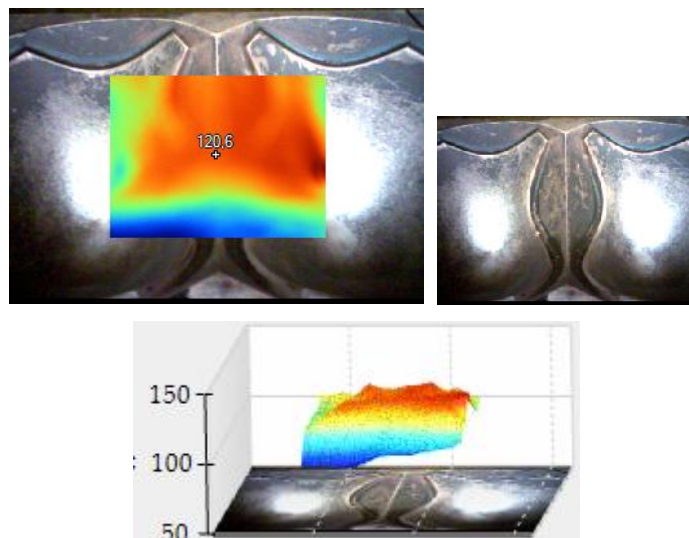


El rango de temperaturas registradas oscila de 33°C a 133,3°C como temperatura máxima.

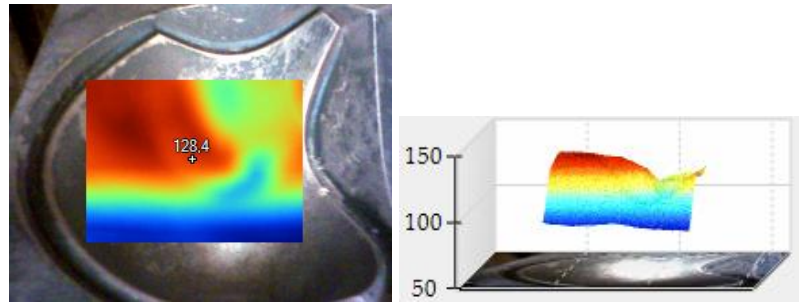
Termografía 3

- Para molde hembra:

La distribución de temperaturas se representa a continuación:

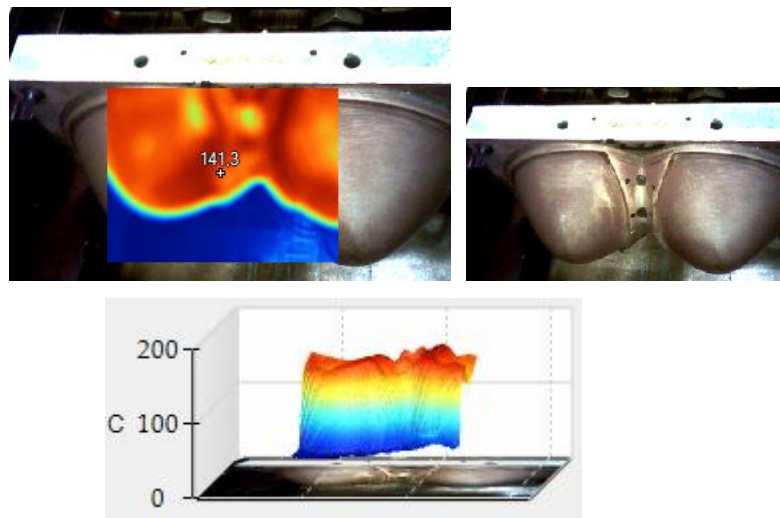


Si se realiza la termografía en una determinada zona, se observa la siguiente distribución de temperaturas:



La temperatura máxima registrada es de 128,9°C y la temperatura mínima de 84,7°C

- Para molde macho

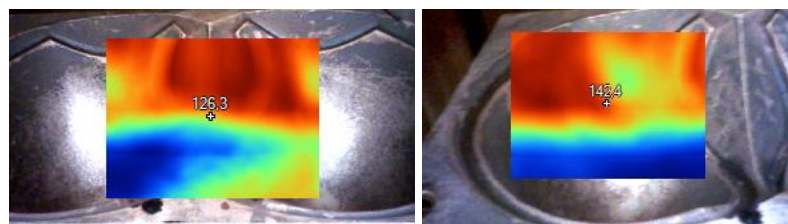


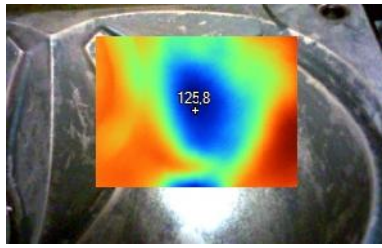
La temperatura máxima que se alcanza es de 165,8°C y la temperatura mínima es de 37,8°C.

Termografía 4

Después de 40 minutos de calentamiento se observa la siguiente distribución de temperaturas:

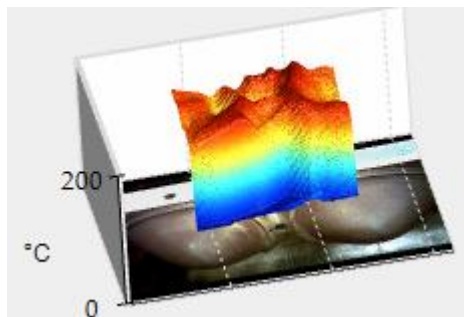
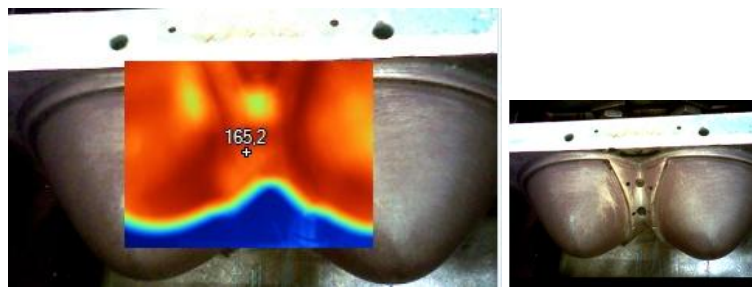
- Para molde hembra





La temperatura máxima registrada es de 151,7°C

- Para molde macho

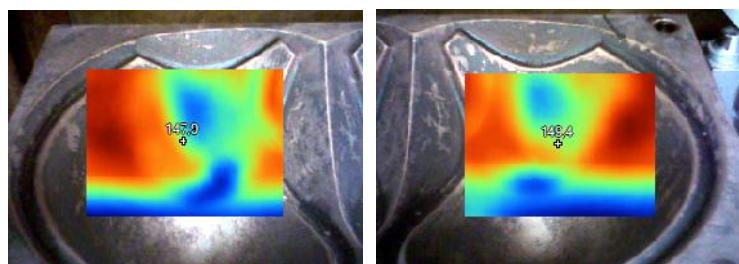


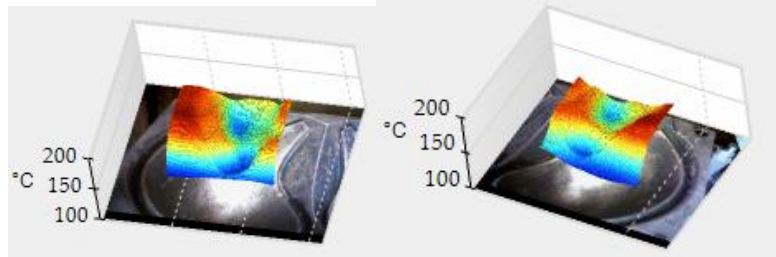
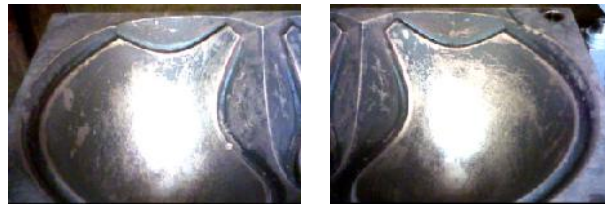
Se alcanza la temperatura de 190,5°C, en las zonas en las que la temperatura será mayor.

Termografía 5

Tras 50 minutos de calentamiento, la distribución térmica es la siguiente:

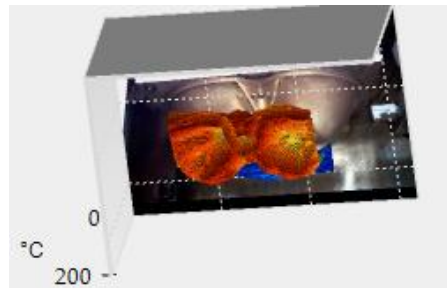
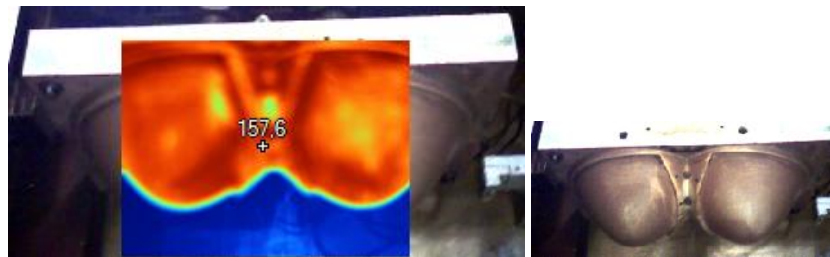
- Para molde hembra





El rango de temperatura registrado es de 124,7°C como temperatura mínima y de temperatura máxima 169,3°C

- Para molde macho

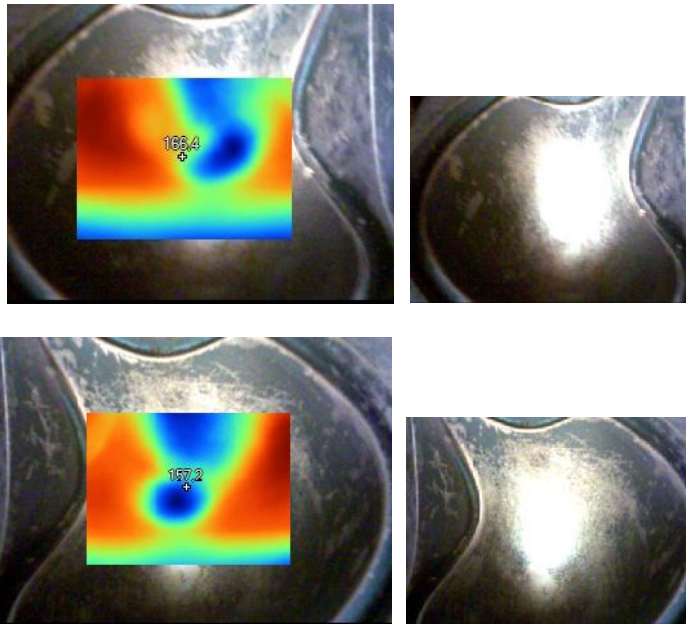


Las temperaturas que se registran tienen su temperatura mínima en 43,9°C y máxima registrada en 191,2°C.

Termografía 6

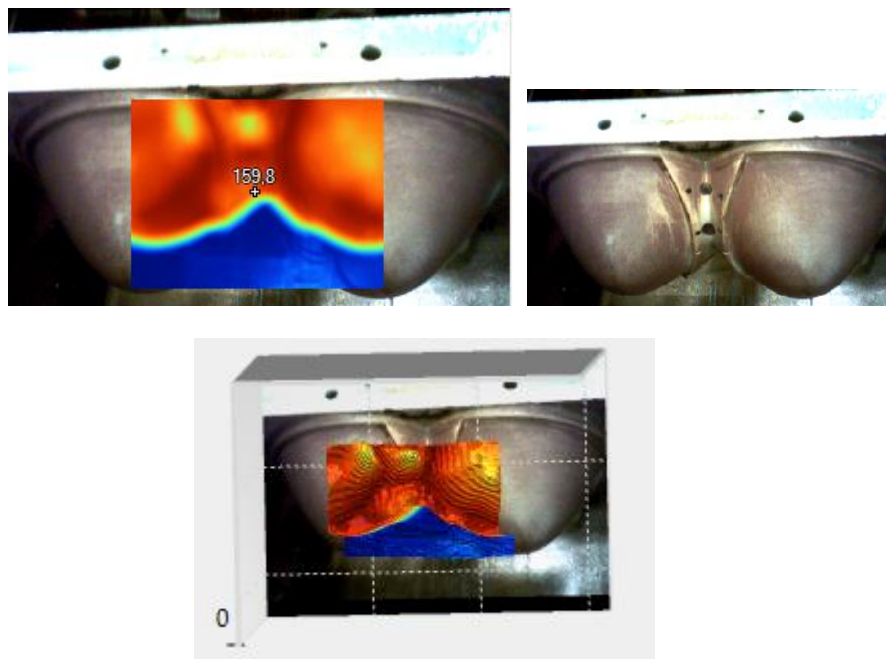
- Para molde hembra

El rango de temperaturas oscila de 140,3°C a 188,2°C



- Para molde macho

La temperatura mayor registrada es de 191,6°C, la temperatura mínima no debe ser considerada porque se corresponde a elementos de la máquina de termoconformado.



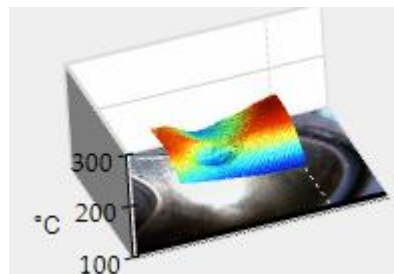
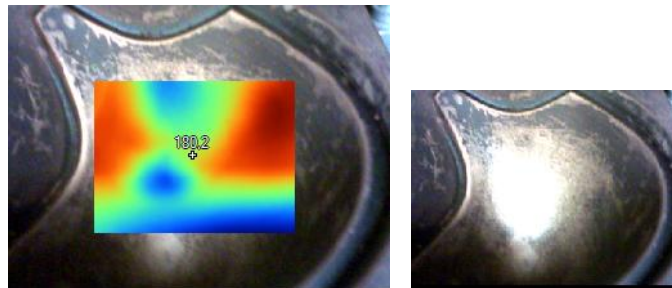
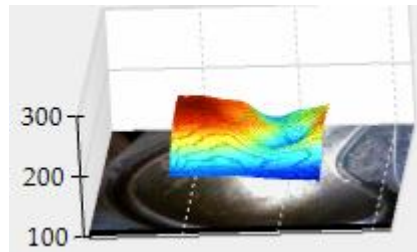
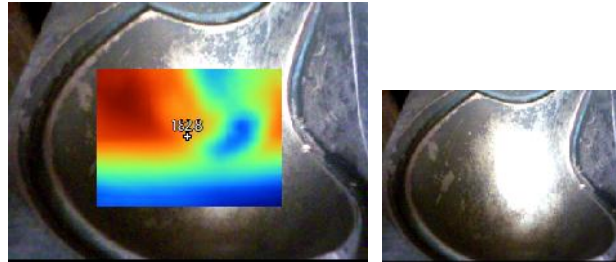


Termografía 7

- Para molde hembra

El rango de temperaturas que se alcanza oscila de 139,9°C a 202,2°C

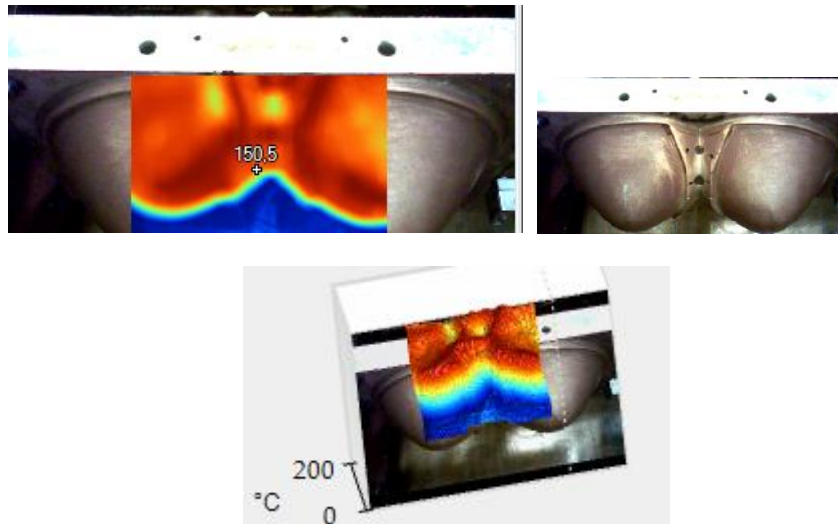
Si se realiza una comparativa del molde para el lado derecho y para el lado izquierdo, se obtiene:



En este punto de calentamiento, se observa como la temperatura en partes simétricas del molde es similar.

- Para molde macho

La temperatura máxima registrada es de 192,4°C, se observa como el calentamiento en el molde macho es prácticamente homogéneo.



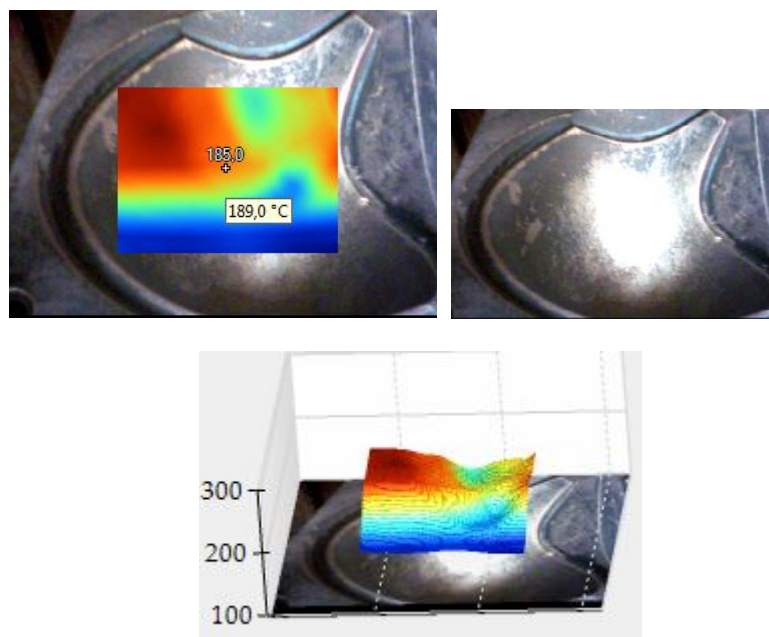
Termografía 8

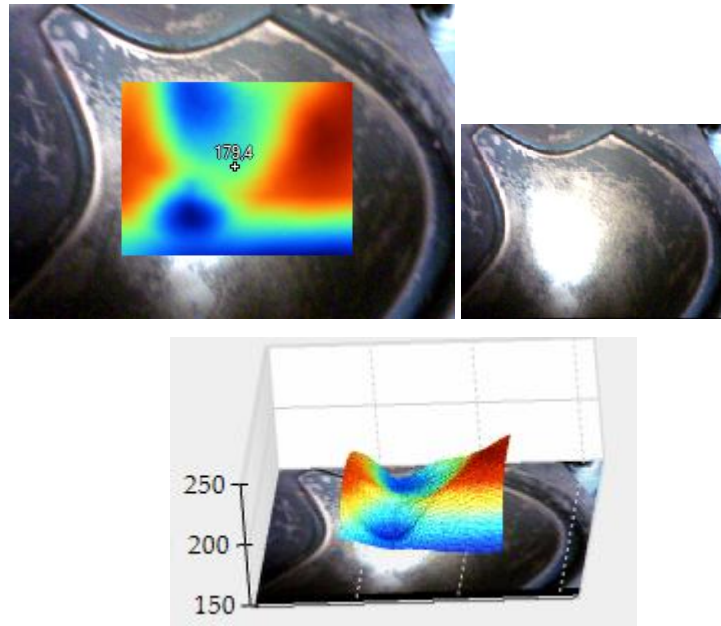
Tras 80 minutos de calentamiento se obtienen las distintas distribuciones térmicas:

- Para molde hembra

El rango de temperaturas registradas en el molde hembra oscila de 135,6°C a 203,4°C, como temperatura máxima.

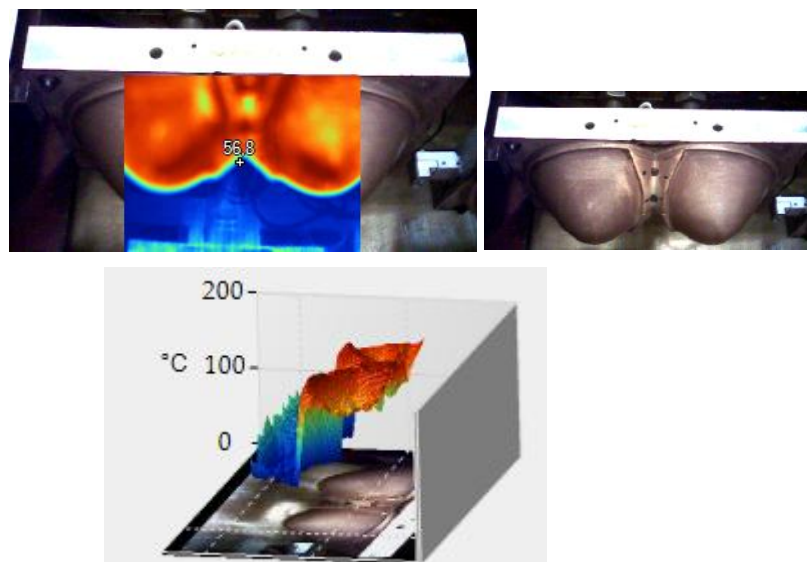
Se realizan dos termografías a las copas complementarias:





-Para molde macho

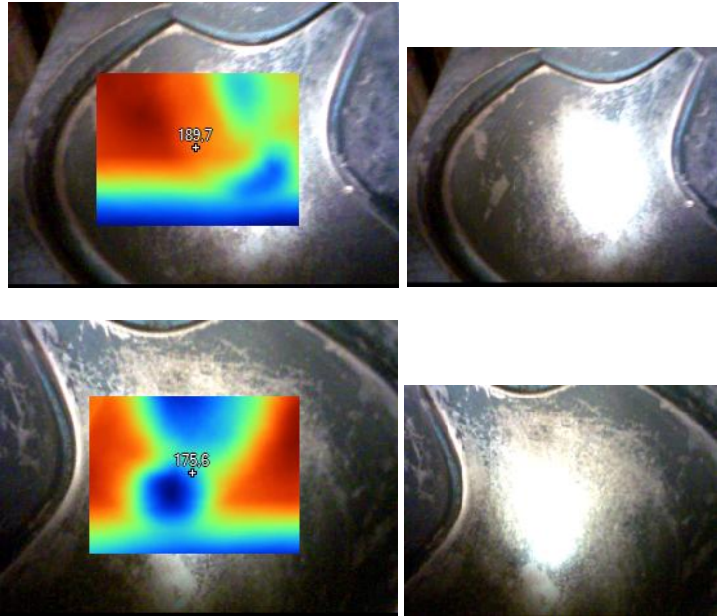
La temperatura máxima obtenida es de 192,8°C. Tal como se muestra en las imágenes inferiores, se trata de una temperatura homogénea en el molde macho. Los picos de descenso de temperaturas son debidos a que la termografía incluye el respaldo de la máquina de termoconformado.



Termografía 9

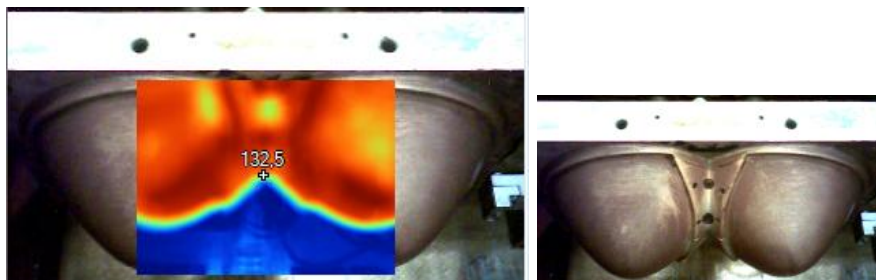
- Para molde hembra

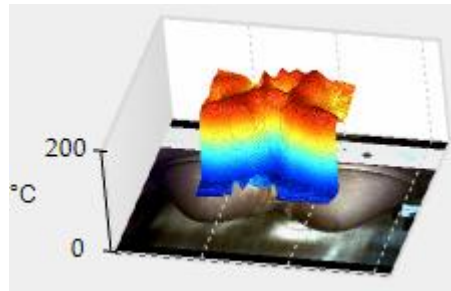
La temperatura máxima registrada en ambas hormas complementarias es de 204,8°C.



- Para molde macho

La temperatura máxima registrada aumenta y se estabiliza en el valor de 194°C.



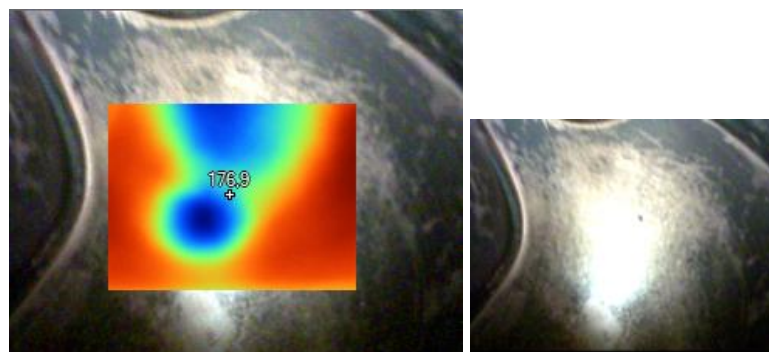
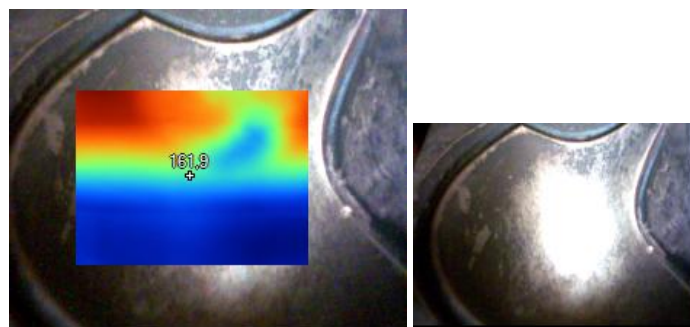


Termografía 10

Transcurridos 100 minutos de calentamiento, la distribución térmica obtenida se muestra a continuación:

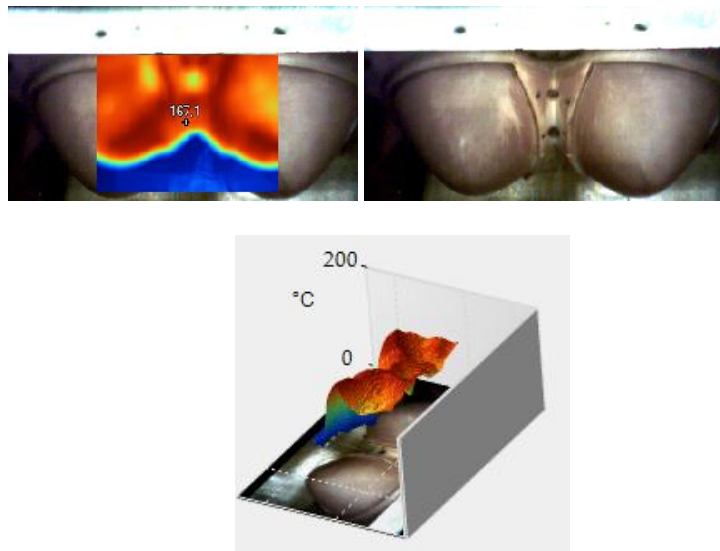
- Para molde hembra

Las temperaturas máximas registradas son de 205,5°C, en el molde hembra.



- Para molde macho

La temperatura se estabiliza, alcanzando un valor de temperaturas homogéneo igual a 194,5°C.



Si se realiza un gráfico con las temperaturas máximas registradas en el molde macho y en el molde hembra, permite valorar la rapidez de calentamiento:

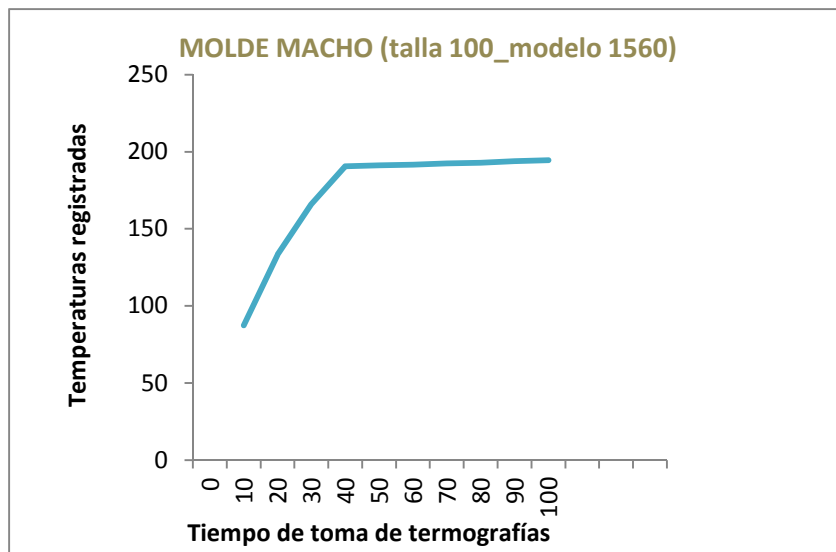


Ilustración 3.5.4.2-9. Temperaturas máximas del molde macho con respecto al tiempo

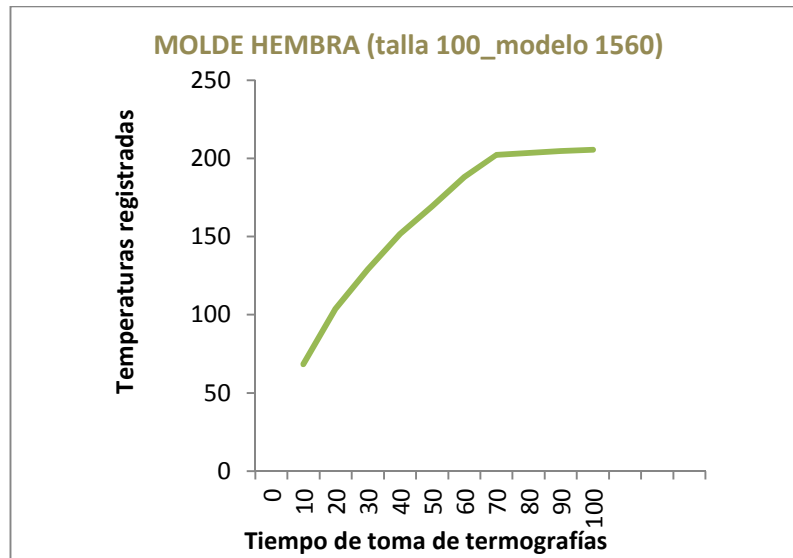


Ilustración 3.5.4.2-10. Temperaturas máximas del molde hembra con respecto al tiempo

En los gráficos superiores se muestra el proceso de calentamiento del molde macho y del molde hembra.

Se observa como la temperatura registrada aumenta para el molde macho durante los primeros 45 minutos de forma considerable y para el molde hembra durante los primeros 70 minutos. Una vez transcurridos estos minutos, la temperatura aumenta en ambos casos, hasta lograr la estabilización del molde macho en 194,5°C y del molde hembra en 205,5°C, después de un periodo de 100 minutos.

3.5.4.3. Estudio térmico para talla 110 modelo 1560

Se selecciona la talla 110 para desarrollar el estudio térmico ya que se trata de un prehormado de gran volumen, por lo tanto en el que se mostrarán las mayores dificultades para controlar el proceso, que se termoconforma en un molde fabricado partiendo de tocho.

Además el molde de termoconformado para la talla 110 modelo 1560, tiene la peculiaridad de que se desarrolla a partir del molde de la talla 100 del mismo modelo, por lo tanto, previo al estudio térmico se desarrolló un nuevo concepto de desarrollo de molde mediante empostizados. Dicho análisis se realizó en el apartado 3.3.2.

Elementos de generación de calor o disposición de las resistencias

Para la generación de calor en el modelo 1560 de la talla 110, se emplean resistencias que van situadas en cavidades internas del molde. Esta elección es debida al gran volumen que tienen las copas por corresponderse con la talla 110.

Se dispondrán de 3 resistencias en posición horizontal en el molde hembra y 2 resistencias en posición horizontal en el molde macho.

Verificación térmica experimental para el molde macho-molde hembra para el modelo 1560 de la talla 110

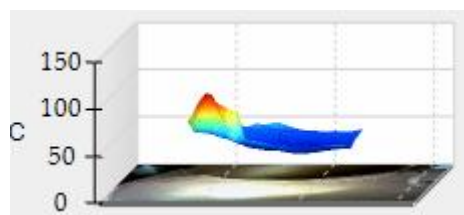
Para la verificación experimental para la talla 110 del modelo 1560 se realizan termografías en el proceso de calentamiento, desde su estado inicial apagado. Se muestran a continuación, las termografías tomadas:

Termografía 1

Esta termografía se realiza transcurridos 10 minutos de calentamiento, y las distribuciones térmicas son las siguientes:

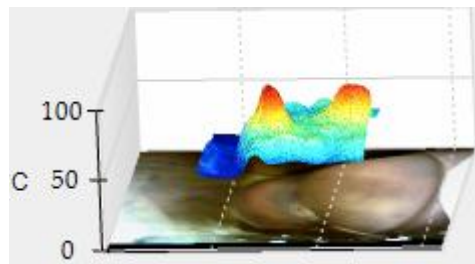
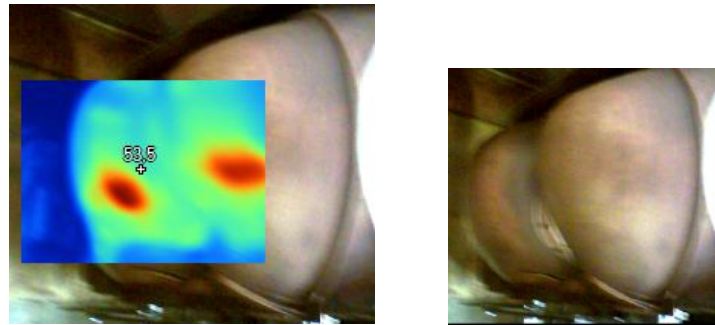
- Para molde hembra

La temperatura máxima alcanzada es de 120°C en el molde hembra.



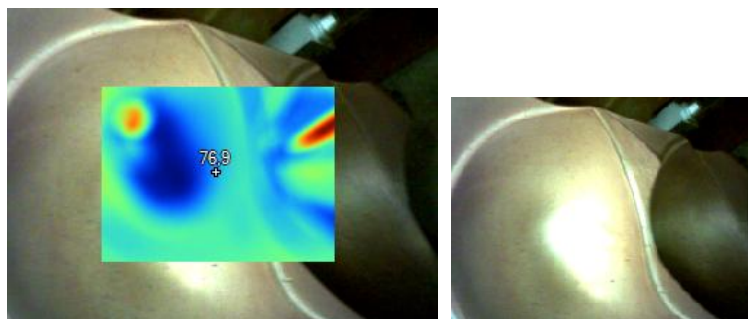
- Para molde macho

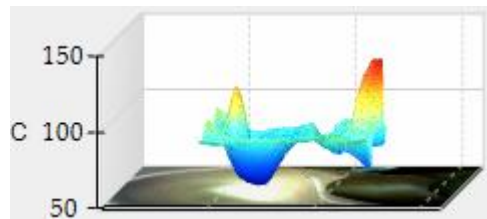
El molde macho no supera los 100°C tras los primeros 10 minutos de calentamiento. En la distribución se aprecia la concentración de los picos de temperatura:



Termografía 2

- Para molde hembra

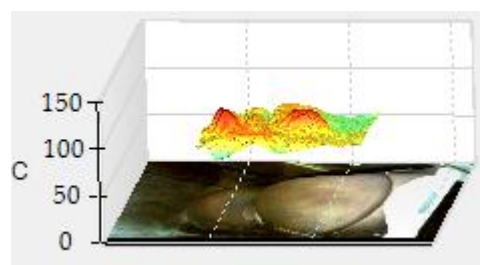
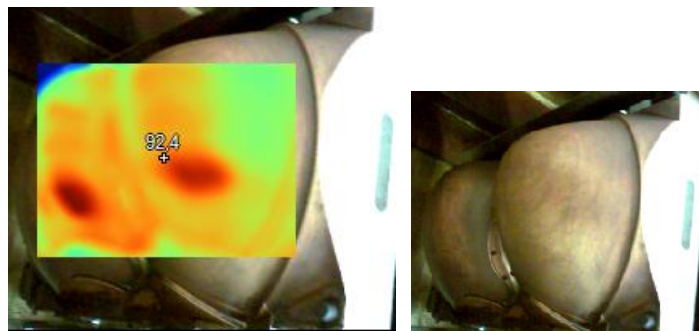




El rango de temperaturas obtenido va desde 51 °C, como temperatura mínima a 130,9°C como temperatura máxima.

- Para molde macho

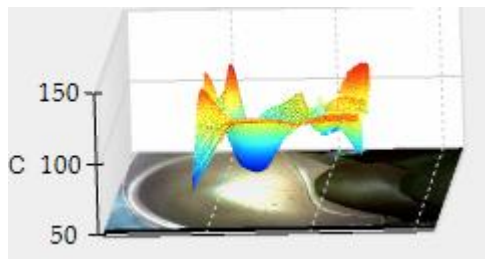
La temperatura máxima alcanzada en el molde macho es de 108,81°C. La temperatura mínima que se registra no se debe tener en cuenta, ya que se correspondería con elementos no pertenecientes al molde de termoconformado que no fueron posibles de discriminar en las termografías.



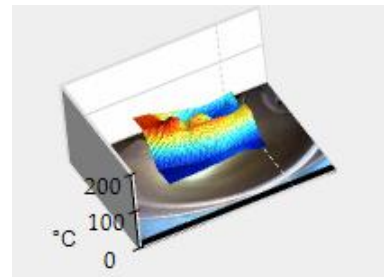
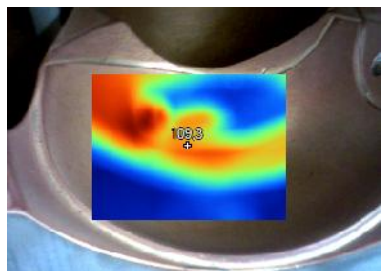
Termografía 3

- Para molde hembra

Las temperaturas máximas que se registraron en la termografía del molde hembra son de 128,7°C.

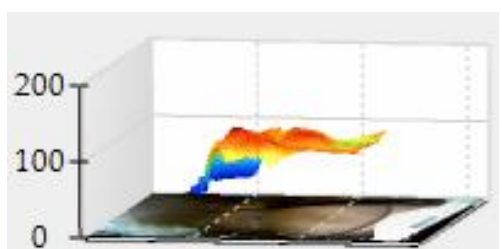
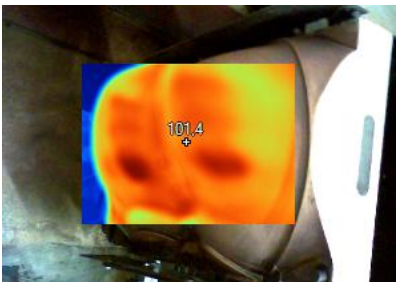


Si se toma una región en particular, tal que:



Se aprecia mejor la concentración de calor en determinadas zonas

- Para molde macho

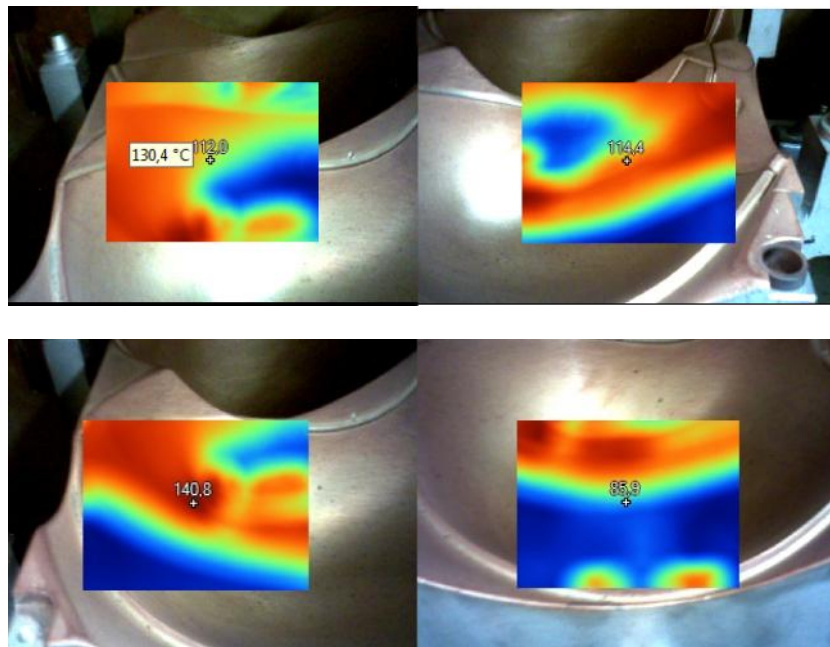


La temperatura máxima registrada es de 122,5°C, y tal como se aprecia la distribución térmica es de forma uniforme en todo el volumen.

Termografía 4

Transcurridos los primeros 40 minutos de calentamiento, la distribución de temperaturas obtenida es la siguiente:

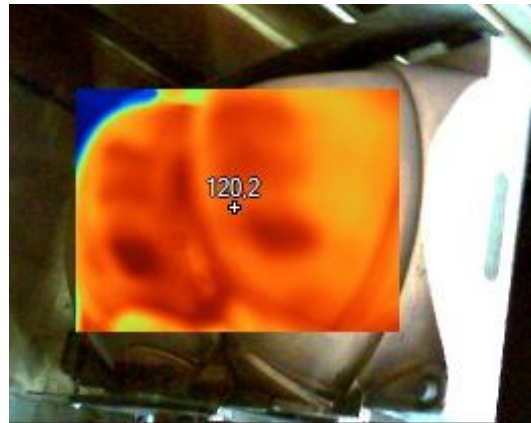
- Para molde hembra



La temperatura máxima que se registra es de 141,4°C.

- Para molde macho

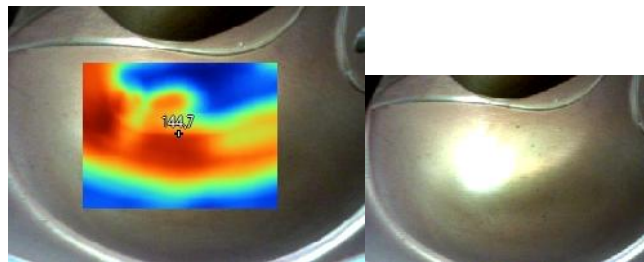
La distribución de temperaturas que se obtiene en la termografía es homogénea, la temperatura máxima alcanzada es de 137,2°C.



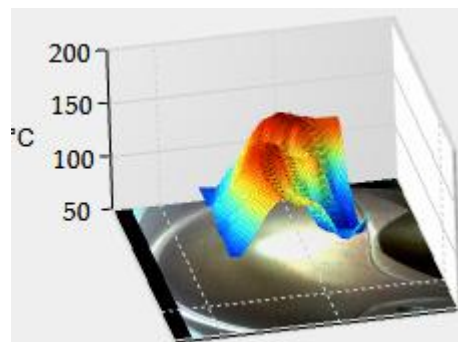
Termografía 5

- Para molde hembra

Las temperaturas que se alcanzan comprenden un rango de 77,4°C a 158,4°C

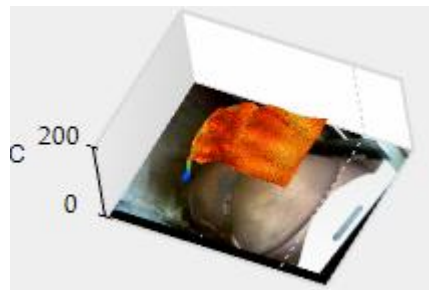
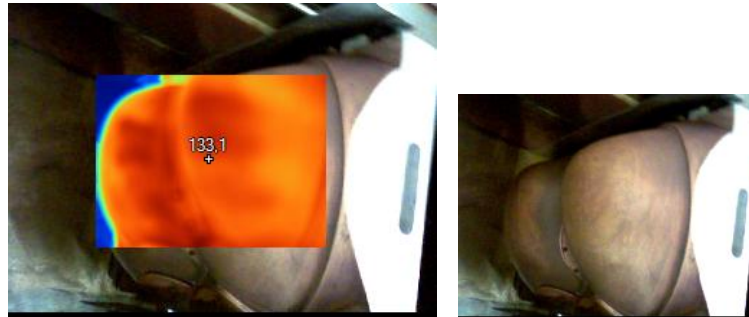


La distribución de temperaturas se puede observar en el siguiente gráfico tridimensional:



- Para molde macho

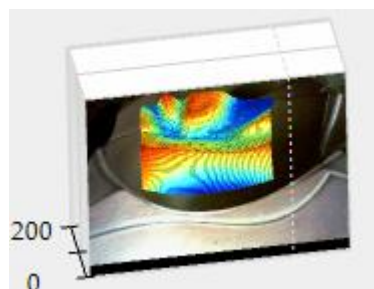
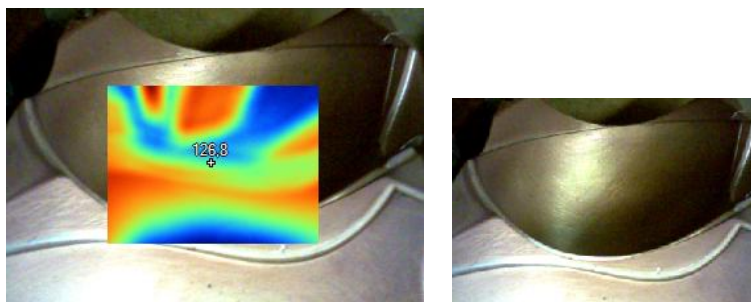
La temperatura máxima que se alcanza es de 151,8°C. La distribución de temperaturas se puede considerar prácticamente homogénea en todo su volumen.

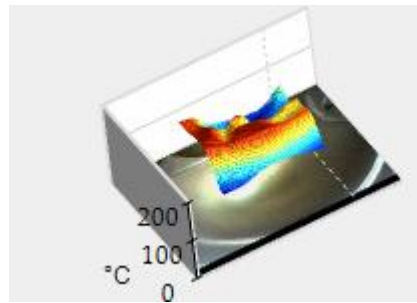
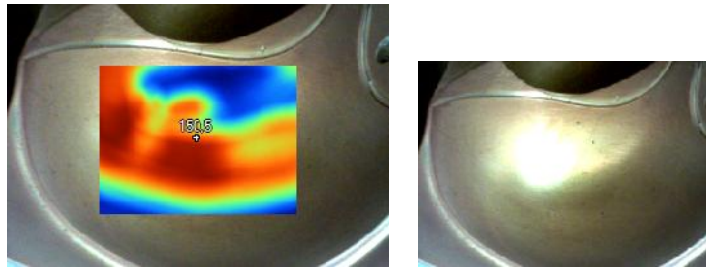


Termografía 6

-Para molde hembra

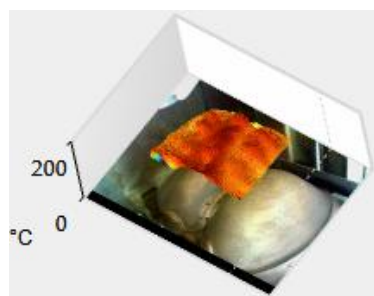
El rango de temperaturas registrado va de 97,3°C a 161,9°C





- Para molde macho

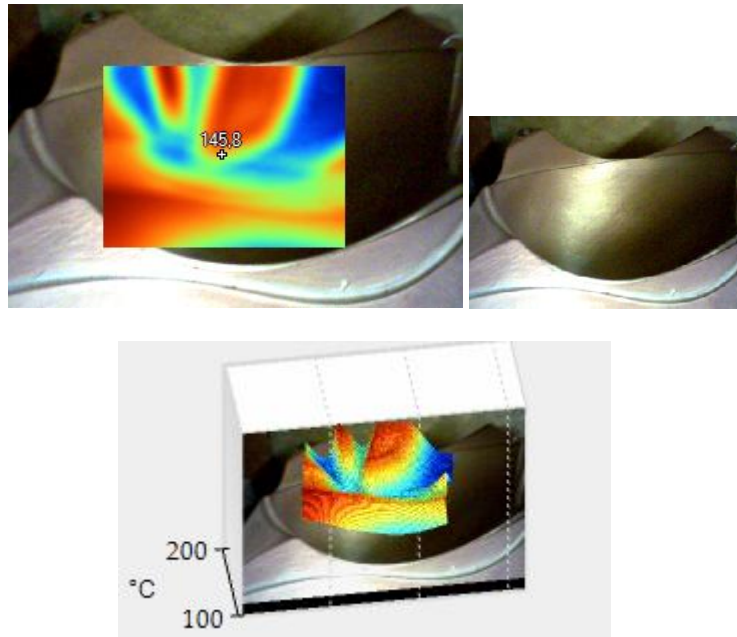
La temperatura máxima que se registra es de 163,8°C



Termografía 7

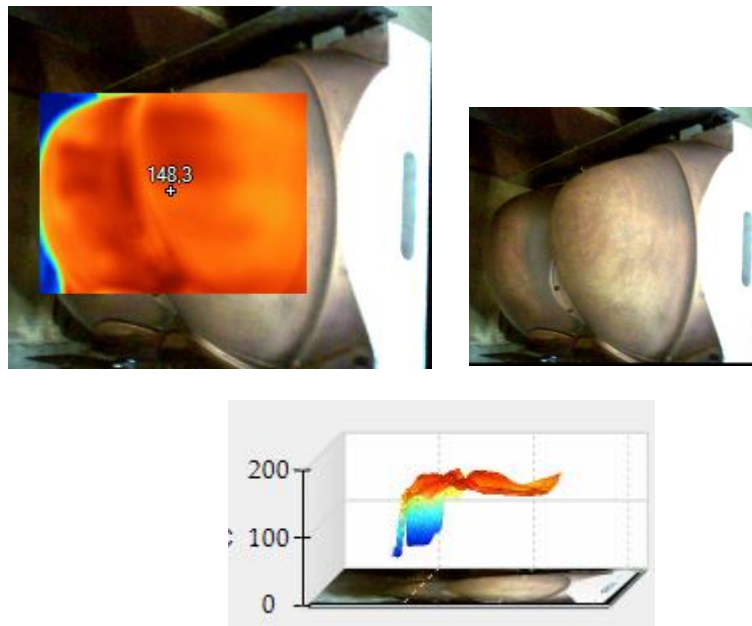
- Para molde hembra

Las temperaturas alcanzadas se encontrarán en el rango de 105,7°C y 170,3°C



-Para molde macho

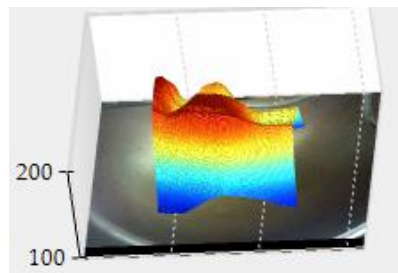
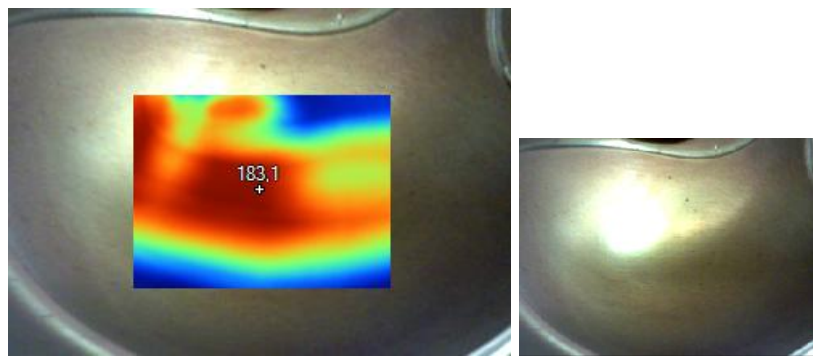
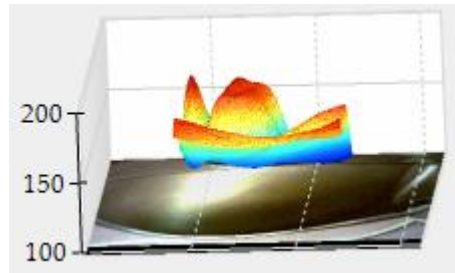
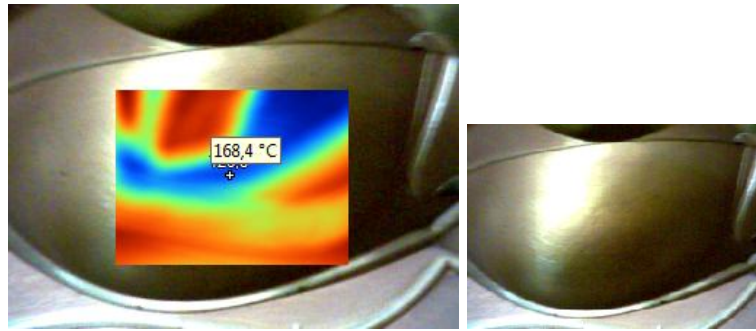
La temperatura máxima que se obtiene en la termografía es de 173,9°C.



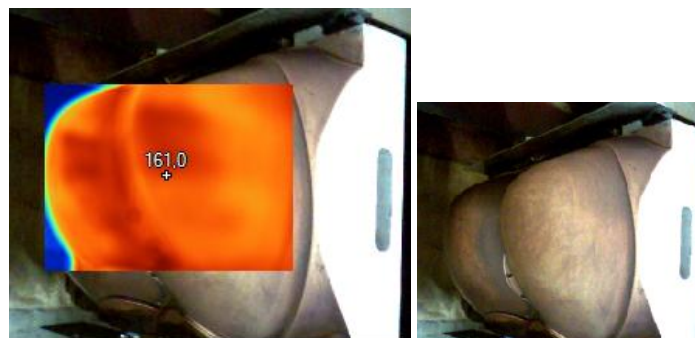
Termografía 8

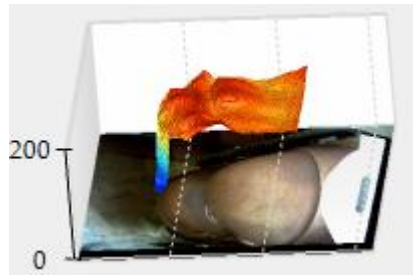
- Para molde hembra

El rango de temperaturas que se alcanza va de 113°C a 175,3°C



- Para molde macho

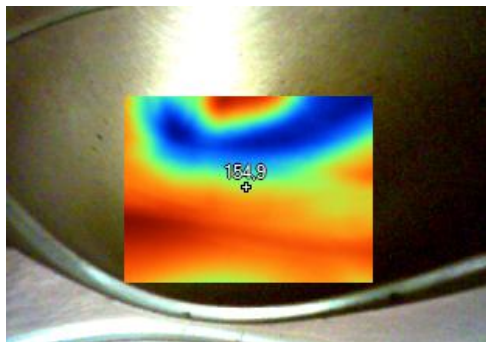
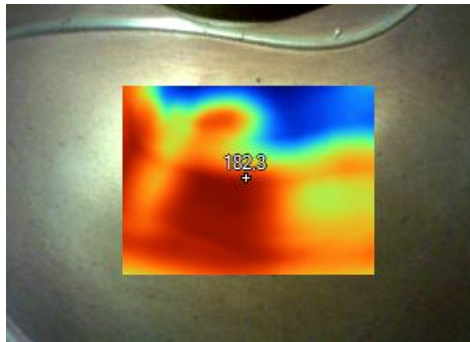


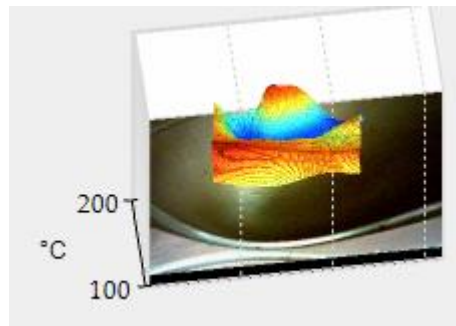


Termografía 9

- Para molde hembra

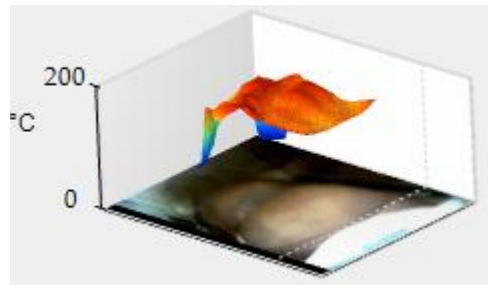
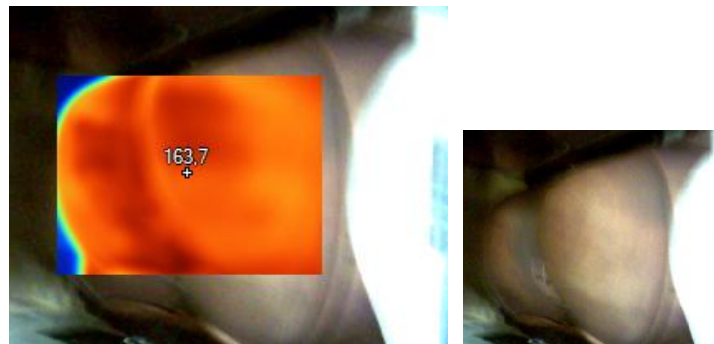
La máxima temperatura alcanzada es de 170,2°C





- Para molde macho

El rango de temperaturas que se alcanza es de 53,7°C a 189,2°C



Si se recogen las temperaturas máximas en las gráficas que se muestran a continuación:

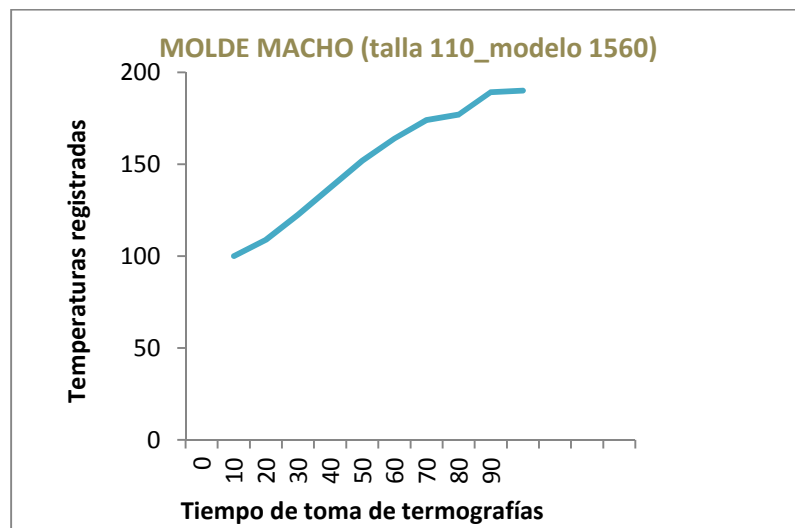


Ilustración 3.5.4.3-1. Temperaturas máximas del molde macho con respecto al tiempo

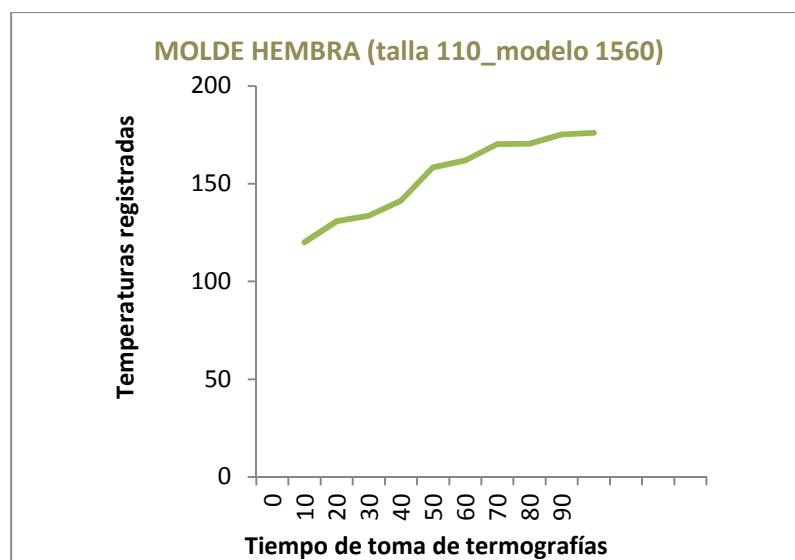


Ilustración 3.5.4.3-2. Temperaturas máximas del molde hembra con respecto al tiempo

Se observa como la temperatura se eleva de progresiva, y en un tiempo similar se consigue estabilizar tanto el molde macho como el molde hembra.

Este tiempo se determina como 90 minutos, en este tiempo se considera que se obtiene la temperatura óptima para realizar los prehormados.

3.5.4.4. Estudio térmico para talla 90 modelo 1413

Se realiza el estudio térmico de la talla 90 del modelo 1413 para el molde de termoconformado fabricado por fundición.

Este molde, se trata de un molde antiguo con una técnica previa a la realizada actualmente ya que ahora para fabricar moldes se parte de tochos de aluminio. Sin embargo es importante obtener un resultado experimental de su comportamiento térmico para obtener una comparativa de termografías con los moldes de termoconformado que fueron fabricados a partir de tochos de aluminio.

Elementos de generación de calor

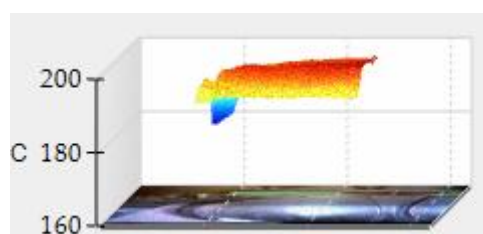
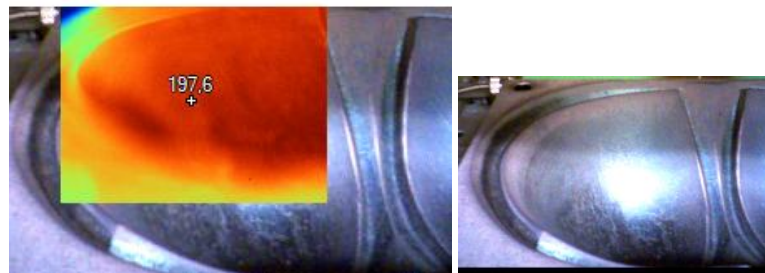
La generación de calor se efectúa mediante placas base, dispuestas en los moldes superior e inferior.

Resultados térmicos experimentales para el molde macho-molde hembra para el modelo de la talla

Termografía 1

- Para molde hembra

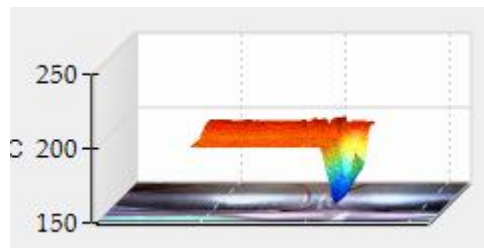
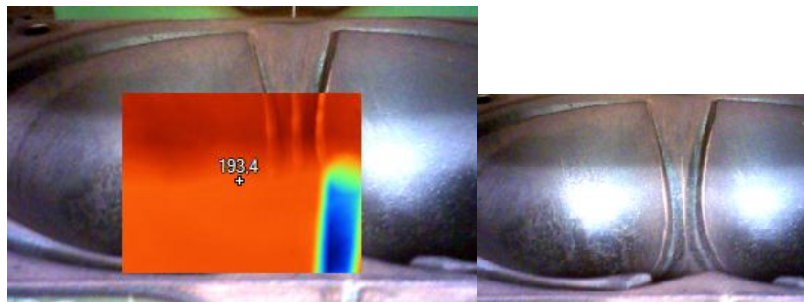
Se realiza una termografía correspondiente a la parte izquierda del molde donde se recoge un rango de temperaturas que abarca de 179,3 °C a 199,7°C.



El límite inferior de temperaturas no es influyente para el termoconformado, porque se corresponde con áreas circundantes, que no van a tener influencia para el termoconformado.

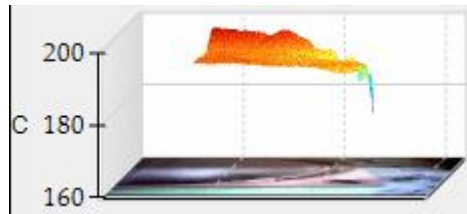
Termografía 2

Si se considera la parte central del molde hembra, el rango de temperaturas registrado va de 155°C a 202,3°C, tal y como se muestra en las siguientes imágenes y en el gráfico.



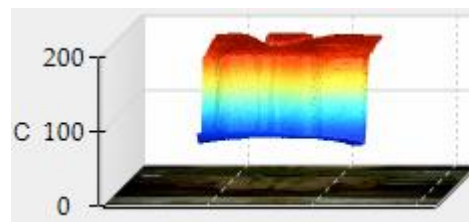
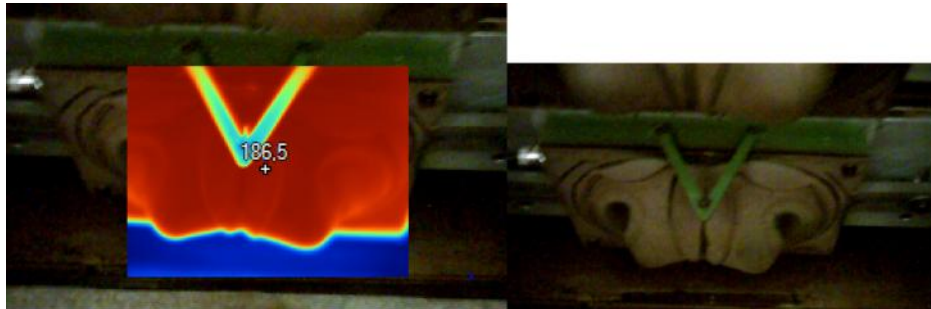
Termografía 3

El rango de temperaturas que se aprecian en la termografías es de 174,4°C a 199 °C. La caída de 20 °C, es debida a que se considera el borde del molde hembra de termoconformado.



Termografía 1

En esta primera termografía, en la que se busca obtener un análisis de la parte central del molde macho, el rango de temperatura oscila de 65,8°C a 190,0 °C.

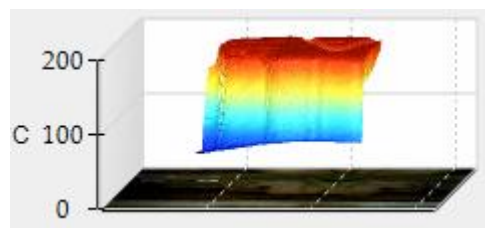
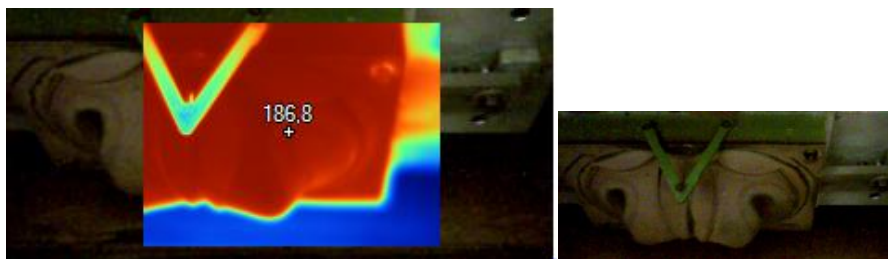


Es necesario destacar que la temperatura del volumen del molde macho que entra en contacto con el preformado de foam se encuentra en el intervalo de 170°C a 190°C..

Las temperaturas más bajas se corresponden con superficies o volúmenes que no entran en contacto con el foam, e incluso a la atmósfera envolvente.

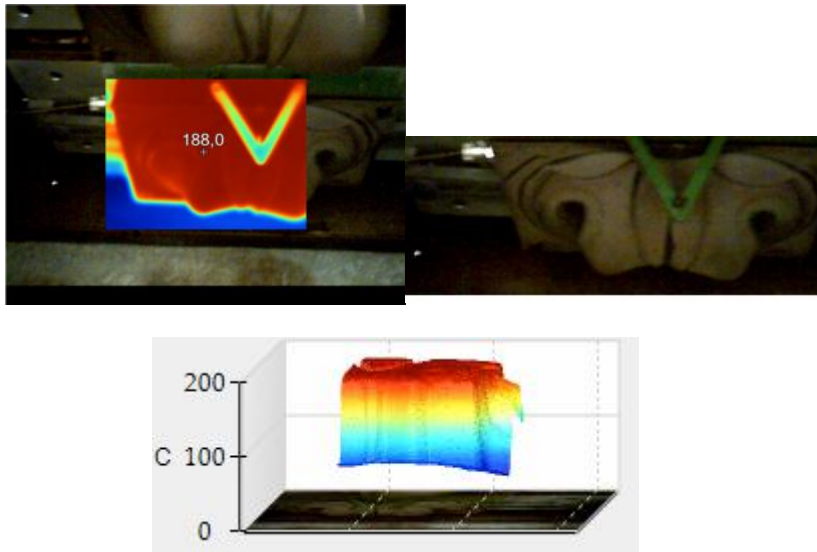
Termografía 2

Se realizó una termografía a la parte derecha del molde macho. Las temperaturas que se registran en el molde están comprendidas entre 69,5°C a 190,9°C. Al igual que en la termografía realizada a la parte central del molde, las superficies en contacto con el foam y que serán las encargadas de termoconformar la plancha de foam tienen valores superiores a los 170°C, el rango de temperaturas desciende debido a que en la termografía no es posible discriminar la atmosfera envolvente o superficies anexas al molde macho en si.



Termografía 3

Con esta termografía se pretende realizar un análisis termográfico a la parte izquierda del molde macho, el rango de temperaturas que se obtiene con esta termografía va desde los 60°C a 191,5°C.



De igual forma que en las termografías analizadas previamente para el molde macho, la temperatura en el molde macho que imprimirá temperatura al foam, se corresponde con temperaturas superiores a 170°C , sólo que la termografía recoge temperaturas inferiores debido a que se consideran zonas externas a dicho molde.

Se puede concluir que para el molde de termoconformado fabricado por fundición, en el que se disponen placas base de calentamiento se obtiene un gradiente de temperaturas uniforme, se deben obviar picos o descensos bruscos de temperatura, ya que son debidos a que se toman termografías de zonas externas del molde, partes de la máquina de termoconformado o la envolvente de aire que lo rodea y mediante la que se produce el fenómeno de convección.

Se trata de una generación de calor uniforme y homogéneo que comprende desde los 170°C a los 200°C . Esto es debido a que las placas base están situadas tanto en el molde macho como en el molde hembra, y tienen una superficie que comprenden ambos moldes.

3.5.4.5. Comparativa y resultados de valores experimentales-FEM

Sin embargo para establecer la disposición de las resistencias y lograr una distribución del calor homogénea se considera aceptable la simulación con el valor

del coeficiente de convección constante, reduciéndose considerablemente los cálculos e iteraciones.

Conclusiones de análisis térmico para molde de modelo 1413 y talla 105

La distribución de temperaturas en el molde de termoconformado en la simulación por elementos finitos se aproxima en gran medida al presentado en el modelo experimental.

-Las temperaturas bajo las cuales se dio este comportamiento pueden diferir debido a que algunas de las propiedades térmicas del molde de aluminio se tomaron de las tablas de la biblioteca de materiales de ANSYS por lo que debemos considerar que existe una ligera variación de las propiedades térmicas en función de la composición del material.

- Otras de las causas de las variaciones pueden darse por la resistencia, pues se parte de la suposición de que en toda la superficie tubular de la resistencia se tiene un calentamiento uniforme desde el comienzo, en la práctica pueden existir variaciones a la baja que impliquen el descenso de la temperatura (tal y como ocurre en la realidad).
- La discrepancia entre los valores teóricos y experimentales de las gráficas podrían también ser justificadas por el hecho de no considerar los pequeños espacios que quedan entre el molde y la resistencia, pues los únicos tomados en cuenta en la simulación son los presentados en los dobleces de la resistencia, por lo tanto en la simulación contamos con una placa con un mayor contacto directo con la resistencia, donde no se tuvo en cuenta la convección, producida por los espacios intermedios.

Se logran gradientes de temperaturas mayores, cuando el plano de análisis se encuentra más cercano a las resistencias, por lo tanto es conveniente tener las resistencias más alejadas lo más posible de la superficie que va a entrar en contacto con el foam, a costa de alcanzar temperaturas más bajas, en determinadas zonas que se traduce en mayores gastos de energía y espesores de los materiales.

En los casos de las resistencias en paralelo podemos observar cómo se da la variación de la distribución de temperaturas cuando se modifica el espesor, la posición y la cantidad de resistencias empleadas.

Respecto al comportamiento observado en las placas que se usaron en nuestras pruebas concluimos que para alcanzar una mayor temperatura sería viable el uso de óxido de magnesio como recubrimiento, que implicaría concentraciones de temperatura. Para el termoconformado de foam, la prioridad es alcanzar uniformidad en el calentamiento, por lo que no es viable el uso de óxido de magnesio.

Si realizamos un gráfico comparativo de las temperaturas con respecto al tiempo, se obtiene:

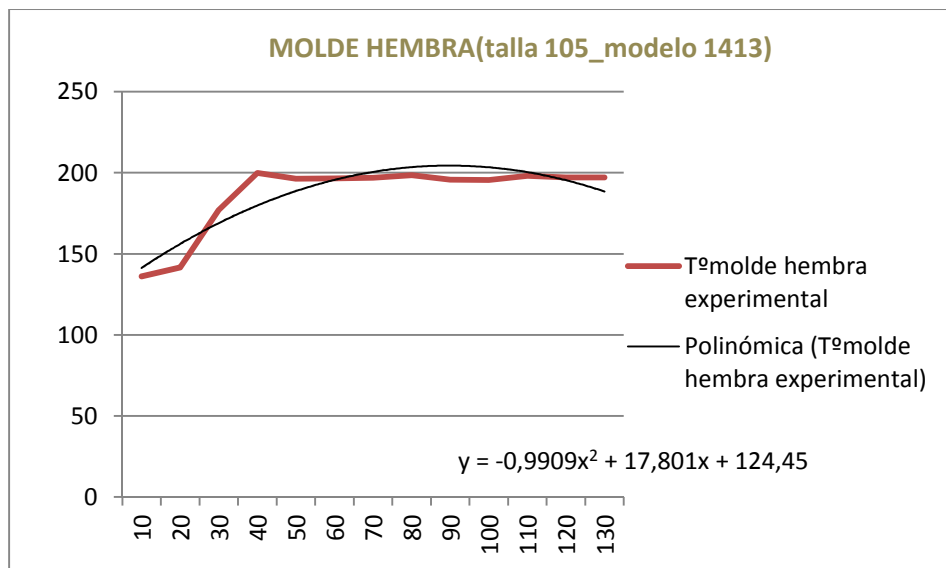


Ilustración 3.5.4.5-1. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde hembra, talla 100_modelo 1560

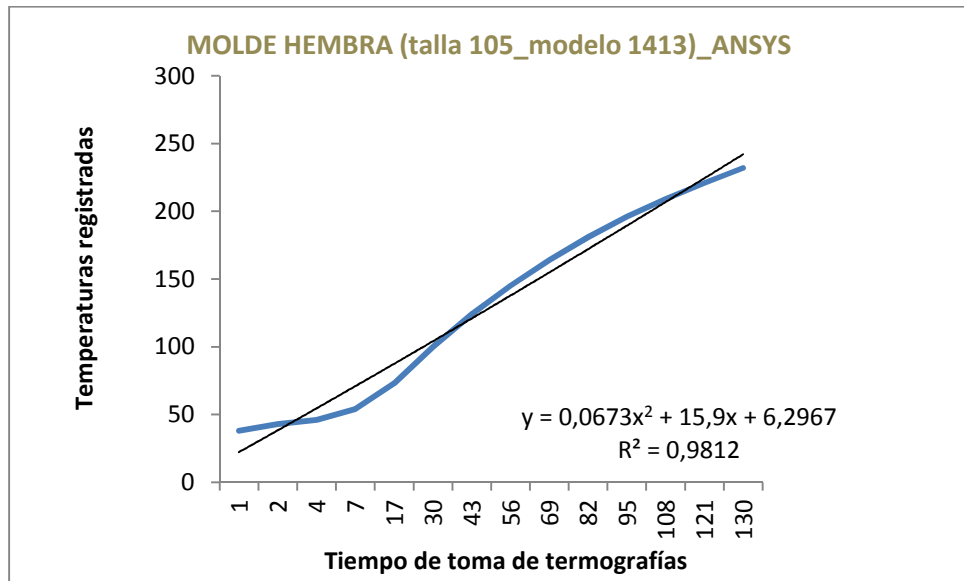


Ilustración 3.5.4.5-2. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde hembra en ANSYS, talla 100_modelo 1560

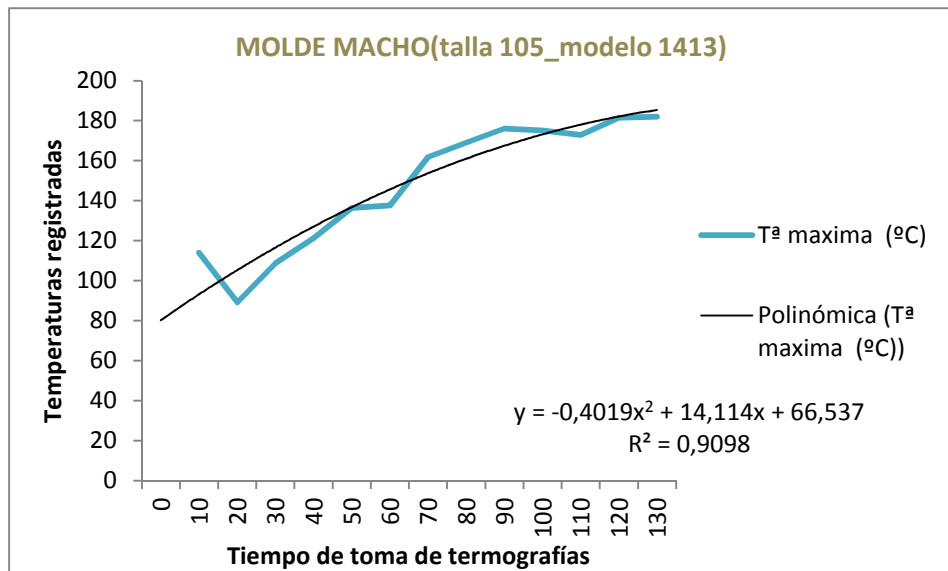


Ilustración 3.5.4.5-3. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde macho, talla 100_modelo 1560

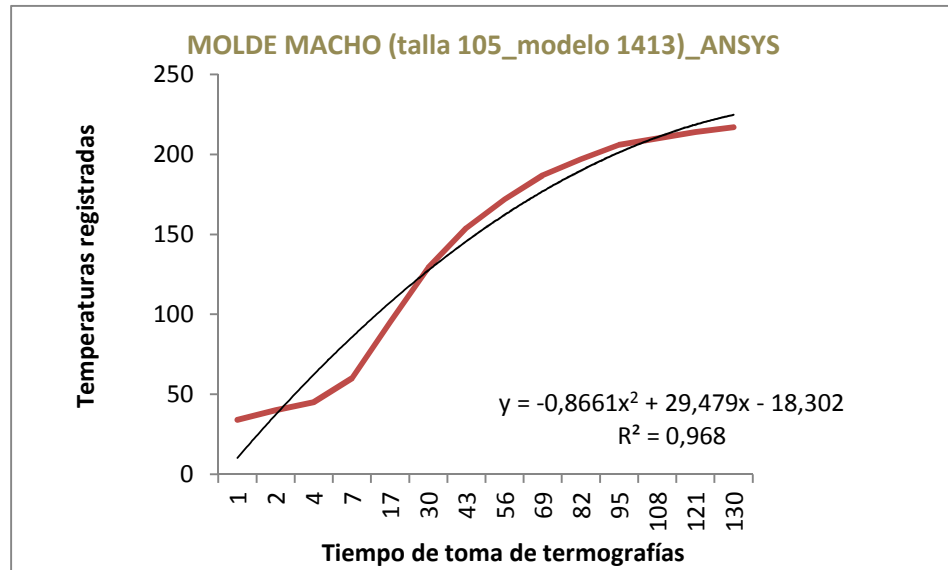


Ilustración 3.5.4.5-4. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde macho en ANSYS , talla 100_modelo 1560

Para las curvas que representan el proceso de calentamiento de los moldes de la talla 105, del modelo 1413 se observa que el coeficiente de determinación R^2 es bajo (especialmente para el molde hembra), por lo que no existe una relación directa entre el tiempo de calentamiento y la temperatura que se alcanza en el molde. Se trata de un molde poco predecible en su comportamiento térmico en el tiempo.

Si realizamos comparativa de las imágenes:

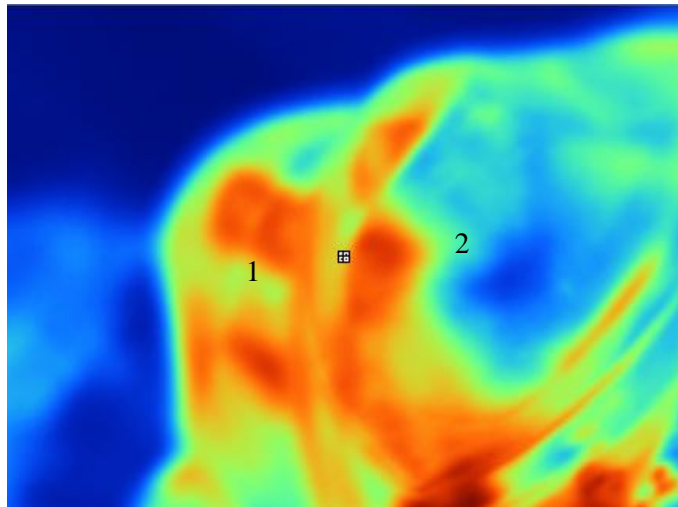


Ilustración 3.5.4.5-0-4. Termografía real sobre molde macho para talla 105

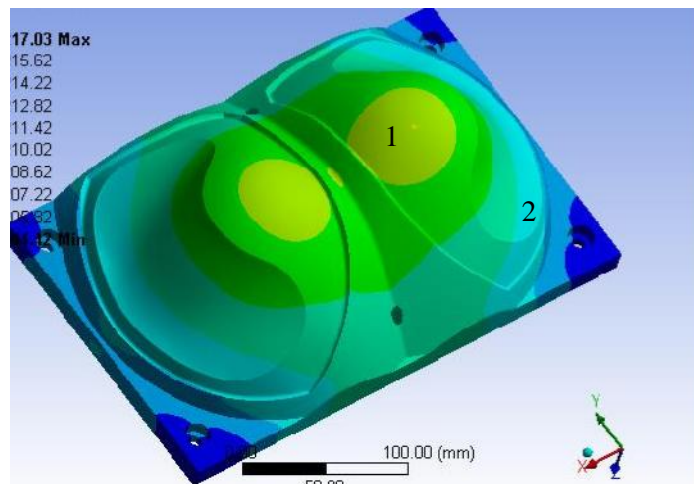


Ilustración 3.5.4.5-6. Termografía real sobre molde macho para talla 105

Si realizamos la comparativa de la distribución de temperaturas, se observa que:

- La mayor temperatura se alcanza en las zonas donde están ubicadas las resistencias (zona 1).

En la termografía física se registra la temperatura más alta en esta zona con un valor de 196 °C, mientras que en la obtenida en ANSYS se alcanza una temperatura mayor (en torno a 211°C), tal cómo se justificó en líneas superiores (zona 1)

Con el análisis en ANSYS, se comprueba que la distribución de temperaturas va disminuyendo progresivamente conforme nos alejamos de la ubicación de las resistencias. Y se reduce notablemente cuando nos situamos en la región correspondiente al push (zona 2).

Tras realizar el análisis de la distribución de temperaturas del molde hembra:

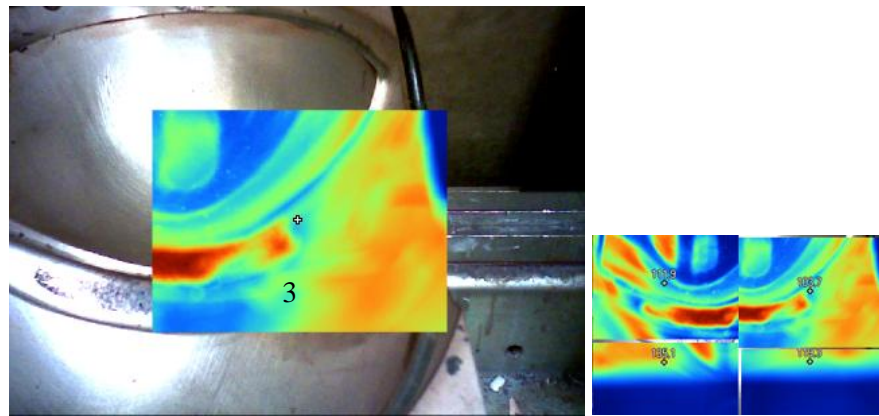


Ilustración 3.5.4.5-7. Termografía real sobre molde hembra para talla 105

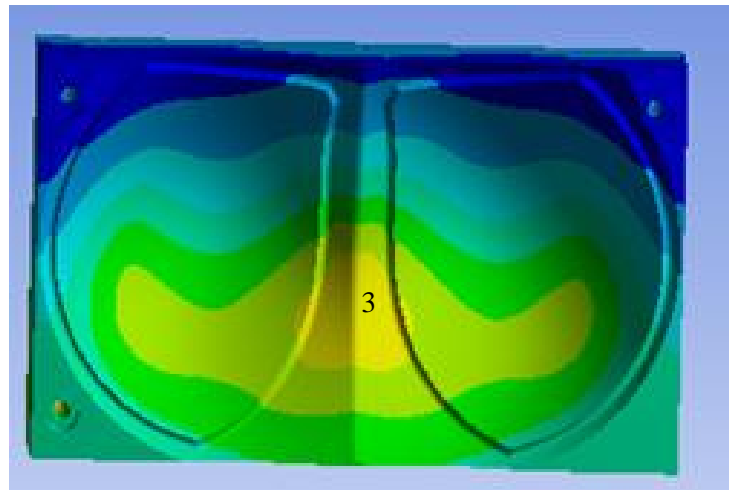


Ilustración 3.5.4.5-6. Termografía real sobre molde hembra en ANSYS para talla 105

Comprobamos como la temperatura mayor en el molde hembra se trata de 196°C, se concentra en la unión de las dos hormas. Con el estudio de ANSYS se verifica que la temperatura puede alcanzar los 220°C en esta zona, (zona 3).

La distribución de temperaturas va disminuyendo conforme nos alejamos de esta región central, como se comprueba en la imagen obtenida en ANSYS.

En la composición realizada en el apartado del estudio de la talla 105, modelo 1413

Se verifica que la distribución de temperaturas mantiene una correspondencia con la distribución de temperaturas que se obtiene de ANSYS.

Conclusiones de análisis térmico para molde de modelo 1413 y talla 90 (para moldes fabricados por fundición)

Las termografías obtenidas muestran que la generación de calor mediante placas base, hace que el reparto de calor sea más uniforme y homogéneo.

Se observa, por lo tanto un calor constante en el molde macho y en el molde hembra. Esto se traduce en que el prehormado tendrá una velocidad de enfriamiento constante, en la que no se apreciarán contracciones o dilataciones significativas.

Conclusiones de análisis térmico para molde de modelo 1560 y talla 100 (para moldes calentados por placas)

La temperatura máxima alcanzada en la toma de datos de la máquina de termoconformado por el molde macho es de 194,5°C y la temperatura máxima alcanzada por el molde hembra es de 205,5°C.

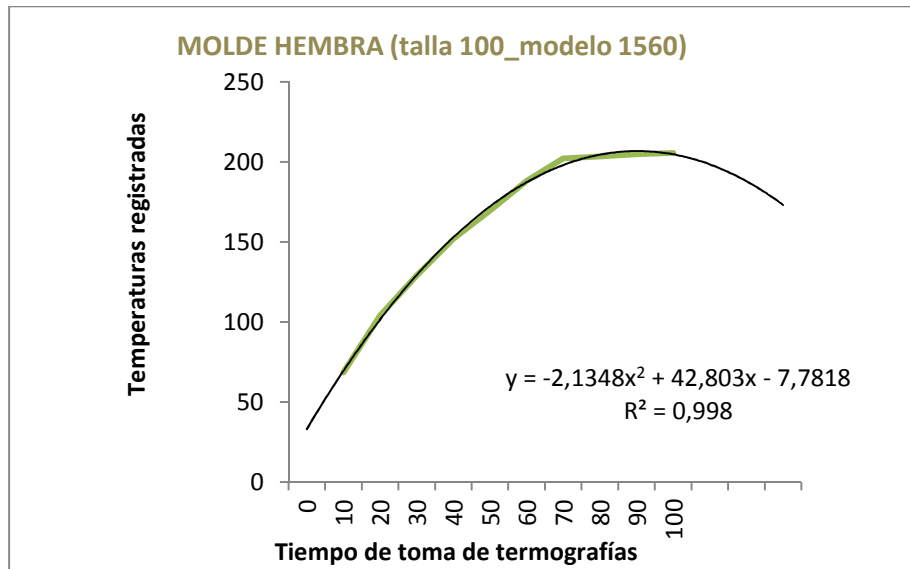


Ilustración 3.5.4.5-8. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde hembra en ANSYS , talla 100_modelo 1560

Si se realiza la comparativa de la distribución térmica del molde hembra obtenida en ANSYS, se obtienen las siguientes gráficas de la temperatura respecto al tiempo:

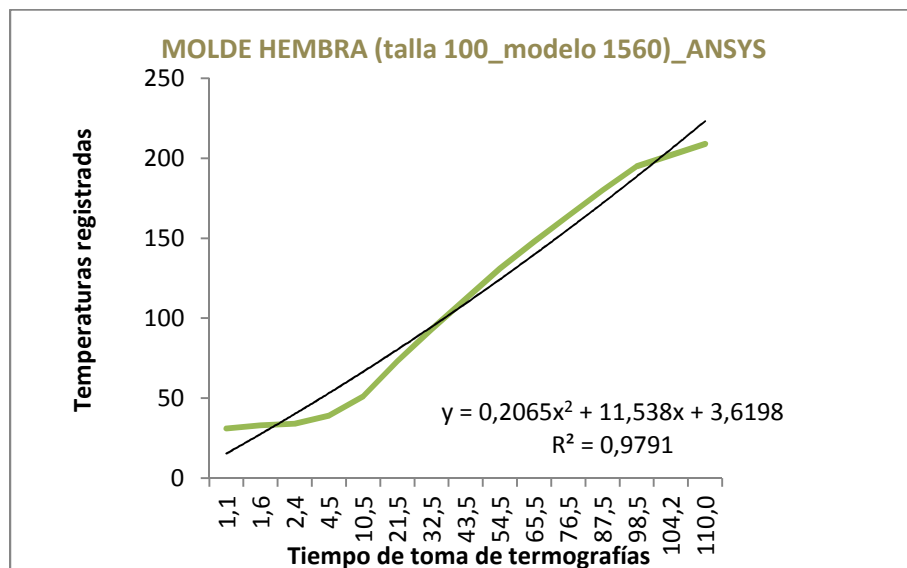


Ilustración 3.5.4.5-10. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde hembra en ANSYS , talla 100_modelo 1560

Se observa que la estabilidad de temperaturas se alcanza para el molde macho a los 120 minutos y para el molde hembra a los 35 minutos.

Si establecemos las gráficas de calentamiento, temperatura frente a tiempo:

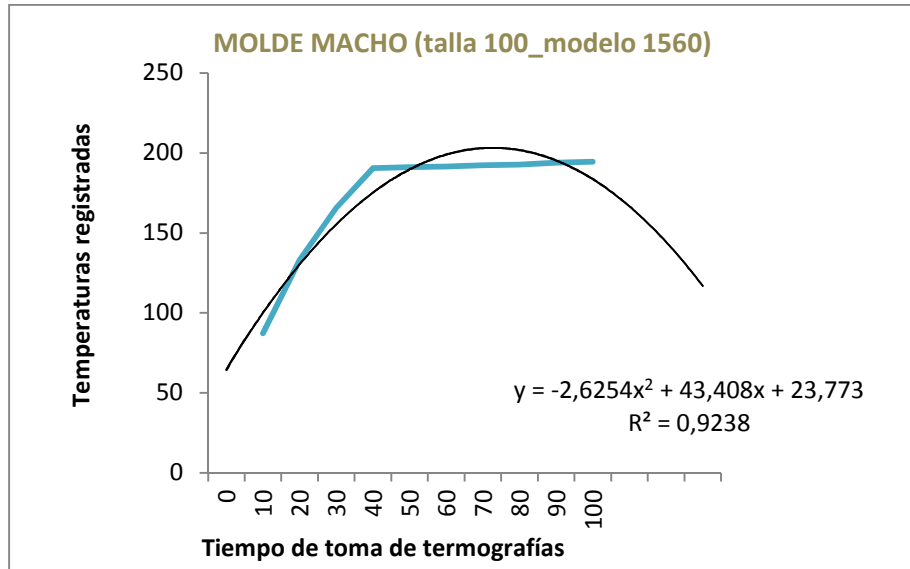


Ilustración 3.5.4.5-7. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde macho , talla 100_modelo 1560

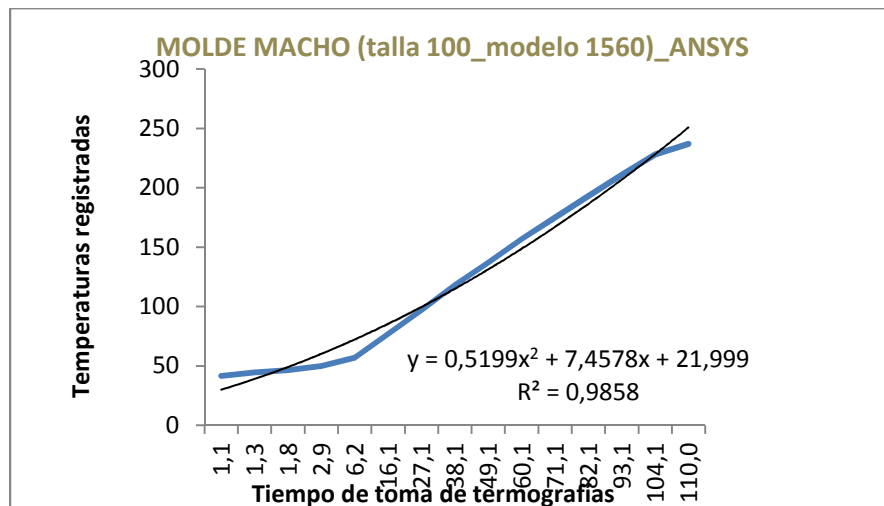


Ilustración 3.5.4.5-9. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde macho en ANSYS , talla 100_modelo 1560



Para las medidas experimentales se obtienen las siguientes curvas de correlación:

$$y = -2,6254x^2 + 43,408x + 23,773, \text{ para el molde macho}$$

$$y = -2,1348x^2 + 42,803x - 7,7818, \text{ para el molde hembra}$$

Tienen ambas una alta relación en cómo se ven afectadas las “Y” al modificar las “X”, lo cual explica que el modelo tomado por las termografías es próximo a la realidad.

Con los ensayos en ANSYS se obtienen las siguientes curvas de correlación:

$$y = 0,5199x^2 + 7,4578x + 21,999, \text{ para molde macho}$$

$$y = 0,2065x^2 + 11,538x + 3,6198, \text{ para molde hembra}$$

Se puede concluir que en el ensayo en ANSYS realizado durante 6600 s, no existe tiempo de establecimiento de temperatura (se podría alcanzar mayor temperatura si se dejara mayor espacio temporal). Sin embargo, para las tomas de datos realizadas directamente en las máquinas de termoconformado se comprueba que se consigue la estabilización de la temperatura transcurridos los 6600s. Por lo tanto para evaluar de forma simétrica ambos análisis, se elige como temperatura óptima la alcanzada por el molde de la máquina de termoconformado en este periodo de tiempo.

Para el molde hembra de aluminio, se observa que la temperatura alcanzada tiene regiones isotérmicas en función de la cota en la que se sitúe (con respecto a la distancia de los postizos de calentamiento).

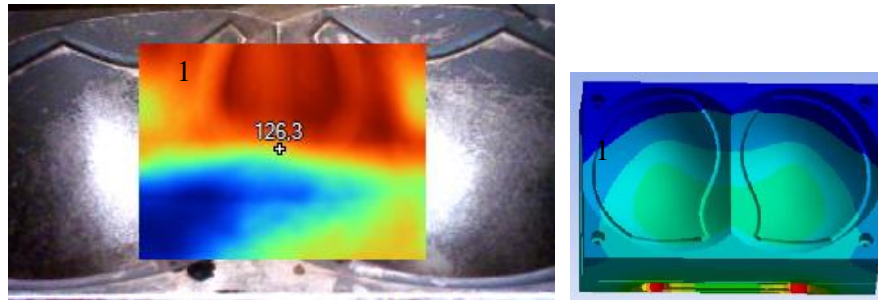


Ilustración 3.5.4.5-11. Ilustración de termografía para molde hembra y ensayo en ANSYS

Se observa que la región “1” es la región que alcanza el mayor valor de temperatura tras el calentamiento del molde 202 °C. E inmediatamente a continuación, existe otra banda isoterma con temperatura más reducidas 190°C y 180°C.

Si se realiza la misma comparativa para el molde macho:

Se observa que para el molde macho, la temperatura es homogénea, para la zona frontal que se termografió, la temperatura máxima que se obtuvo es de 237°C.

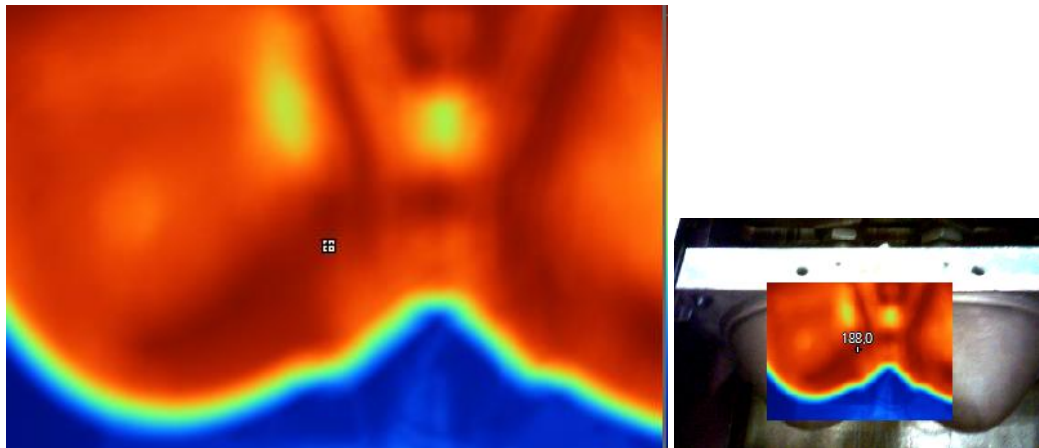


Ilustración 3.5.4.5-12. Termografía realizada sobre molde macho

Para la zona posterior del molde macho, no se pudieron realizar termografías ya que lo imposibilita el respaldo de la máquina de termoconformado.

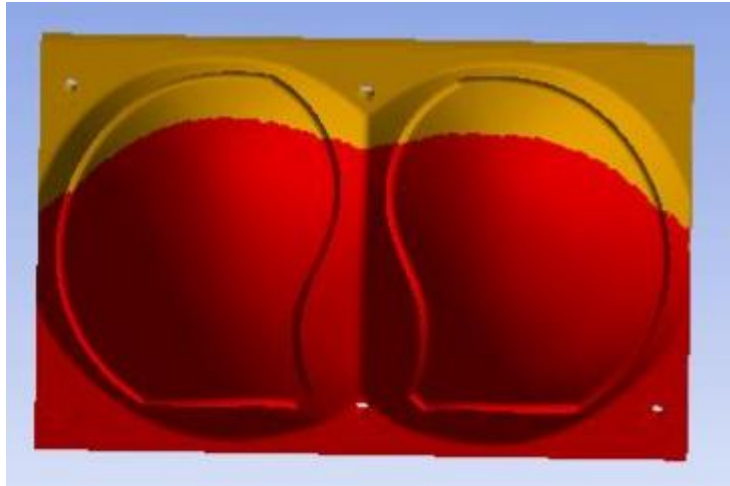


Ilustración 3.5.4.5-13. Distribución de temperaturas para el molde macho talla 100

Para el periodo de tiempo de 6600s, en el software ANSYS se alcanza la temperatura máxima de 236,5°C, que se corresponde con las regiones de color rojo.

Esta temperatura se ve reducida en 10°C, ya que las cavidades que se ubican en el molde macho no alcanzan todo el ancho del molde, esto implica que la generación de calor no alcanza todo el ancho del molde y por lo tanto la zona del molde macho en la que no se genera calor ve reducida la temperatura.

Se concluye con la comparativa realizada, que las temperaturas alcanzadas en el ensayo de ANSYS fueron una guía correcta para establecer la distribución correcta de temperaturas en el molde de termoconformado de la talla 100 para el molde 1560.

Conclusiones de análisis térmico para molde de modelo 1560 y talla 110 (para moldes calentados por placas)

La temperatura óptima de trabajo se alcanza para el molde macho una vez alcanzados los 80 minutos, al igual que para el molde hembra.

La temperatura obtenida para el molde hembra es de y la temperatura para el molde macho es de

Era previsible que los tiempos para alcanzar la temperatura óptima fuese mayor para el molde más grande (talla 110) y menor para el molde más pequeño (talla 100).

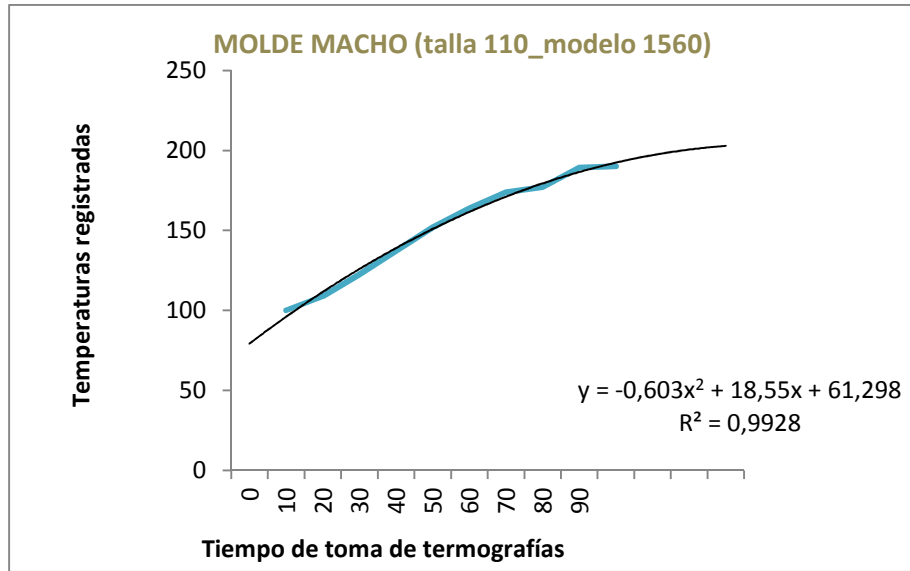


Ilustración 3.5.4.5-14. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde macho, talla 110_modelo 1560

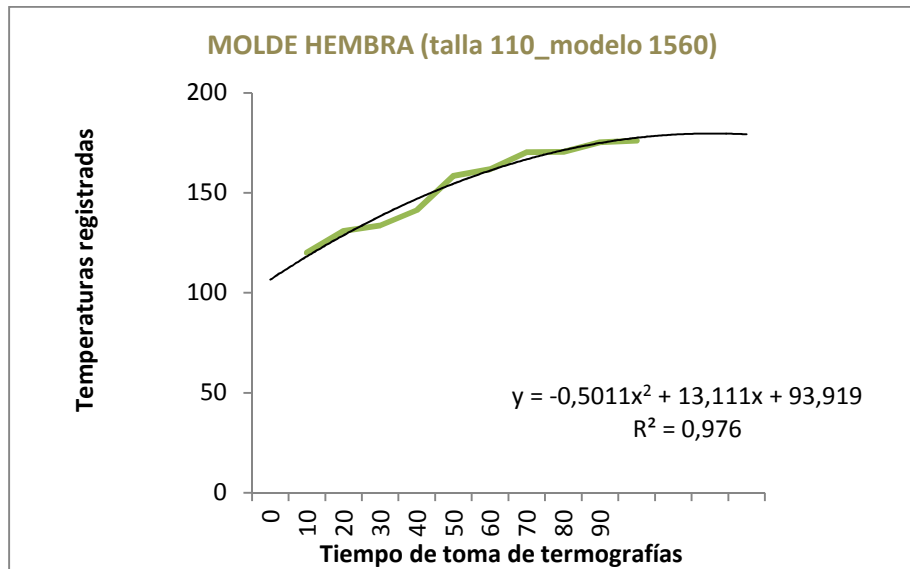


Ilustración 3.5.4.5-15. Gráfico de la temperatura máxima frente al tiempo y correlación del molde hembra, talla 110_modelo 1560

Las ecuaciones que rigen estas temperaturas se caracterizan por:



$$y = -0,603x^2 + 18,55x + 61,298, \text{ para el molde macho}$$

$$y = -0,5011x^2 + 13,11x + 93,919, \text{ para el molde hembra}$$

Tienen ambas una alta relación en cómo se ven afectadas las “Y” al modificar las “X”, lo cual explica que el modelo tomado por las termografías es próximo a la realidad.

Se consigue así, obtener una correlación matemática que relaciona el tiempo y la temperatura del calentamiento del molde hasta la temperatura óptima de termoconformado. Con esta correlación se distribuyen las resistencias en el molde de termoconformado para obtener un calentamiento lo más homogéneo posible.

3.5.5. Temperaturas de proceso en los moldes de termoconformado

Para conseguir una referencia de la temperatura óptima para el termoconformado de la plancha de foam se realizan pruebas con muestras de foam, para las que se modifican temperaturas y tiempos en varias series. Una vez el prehormado termoconformado reproduzca el resultado del prehormado patrón y se corresponda con sus medidas geométricas, se procede a considerar estas variables como referencia. Se puede hablar de temperaturas y tiempos marcados como óptimos en el proceso de termoconformado.

Tal y como se detalló en el apartado 3.1., se realizará durante esta Tesis el estudio concreto para una talla correspondiente al modelo 1413 y otra talla para el modelo 1560.

Se toma para el estudio específico del prehormado de foam con push up (correspondiente al modelo 1413), la talla 105.

Se trata de una talla para la que se debe considerar diversos factores de influencia durante el proceso de termoconformado. Principalmente que se conforma con un volumen elevado de foam, donde la distribución de foam no es homogénea debido a la existencia de push. Durante el conformado de la plancha de foam, se pretende obtener (al igual que en otras tallas) una transmisión de calor homogénea ya que si se produjesen distintas concentraciones de calor se obtendrían al final del proceso dilataciones y contracciones térmicas que se harían especialmente notables

en la copa del prehormado, dado que el volumen de la copa para una talla 105 tiene unas proporciones muy considerables.

Se tomará una relación de las temperaturas que se alcanzan durante el proceso de termoconformado para las tallas a estudio y para una relación de tallas, se consigue obtener así una perspectiva general del proceso de termoconformado que se consideran y relacionan con factores de influencia como: geometría de las copas, moldes de termoconformado o colores de foam empleados, ya que la presión aplicada al molde es idéntico independientemente de la máquina de termoconformado que se emplee.

Con ese objetivo se establecen los valores que a continuación se muestran relativos a las temperaturas referencia (para la máquina y la segunda estación de medida) para las distintas tallas de los prehormados push up:

Para extraer conclusiones que permitan obtener una correlación entre las diferencias tallas push up, se van a tomar datos de las tallas 85, 90, 95 y 105 para el modelo 1413.

Toma de medidas para el prehormado con push up TALLA 85, en el molde de fundición con color de foam oscuro

Para el termoconformado del prehormado de push up de la talla 85 se establecen distintos valores de temperatura, dependiendo de si se trata de una plancha de foam de color claro o una plancha de foam de color oscuro.

Las temperaturas óptimas de funcionamiento se establecen a continuación, debe considerarse que aunque el rango de temperaturas no debe variar de los valores establecidos. Sin embargo, debe realizarse un estudio de calidad de las propiedades físicas del foam ya que si estas se viesen modificadas deberían alterarse de forma puntual las consideraciones de temperatura para el proceso de termoconformado del foam.

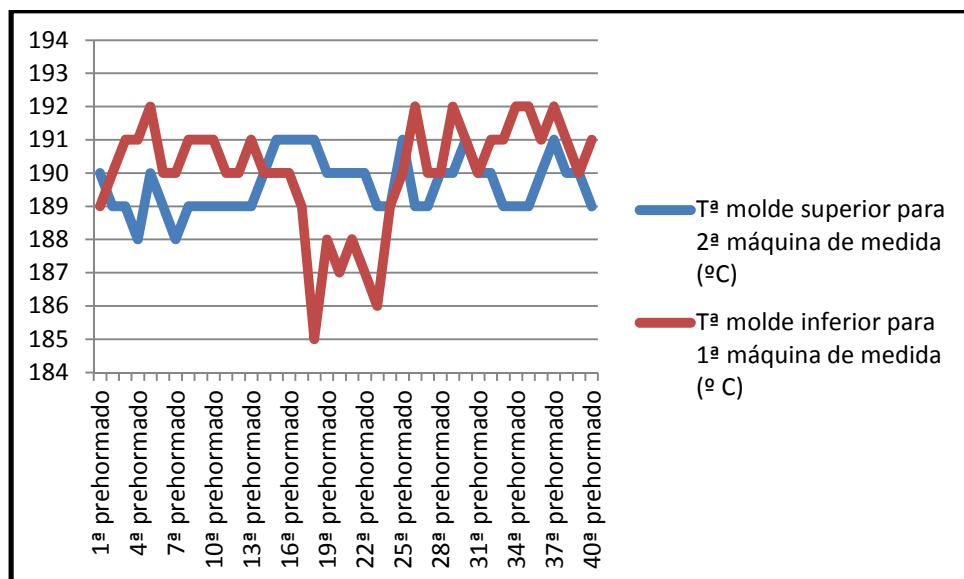
	Tª molde superior para 2ª máquina de medida (ºC)	Tª molde inferior para 1ª máquina de medida (º C)
1ª prehormado	190	189
2ª prehormado	189	190

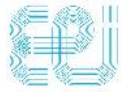


3ª prehormado	189	191
4ª prehormado	188	191
5ª prehormado	190	192
6ª prehormado	189	190
7ª prehormado	188	190
8ª prehormado	189	191
9ª prehormado	189	191
10ª prehormado	189	191
11ª prehormado	189	190
12ª prehormado	189	190
13ª prehormado	189	191
14ª prehormado	190	190
15ª prehormado	191	190
16ª prehormado	191	190
17ª prehormado	191	189
18ª prehormado	191	185
19ª prehormado	190	188
20ª prehormado	190	187
21ª prehormado	190	188
22ª prehormado	190	187
23ª prehormado	189	186
24ª prehormado	189	189
25ª prehormado	191	190
26ª prehormado	189	192

27ª preformado	189	190
28ª preformado	190	190
29ª preformado	190	192
30ª preformado	191	191
31ª preformado	190	190
32ª preformado	190	191
33ª preformado	189	191
34ª preformado	189	192
35ª preformado	189	192
36ª preformado	190	191
37ª preformado	191	192
38ª preformado	190	191
39ª preformado	190	190
40ª preformado	189	191

Las temperaturas del molde superior y del molde inferior se muestran en el siguiente gráfico:





Toma de datos para talla 90 para 1413 en molde mecanizado a partir de tocho, color oscuro

Durante el proceso de termoconformado, se realizan mediciones durante un tiempo determinado para evaluar el producto final. En este caso el producto final será un prehormado push up de la talla 90 en color oscuro.

El marcador de la máquina de termoconformado se programa a una temperatura de molde superior de 211°C y la temperatura del molde inferior es de 187°C. Las temperaturas registradas por las máquinas de termoconformado deben encontrarse en una tolerancia de +/- 2°C con respecto a las temperaturas estándar establecidas.

Sin embargo, para el foam que se está tratando en el momento de la toma de las medidas la temperatura se toma en torno a 206/207°C, se reduce considerablemente la temperatura con respecto a los valores que se tenían predeterminados porque se comprobó tras la realización de los primeros termoconformados se generaba una forma que no se considera adecuada.

Los registros que se obtienen la segunda estación de medida y que contribuyen a verificar que la temperatura en el molde es correcta, se resumen a continuación:

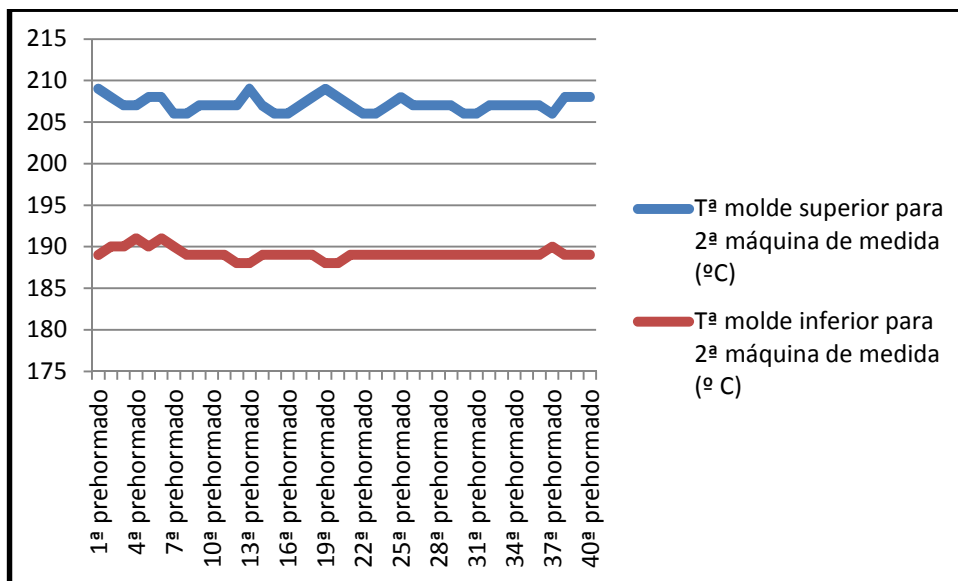
	Tª molde superior para 2ª máquina de medida (°C)	Tª molde inferior para 1ª máquina de medida (° C)
1ª prehormado	209	189
2ª prehormado	208	190
3ª prehormado	207	190
4ª prehormado	207	191
5ª prehormado	208	190
6ª prehormado	208	191
7ª prehormado	206	190
8ª prehormado	206	189



9ª preformado	207	189
10ª preformado	207	189
11ª preformado	207	189
12ª preformado	207	188
13ª preformado	209	188
14ª preformado	207	189
15ª preformado	206	189
16ª preformado	206	189
17ª preformado	207	189
18ª preformado	208	189
19ª preformado	209	188
20ª preformado	208	188
21ª preformado	207	189
22ª preformado	206	189
23ª preformado	206	189
24ª preformado	207	189
25ª preformado	208	189
26ª preformado	207	189
27ª preformado	207	189
28ª preformado	207	189
29ª preformado	207	189
30ª preformado	206	189
31ª preformado	206	189
32ª preformado	207	189
33ª preformado	207	189

34ª prehormado	207	189
35ª prehormado	207	189
36ª prehormado	207	189
37ª prehormado	206	190
38ª prehormado	208	189
39ª prehormado	208	189
40ª prehormado	208	189

El gráfico en el que se recogen las temperaturas del molde superior y del molde inferior:



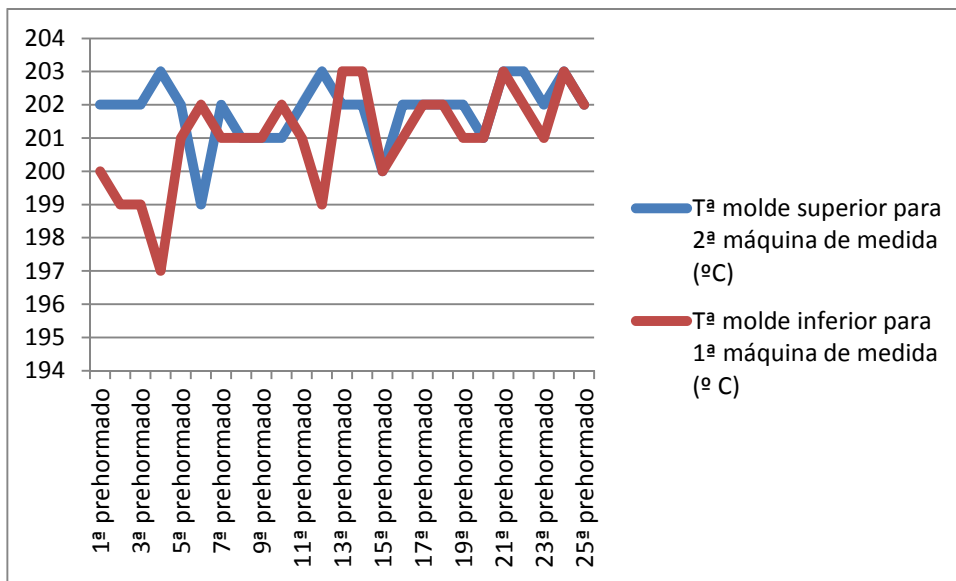


Toma de datos para talla 95 para modelo 1413 en molde de fundición

	Tª molde superior para 2ª máquina de medida (ºC)	Tª molde inferior para 2ª máquina de medida (º C)
1ª preformado	202	200
2ª preformado	202	199
3ª preformado	202	199
4ª preformado	203	197
5ª preformado	202	201
6ª preformado	199	202
7ª preformado	202	201
8ª preformado	201	201
9ª preformado	201	201
10ª preformado	201	202
11ª preformado	202	201
12ª preformado	203	199
13ª preformado	202	203
14ª preformado	202	203
15ª preformado	200	200
16ª preformado	202	201
17ª preformado	202	202
18ª preformado	202	202
19ª preformado	202	201
20ª preformado	201	201
21ª preformado	203	203
22ª preformado	203	202

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

23ª preformado	202	201
24ª preformado	203	203
25ª preformado	202	202

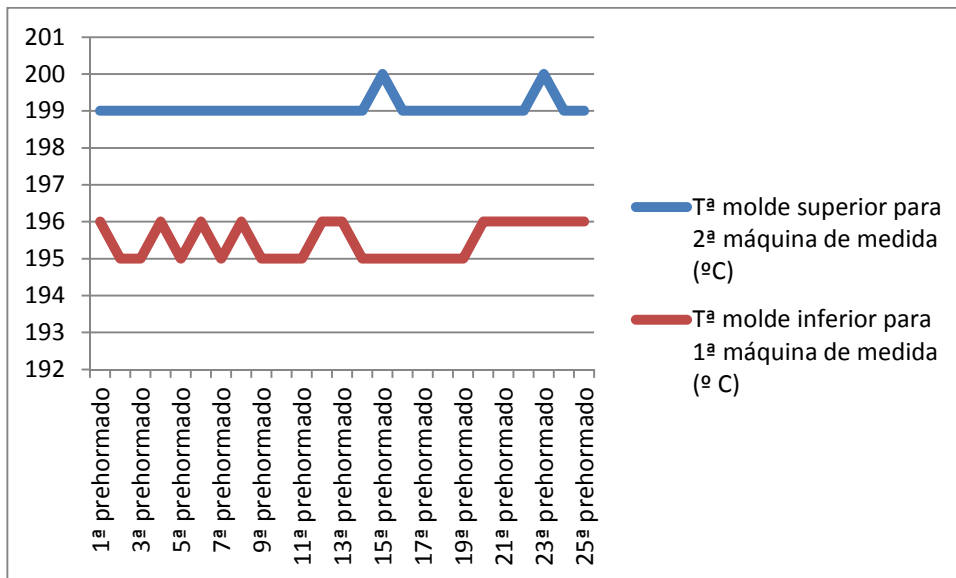




**Toma de datos para el preformado con modelo 1413 y talla 105 en molde
partiendo de tocho**

	Tª molde superior para 2ª máquina de medida (°C)	Tª molde inferior para 2ª máquina de medida (° C)
1ª preformado	199	196
2ª preformado	199	195
3ª preformado	199	195
4ª preformado	199	196
5ª preformado	199	195
6ª preformado	199	196
7ª preformado	199	195
8ª preformado	199	196
9ª preformado	199	195
10ª preformado	199	195
11ª preformado	199	195
12ª preformado	199	196
13ª preformado	199	196
14ª preformado	199	195
15ª preformado	200	195
16ª preformado	199	195
17ª preformado	199	195
18ª preformado	199	195
19ª preformado	199	195
20ª preformado	199	196
21ª preformado	199	196

22ª preformado	199	196
23ª preformado	200	196
24ª preformado	199	196
25ª preformado	199	196



Se realiza el estudio de preformados del modelo 1560, aquellos que no incorporan push up, ya que servirán para extraer conclusiones de la influencia del push up en el proceso de termoconformado.

Para ello se tomarán y se evaluarán las temperaturas para las tallas 90, 105 y 110



Toma de datos para el prehormado 1560 talla 90 en molde partiendo de tocho

Para el prehormado de la talla 90 la temperatura óptima de operación de termoconformado es de 195 °C y para obtener el prehormado final correcto. Se muestran en la tabla siguiente las temperaturas que se toman para 40 prehormados que se verifican cómo correctos.

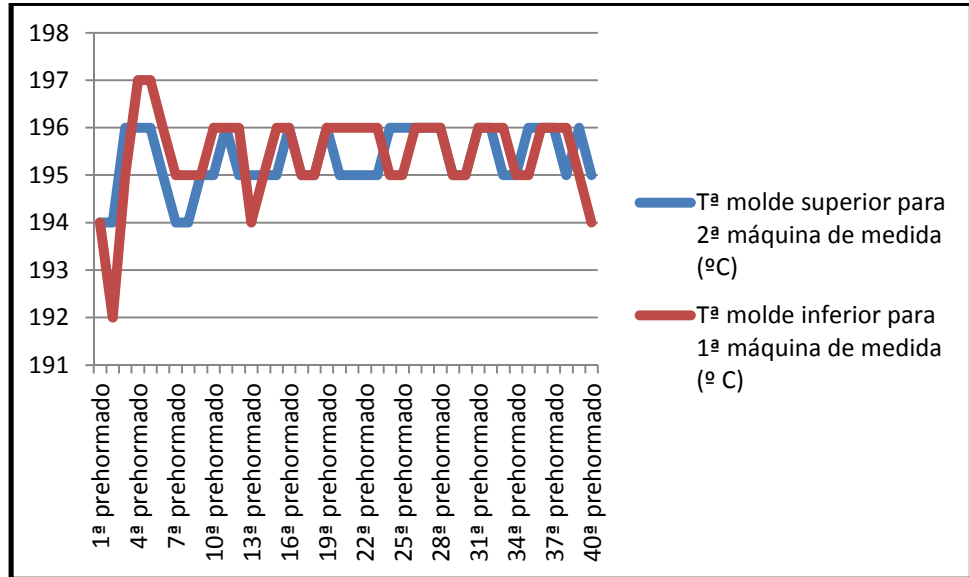
	Tª molde superior para 2ª máquina de medida (°C)	Tª molde inferior para 1ª máquina de medida (°C)
1ª prehormado	194	194
2ª prehormado	194	192
3ª prehormado	196	195
4ª prehormado	196	197
5ª prehormado	196	197
6ª prehormado	195	196
7ª prehormado	194	195
8ª prehormado	194	195
9ª prehormado	195	195
10ª prehormado	195	196
11ª prehormado	196	196
12ª prehormado	195	196
13ª prehormado	195	194
14ª prehormado	195	195
15ª prehormado	195	196
16ª prehormado	196	196
17ª prehormado	195	195
18ª prehormado	195	195

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

19ª prehormado	196	196
20ª prehormado	195	196
21ª prehormado	195	196
22ª prehormado	195	196
23ª prehormado	195	196
24ª prehormado	196	195
25ª prehormado	196	195
26ª prehormado	196	196
27ª prehormado	196	196
28ª prehormado	196	196
29ª prehormado	195	195
30ª prehormado	195	195
31ª prehormado	196	196
32ª prehormado	196	196
33ª prehormado	195	196
34ª prehormado	195	195
35ª prehormado	196	195
36ª prehormado	196	196
37ª prehormado	196	196
38ª prehormado	195	196
39ª prehormado	196	195
40ª prehormado	195	194



Se representan las temperaturas del molde superior y del molde inferior en el siguiente gráfico:



Toma de datos para talla 110 para 1560 prehormado simple en molde partiendo de tocho

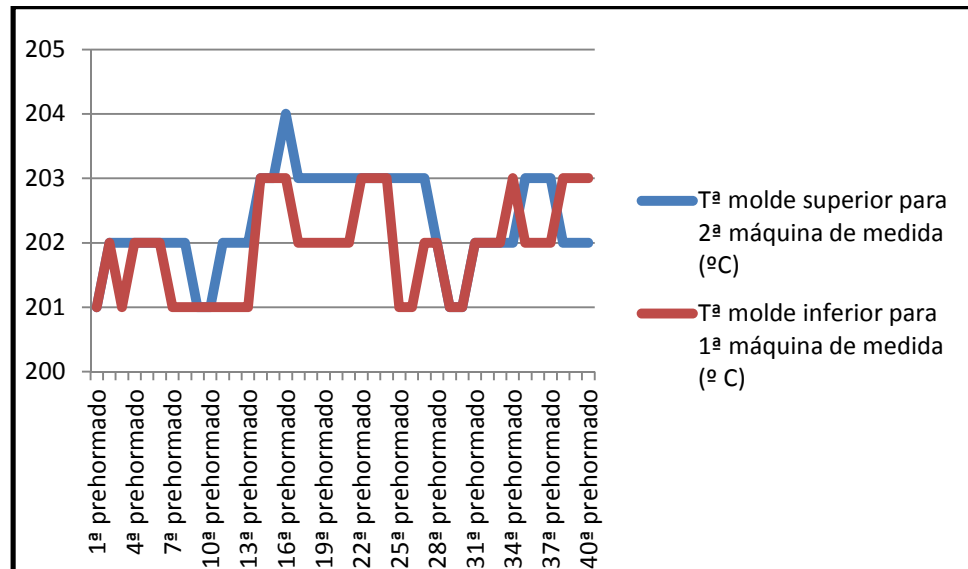
La temperatura de trabajo que se toma como óptima para realizar el prehormado de la talla 110 es para ambos moldes de 203 °C. Esta temperatura debe ser verificada en el segundo dispositivo medidor, y sólo podría oscilar dos grados para mantener las condiciones óptimas del prehormado final.

	Tª molde superior para 2ª máquina de medida (°C)	Tª molde inferior para 2ª máquina de medida (° C)
1ª prehormado	201	201
2ª prehormado	202	202
3ª prehormado	202	201
4ª prehormado	202	202
5ª prehormado	202	202
6ª prehormado	202	202
7ª prehormado	202	201
8ª prehormado	202	201
9ª prehormado	201	201
10ª prehormado	201	201
11ª prehormado	202	201
12ª prehormado	202	201
13ª prehormado	202	201
14ª prehormado	203	203
15ª prehormado	203	203
16ª prehormado	204	203
17ª prehormado	203	202



18ª preformado	203	202
19ª preformado	203	202
20ª preformado	203	202
21ª preformado	203	202
22ª preformado	203	203
23ª preformado	203	203
24ª preformado	203	203
25ª preformado	203	201
26ª preformado	203	201
27ª preformado	203	202
28ª preformado	202	202
29ª preformado	201	201
30ª preformado	201	201
31ª preformado	202	202
32ª preformado	202	202
33ª preformado	202	202
34ª preformado	202	203
35ª preformado	203	202
36ª preformado	203	202
37ª preformado	203	202
38ª preformado	202	203
39ª preformado	202	203
40ª preformado	202	203

El gráfico en el que se recogen las temperaturas del molde superior y del molde inferior se muestran en el siguiente gráfico:





Tras realizar ensayos de prueba-error, se establece un recopilatorio de las temperaturas estándar de conformado en función de las tallas para el modelo 1413 por su variabilidad de temperaturas dependiendo del molde superior- molde inferior, que se muestran a continuación:

TABLA PARA FOAM CLAROS PARA MODELO 1413

Talla	marcador máquina		2ª estación de medida	
	Tª molde superior (°C)	Tª molde inferior (°C)	Tª molde superior (°C)	Tª molde inferior (°C)
80	180	168	190	190
85	182	168	190	190
90	182	183	193	193
95	199	201	200	190
100	190	197	203	204
105	187	197	196	196

TABLA PARA FOAM OSCUROS PARA MODELO 1413

Talla	marcador máquina		2ª estación de medida	
	Tª molde superior (°C)	Tª molde inferior (°C)	Tª molde superior (°C)	Tª molde inferior (°C)
80	181	168	192	192
85	191	178	194	194
90	189	187	200	200
95	201	204	202	202
100	195	201	213	210
105	187	197	196	196

Planteamiento del problema

Con la relación de datos obtenidos se pueden analizar algunas características del proceso de termoconformado.

En primer lugar se aprecian diferencias entre los termoconformados realizados en las máquinas con molde de fundición y las máquinas de termoconformado con molde partiendo de tocho. Los moldes de fundición están procesan las tallas 80,85,90 y 95. Y en los moldes de termoconformado fabricados a partir de tocho se procesan las tallas 90, 95, 100, 105 y 110.

Tras realizar las tomas de datos en el proceso de termoconformado, se observa que las temperaturas en el proceso podrían sufrir ligeras variaciones. Esto es debido a que los moldes permanecen abiertos para retirar el prehormado. Si este tiempo se prolonga, la temperatura podría descender en los moldes, de ahí la importancia de comprobar que el prehormado se encuentra dentro de las tolerancias especificadas.

Resultados del termoconformado en moldes fabricados por fundición de aluminio

Realizando una evaluación de los moldes de fundición para los modelos 1413 y 1560. Se consideran las siguientes características a estos moldes:

El calentamiento de los moldes de fundicion se realiza por medio de placas base, este calentamiento hace que la distribución se realice de forma más homogénea. No deberían existir puntos de concentración de calor.

- Para los moldes fabricados por fundición surge la necesidad de recubrirlos en la cara interna de los moldes macho- hembra con teflón, se trata de un tejido protector del molde que garantiza que no exista un desgaste acusado del mismo. El desgaste se relaciona con la porosidad debida al proceso de fabricación del aluminio, ya que durante la colada atomos de hidrógeno quedan retenidos en la fundicion del aluminio.
- Tras la toma de datos durante el termoconformado, se aprecia una ligera variación en la temperatura óptima de proceso en función del color del foam que se termoconforme. Necesitando mayor temperatura para el termoconformado de la plancha de color oscuro que para la plancha de color claro. Además de esta diferencia de temperaturas debida al color de la plancha de termoconformado que



se emplee, se debe considerar la posible variación de temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ que podría darse durante el proceso para adecuar las variables de termoconformado a las propiedades del foam recibido. Al realizar el estudio y determinar la calidad del foam recibido por el proveedor, se podría considerar rígido con respecto a las propiedades estándar estimadas. En este punto debería tomar la temperatura del termoconformado del foam oscuro, también para procesado del foam claro.

- La temperatura que se alcanza en los moldes de fundición, tanto para el molde superior como para el molde inferior son idénticos, o a penas existe una diferencia de 1°C o 2°C por lo que el volumen tanto del molde macho como del molde hembra pueden ser llevados al punto óptimo de calentamiento con la misma temperatura.

Resultados del termoconformado en moldes fabricados a partir de tocho de aluminio

El calentamiento para los moldes de termoconformado realizados a partir de tocho se realiza con resistencias de inducción. Estas resistencias se alojan en cavidades específicas para ello y tendrán una distribución características en función de la distribución de temperaturas que se busque obtener.

Se analizaron de forma más concreta las tallas 100 para el modelo 1560 y 105 para el modelo 1413. En primer lugar, se trata de modelos que se termoconforman en molde de aluminio fabricado a partir de un tocho modelando por arranque de viruta.

Actualmente se emplea este modo de fabricación para los moldes de termoconformado porque se reduce considerablemente el precio con respecto a los moldes de fundición.

- Se comprueba que el resultado del prehormado de foam tras su procesado es al tacto más suave (aunque la calidad de los prehormados de foam termoconformados en el molde de aluminio se consideren perfectamente válidos). La explicación de estas diferencias de textura está relacionada con el calentamiento de la plancha de foam, concretamente, al producirse el contacto de la plancha de foam con el teflón, aumenta la fricción existente entre estos dos elementos que viene inducida y es proporcional a la temperatura. A mayor temperatura mayor será la fricción y por lo tanto la adhesión de la plancha de foam al teflón será mayor. De ahí la posibilidad de obtener una textura diferente motivada por el estado de desgaste del teflón.
- En este caso el calentamiento se realiza mediante resistencias que están situadas en cavidades interiores del molde.
- Se comprueba que las temperaturas del molde superior y del molde inferior no son idénticas, tienen una diferencia de temperaturas que puede abarcar desde los 2 °C hasta los 8°C, dependiendo de la talla y del modelo.

Se añaden las siguientes consideraciones:

- El color del foam: se concluye que es un factor influyente en el proceso que se aprecia especialmente en el termoconformado con moldes de fundición, dependiendo de si el foam es de color oscuro o color claro se debe adecuar la temperatura del proceso de termoconformado.

Para el termoconformado en los moldes de fundición es necesario aumentar la temperatura de proceso para los foam de color oscuro.

Con respecto a las temperaturas del molde superior y del molde inferior, se puede concluir lo siguiente:

Para el molde de termoconformado de fundición, las temperaturas de ambas partes del molde (molde superior y molde inferior) son generalmente equivalentes.

Para los moldes de termoconformado fabricados a partir de tocho, la recogida de datos muestra que los valores de temperatura de molde superior y temperatura de molde inferior no son idénticos. Varía la temperatura aplicada a uno u otro molde porque no existe una distribución de calor homogénea, es decir, el calor se induce por



medio de resistencias que van alojadas en los moldes por lo que el reparto de calor no es uniforme, existirán ligeras concentraciones y es de suma importancia realizar un exhaustivo análisis de la distribución de las resistencias para conseguir un reparto de calor lo más homogéneo posible.

De ahí que existan diferentes configuraciones de resistencias en función de los estudios térmicos realizados para conseguir que la transmisión de calor sea lo más uniforme posible.

De esta explicación se concluye que para el modelo 1413 realizados en los moldes de termoconformado a partir de tocho, la temperatura óptima del molde superior y las temperaturas óptimas del molde inferior no son idénticas e incluso variaciones más salientables como en el caso de la talla 90 que pueden existir hasta 8° de diferencia entre molde superior e inferior.

Para el modelo 1560, la diferencia de temperaturas entre molde superior y molde inferior no se hace tan notable, incluso en la mayoría de las tallas puede ser idéntica.

Una de las razones por las que se puede dar esta paradoja para una misma máquina de termoconformado, para un mismo procedimiento de fabricación de molde es que el modelo 1413 tendrá distintos espesores debido al push-up, por lo que la situación de las resistencias debe ser especialmente cuidadosa, ya que el volumen de foam en el prehormado no será homogéneo y por lo tanto el calor que se aplica podría no serlo.

Durante el calentamiento y conformado debe realizarse un control más exhaustivo del reparto de temperatura en el volumen del foam así como de las dilataciones y contracciones que se produzcan, garantizando que no existan deformaciones o contracciones en el enfriamiento

Es un caso excepcional el estudio de la talla 105 para el modelo 1413. El volumen, la capacidad de este prehormado y la existencia de concentración de espesores en el push aumentan la complejidad para obtener un calentamiento uniforme o homogéneo con un resultado óptimo. Es por ello que se decide aplicarle a ambas partes del molde el mismo valor de temperatura, evitando la existencia de dilataciones térmicas por distintas velocidades de calentamiento.

- También se contempla que conforme aumentamos la talla, la temperatura aumenta. Con la excepción de la talla 105 para el modelo 1413, para la que se reduce considerablemente la temperatura con respecto a la talla 100 del mismo modelo debido a que el volumen de dicha talla tiene dimensiones considerables que requieren de un control durante el proceso térmico, tal y cómo se explicó en líneas superiores.

Deben considerarse aspectos que afectan a la regulación de temperatura de la máquina de termoconformado durante el proceso. Entre ellos se mencionó en líneas superiores que pueden ser producidos por variaciones de calidad y comportamiento del foam recibido. Pero los factores que pueden crear mayor inestabilidad durante el termoconformado de forma diaria son los cambios de temperatura ambiente o corrientes de aire. Estas variables pueden interferir en la obtención del prehormado final, por ello deben reajustarse sus valores si se contempla que el resultado final del prehormado no se corresponde con las especificaciones óptimas de termoconformado.

La temperatura de termoconformado en la máquina puede ser conocida y ser coincidente con la marcada en los registros como temperatura óptima de operación, sin embargo cuando se realizan los controles de calidad del producto, este no se ajusta al modelo patrón que fue en su momento diseñado y debe ser rechazado.

Algunas de las características finales por las que se puede concluir que el prehormado final no coincide con el prehormado final requerido viene determinado por la forma de la copa y el contorno de la copa, para rectificar y obtener una forma de copa y contorno correcto se le da a la máquina mayor valor de temperatura. Otra opción sería darle mayor tiempo para termoconformar, pero esto retrasaría la obtención del prehormado final y por lo tanto se produciría un retraso en la producción general. En el apartado correspondiente a “obtención pieza final y estandarización”, se detallarán los controles de calidad realizados para detectar la influencia de los factores que afectan a la regulación de temperatura.

Tras realizar el estudio de investigación sobre moldes de termoconformado para prehormados elastoméricos, y en este apartado en concreto, tras desarrollar la influencia de las variables térmicas que intervienen, se consigue obtener una



correlación matemática que permite relacionar la temperatura, el tiempo de calentamiento, los elementos de generación de calor y la geometría del molde.

Se podrían establecer dos correlaciones en función de la talla del preformado que se termoconforme. La talla condiciona el volumen del preformado y por lo tanto la geometría del molde de termoconformado, en función del volumen del molde de termoconformado se diseña el sistema de generación de calor que pueda proporcionar una distribución de calor homogéneo.

Tal y cómo se explicó, para la talla 100 o inferiores el calentamiento se podría realizar por placas generadoras de calor. Sin embargo para tallas superiores, el calentamiento debería realizarse por resistencias con alojamiento en el interior del molde que permitiría realizar un reparto más homogéneo del calor, necesario por el elevado volumen del molde.

Ahora bien, si analizamos las ecuaciones que representan la regresión a la media de los datos obtenidos en los ensayos en ANSYS y de las tomas experimentales para :

Talla 100, molde hembra:

$$y = 2,1348x^2 + 42,803x - 7,7818, \text{ para el molde hembra}$$

$$y = 0,2065x^2 + 11,538x + 3,6198, \text{ para molde hembra, ANSYS.}$$

Se observa que el parámetro o escala de la ecuación matemática de la parábola experimental toma un valor de hasta 10 veces que el parámetro de la ecuación regresiva obtenida en ANSYS. Esto indica que para igual tiempo, la temperatura que se alcanzará en el molde de termoconformado es mayor que la obtenida en el ensayo en ANSYS. Esta “desviación” es debida a que la generación de calor en el molde de termoconformado no es ideal.

De igual manera se realiza el comparativo para los moldes macho de la talla 100. Obteniendo una escala de la ecuación tiempo-temperatura de valor 5 para el molde de termoconformado macho experimental frente al molde de termoconformado en ANSYS. A continuación, se realiza un comparativo de las ecuaciones matemáticas para el molde macho:

$$y = 2,6254x^2 + 43,408x + 23,773, \text{ para el molde macho experimental}$$

$$y = 0,5199x^2 + 7,4578x + 21,999, \text{ para molde macho, ANSYS}$$

El valor del parámetro en este caso es inferior y es debido a que el volumen que termoconformará el prehormado para el molde macho es mayor que para la misma superficie del molde hembra, esto implica que el calentamiento de todo el volumen sea más lento y por lo tanto más próximo al comportamiento ideal de los ensayos en ANSYS.

Si se realiza el mismo estudio para la talla 105, se obtienen las siguientes conclusiones:

Se trata de un molde con calentamiento por resistencias internas, por lo tanto es previsible que la distribución de calor sea más homogénea. Se obtienen las siguientes ecuaciones para el molde hembra:

$$y = 0.9909 x^2 + 17,801x + 124.45, \text{ para molde hembra experimental}$$

$$y = 0.0673x^2 + 15.9x + 6.2967, \text{ para molde hembra en ANSYS}$$

Se obtiene un parámetro de correlación de valor 15, esto es debido a que el calentamiento del molde de termoconformado para igual tiempo, la temperatura que se alcanza es mayor de forma experimental que en los ensayos de elementos finitos ANSYS realizados.

De igual forma se realiza un estudio matemático para el comportamiento de generación de calor del molde macho:

$$y = -0.4019 x^2 + 14.114x + 66.537, \text{ para molde macho ANSYS}$$

$$y = -0.8661x^2 + 29.479x - 18.302, \text{ para molde macho experimental}$$

Obteniéndose una relación de parámetro de las ecuaciones de regresión media de aproximadamente 2, es decir que para el molde de termoconformado macho experimental se obtendrá en menor tiempo la misma temperatura que lo previsto en ANSYS.



Con la obtención de estos parámetros de relación ANSYS- experimental, se sientan las bases para predefinir la distribución de calor en los moldes de termoconformado, en función de sus parámetros geométricos (concretamente la talla) y de ensayos ANSYS. Esto implica que se predeterminará la relación de tiempo-temperatura de los moldes de termoconformado experimentales, sin necesidad de realizar moldes previos con distintas distribuciones de elementos generadores de calor, lo que reduce considerablemente el coste y los tiempos de desarrollo de moldes de termoconformado. Por otro lado, aumenta la precisión en la generación y distribución de calor lo que implica que el resultado obtenido en los prehormados de foam sea óptimo y se reduzcan los defectos durante y post-proceso.

3.6. Caso de estudio y desarrollo de la talla 120 del modelo 1560

Para desarrollar el molde de una nueva talla de sujetador (tanto para obtener un prehormado simple como para obtener un prehormado push up), existen dos vías que permiten su obtención, tal y como se comentó en el [apartado 3.3.3](#).

Una de ellas es iniciar el proceso de desarrollo en CAD sin referencias ni relaciones previas. La otra opción es partir de un molde modelado en CAD para una talla en concreto y sobre dicho modelado realizar las modificaciones geométricas oportunas para obtener el molde de termoconformado de la talla correspondiente.

Para desarrollar la talla 120 del modelo 1560, se decide iniciar el proceso con los datos de entrada de la talla 115 del mismo modelo. Se parte así del CAD del molde macho y del molde hembra de la talla 115 y se realizan sobre él las modificaciones necesarias.

Previamente al diseño en CAD, se procede a la toma de medidas físicas de la modelo, y se recrea la copa patrón que es considerada como punto de inicio del proceso.



Ilustración 3.6. Copa patrón confeccionada manualmente correspondiente al modelo 1560 y talla 120.

3.6.1. Digitalizado y suavizado de la copa 120 del modelo 1560

Se realiza el digitalizado de la copa 120 y comienza el proceso en el que se busca un compromiso entre los tramos realizados y el suavizado final. La



consideración de muchos tramos implica que el suavizado final sea más próximo a la realidad, sin embargo dificulta la operativa de desarrollo CAD.

El primer paso es la consideración de un plano de referencia, que permite recrear planos con los posicionamientos que se consideren adecuados y que den la curvatura óptima.

Se comienza con la generación de un plano partiendo de tres puntos paralelo al eje de la copa si es este eje el dirigido por el vector director del plano xy, es decir que este posicionado a 0° con el eje del molde.

El proceso comienza con tres puntos sobre la geometría que conformen un curva referencia, de la que se pueda extraer una relación de análisis de curvatura. Se buscará que no existan puntos de inflexión ya que esto determinará cambios bruscos de curvatura e partes cóncavas a partes convexas. Se busca recrear una curva suave.

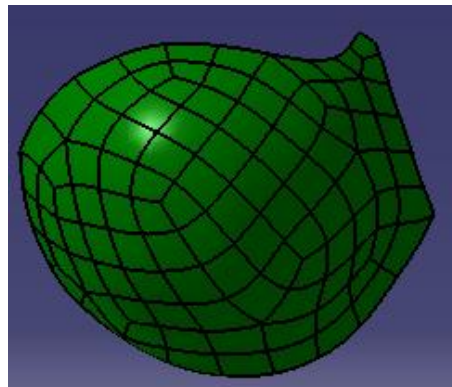


Ilustración 3.6.1-1. Digitalizado de la copa 120

La curva soporte en este caso se trata de un digitalizado que fue reconstruido por superficies (no simétricas en su totalidad) por lo que es necesario realizar un suavizado de dicha superficie de partida.

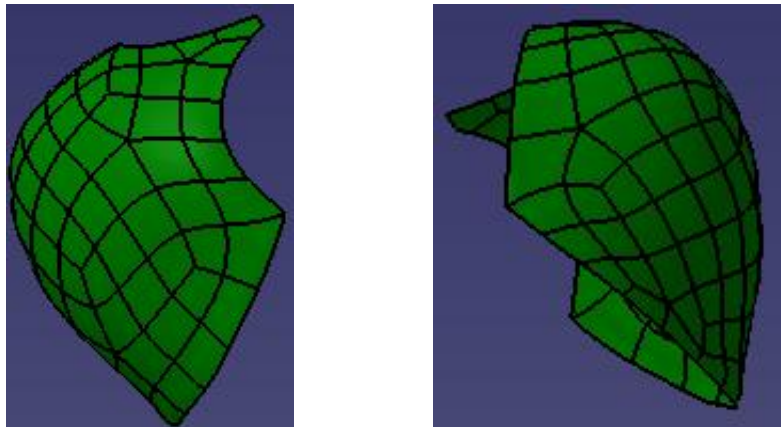


Ilustración 3.6.1-2. Digitalizado recibido de la copa patrón de talla 120

La primera etapa comienza con la realización de una curva guía, se usará el comando *connect*, para el que necesitamos definir dos puntos con dos tangentes a dichos puntos y que a su vez sea paralelo al plano xy, que fue definido anteriormente.

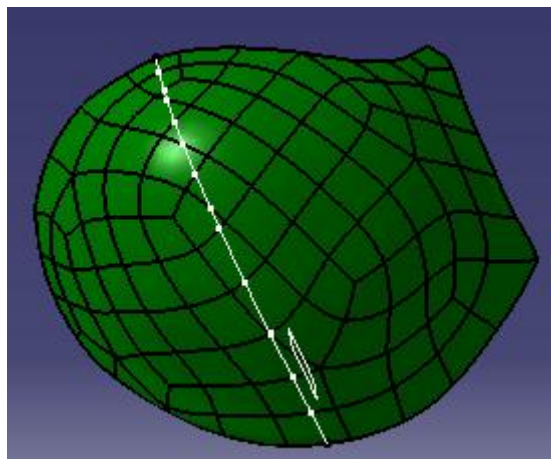


Ilustración 3.6.1-3. Generación de curva guía para el suavizado

Las tangentes (resaltadas en amarillo) que se realizan en los puntos extremos, se muestran a continuación. Para la elección del punto sobre el que se traza la tangente, se debe contemplar que este debe encontrarse en una zona de curvatura idéntica a los otros puntos. La flecha indica cómo para el análisis realizado, no se fue hasta el extremo de la copa digitalizada, ya que encontraríamos un punto de inflexión.

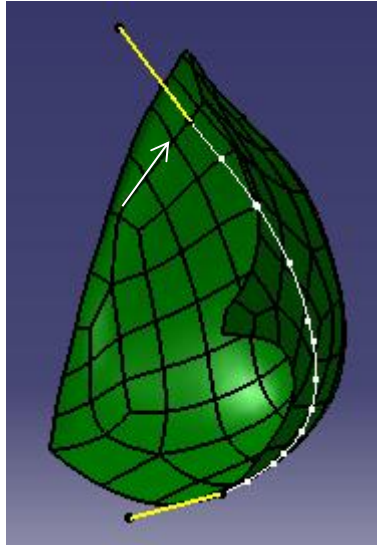


Ilustración 3.6.1-4. Comprobación de tangencia a los puntos considerados

Con los puntos definidos y las tangentes definidas, se realiza la operación *connect*. Esta curva se corresponde con una curva cuadrática, su segunda derivada es constante y consigue así mantener la invariabilidad, no existirá razón de cambio de la función en ese punto (sin puntos de inflexión). La curva cuadrática con la que determinó es una circunferencia.

Sobre dicha curva se pueden ajustar los elementos de tensión, que se corresponden con los parámetros de las curvas cuadráticas. En este punto se debe tomar un compromiso entre los puntos y el suavizado. Para que exista una correspondencia con la realidad y a su vez se obtenga un suavizado correcto.

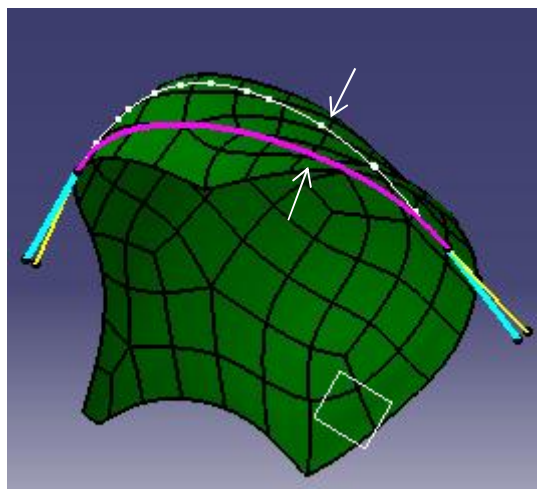


Ilustración 3.6.1-5. Ajuste de curva guía

En esta imagen se muestra como la curva que tenemos como objetivo que sea la de curvatura, no se ajusta bajo la tolerancia estipulada de menos de un mm, modificamos así los parámetros de tensión de esta curva.

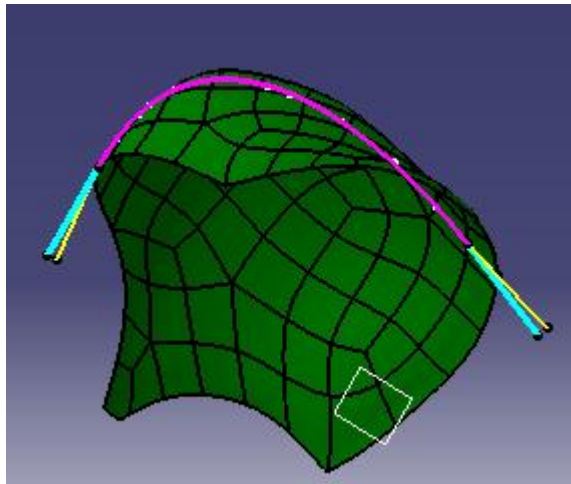


Ilustración 3.6.1-6. Ajuste final de curva guía

Se garante así el compromiso por debajo del correspondiente valor de tolerancia con una constante de 1,6 de tensión.

De esta manera se puede garantizar que el perfil de la curvatura obtenida con respecto al digitalizado inicial es correcto, es decir no existen puntos de inflexión ni cambios de tendencia considerables.

Se procede entonces a la representación de otra línea de referencia mediante el comando *connect*, con las mismas características que en líneas superiores indicados, mediante la selección de dos puntos y de dos tangentes a estos puntos que a su vez formen un ángulo determinado con la línea de referencia. Y se modifican los ángulos de tensión hasta tener valores, que permitan que las curva se pueda considerar suavizada y dentro de las tolerancias reconocidas.

Se van realizando así distintas curvas de forma que vayan describiendo curvas suavizadas, eligiendo la superficie tal que tenga la misma curvatura y no vaya a estar

dentro de puntos de inflexión que puedan generar errores posteriores en el suavizados.

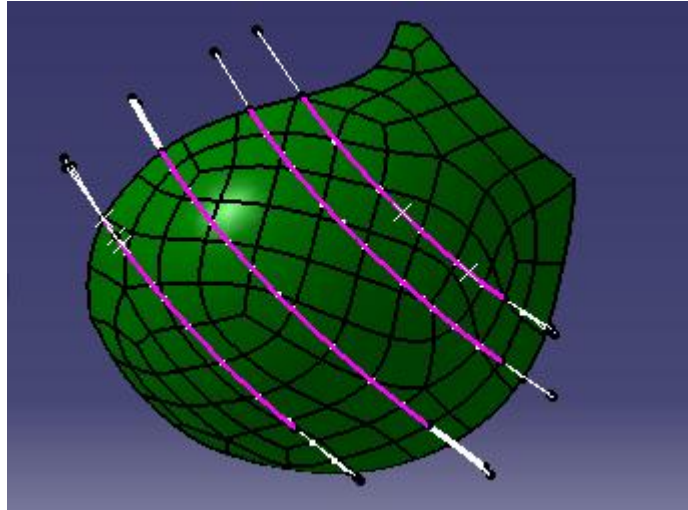


Ilustración 3.6.1-7. Obtención de curvas suavizadas sobre la copa

Se realizan análisis de curvatura de las curvas que se van realizando para comprobar que no existen puntos de inflexión y que su curvatura se corresponde con la curvatura que debe adquirir la copa. A continuación se muestra el análisis de curvatura de las intersecciones que se realizaron, y que verifican que es correcto el procedimiento que se ha seguido.

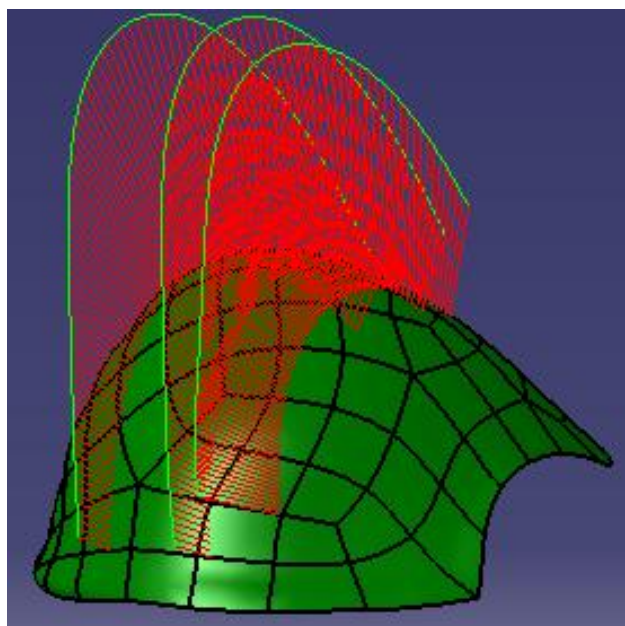


Ilustración 3.6.1-8. Análisis de curvatura

Seguidamente debe realizarse la superficie que permita cerrar dicho contorno, para así poder utilizar el comando *multisection*. Es imprescindible cerrar los cuatro comandos de la superficie, para ello se utilizan *splines* unidas mediante puntos entre las distintas curvas suavizadas (las que forman 0° con respecto al eje del preformado), se obtiene así la siguiente referencia:

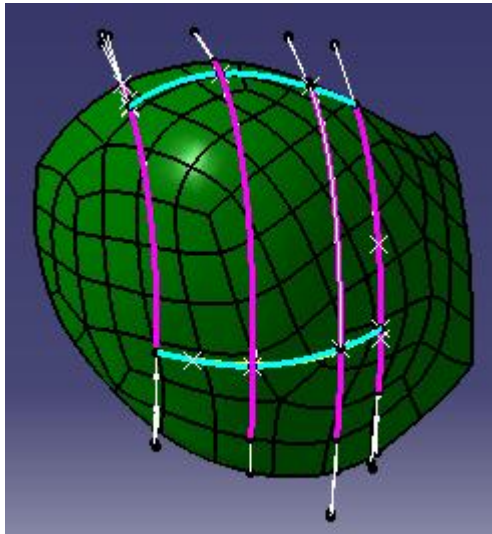


Ilustración 3.6.1-9. Generación de superficies I

Se obtiene así la superficie suavizada, realizada mediante las líneas de segundo grado.

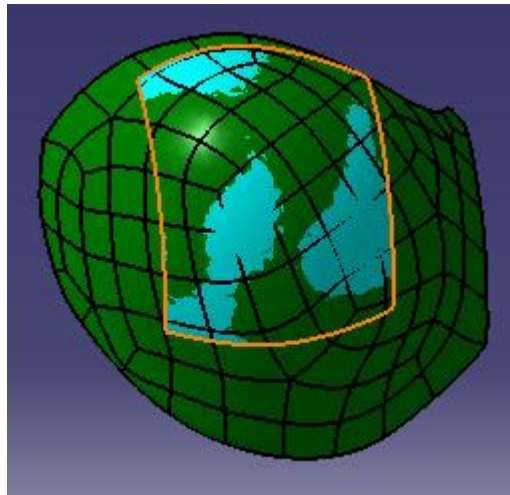


Ilustración 3.6.1-10. Generación de superficies II

Realizando la misma operativa para obtener las curvas de segundo grado suavizadas y manteniendo la superficie cerrada para establecer así la superficie que suavice la geometría obtenida del digitalizado. Obtenemos las siguientes representaciones:

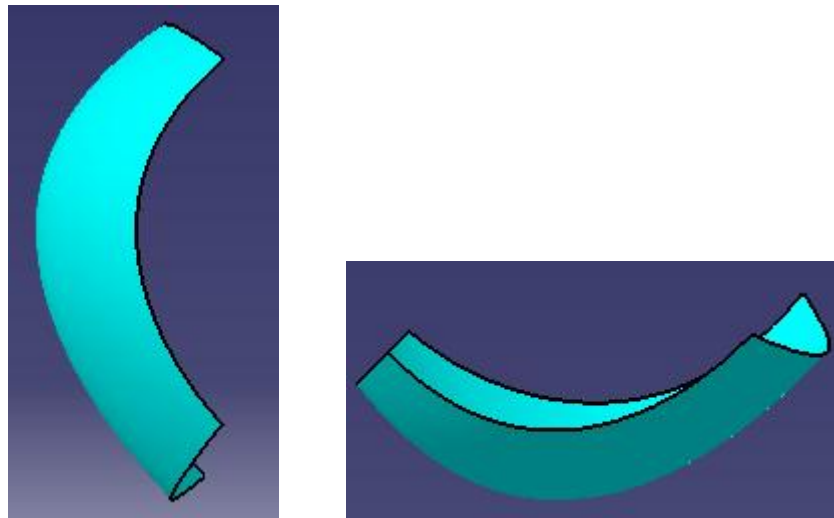


Ilustración 3.6.1-11. Superficie s suavizadas I

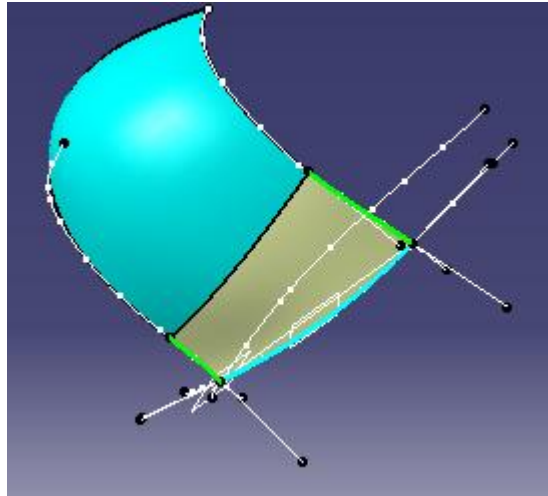


Ilustración 3.0-5.1-12. Superficie suavizada II

En esta ocasión se establece esta otra superficie tomando la consideración de que es tangente a la previamente realizada, el comando utilizado para representar la superficie suavizada, en este caso es el comando *fill*, ya que permite obtener una superficie de mayor calidad entre 4 *boundaries* con respecto a las superficies de *multisections* para las cuales sería necesario establecer curvas intermedias.

Obtenida la copa del sujetador perteneciente a la talla 120 suavizada, se procede a partir de esta copa a la reproducción del molde de termoconformado para el modelo 1560 de esta talla.

Se toma como punto de partida el molde del modelo 1560 para la talla 115, y estableciendo una comparación de este molde con la copa digitalizada de la talla 120, se obtiene el molde del modelo 1560 para la talla 120.

3.6.2. Recreación del molde de la talla 120 a partir de la talla 115 del modelo 1560

Cavidad hembra

Para la realización del molde de la talla 120, se inicia el proceso con el molde correspondiente al molde hembra de la talla 115.

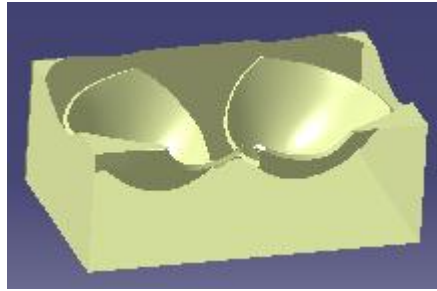


Ilustración 3.6.2-1. Molde correspondiente a la talla 115

Se parte por lo tanto del molde de la talla 115, y se recrea la curva de la copa 115.

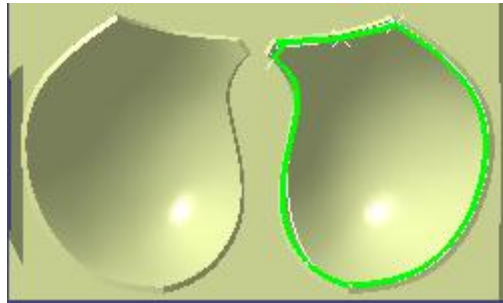


Ilustración 3.6.2-2. Recreación de la curva del molde de la talla 115

A continuación se debe representar la copa 120 sobre el molde de la talla 115, se sitúa referenciada a dos planos sobre el molde la superficie correspondiente a la copa que se ha obtenido tras la digitalización.

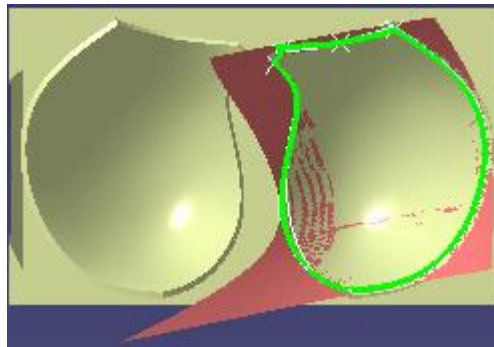


Ilustración 3.6.2-3. Molde de la talla 115, en el que se inserta la copa de la talla 120

Y se procede a realizar la curva de capacidad de la copa de la talla 120, se obtiene así la comparativa entre las curvas del molde de la talla 115 y la curva correspondiente a la talla 120.

La curva de color verde se corresponde con la curva del contorno de la copa del molde de la talla 115 y la curva de color azul se corresponde con la curva del contorno de la copa del molde de la talla 120.

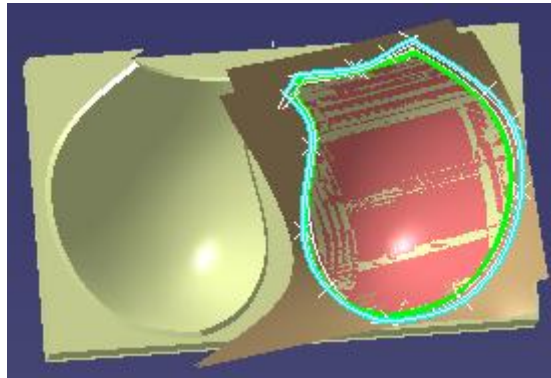


Ilustración 3.6.2-4. Comparativa de las curvas

Como se comprueba al superponer las copas relativas a la talla 115 y a la talla 120, los contornos no son idénticos. La talla 120 requiere de una mayor capacidad. Para ello se procede del siguiente modo:

Se parte de la cavidad de copa de la talla 120, se realiza una curva intersección que esté incluida en el plano, formando con el 0°. Esta curva tiene sus puntos de inicio y fin en la curva de contorno.

Se generan así varias intersecciones a una separación determinada. Y de igual modo se realizan curvas intersecciones contenidas en el plano xy.

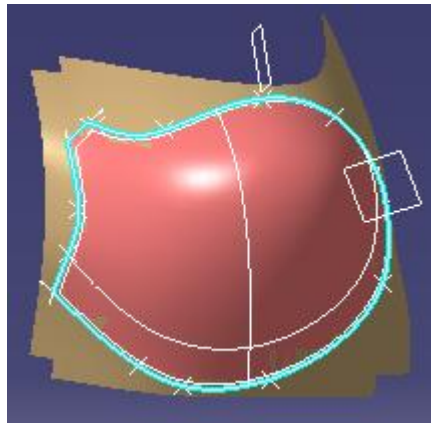


Ilustración 3.6.2-5. Verificación de curva contorno

Se obtienen unas líneas de intersección que se muestran a continuación.

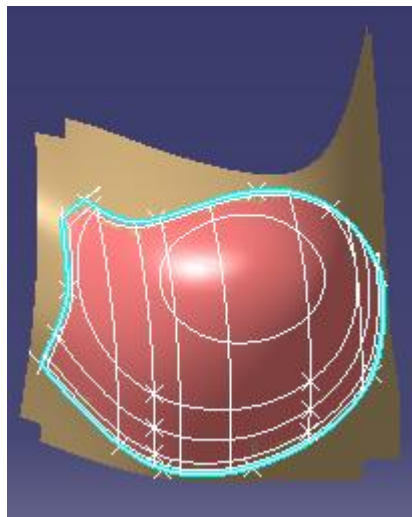


Ilustración 3.6.2-6. Verificación de curvas intersección

Si para facilitar la visualización del suavizado, se ocultan las líneas de intersección, excepto las respectivas a las curvas guía que nos permitirán mediante el comando *multi-sections*, recrear la superficie que se muestra en la imagen inferior.

Se obtiene así la superficie modelada de una región respectiva a la copa de la talla 120 (enmarcada dentro de las curvas de color naranja).

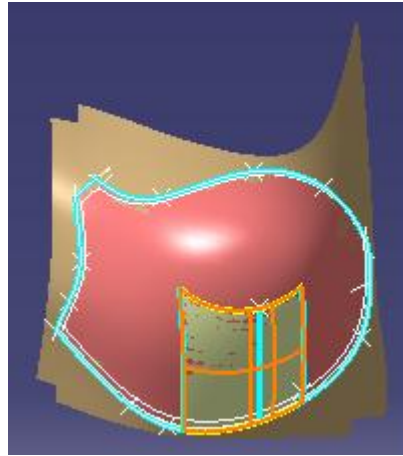


Ilustración 3.6.2-7. Superficie modelada

Se continúan recreando distintas superficies de la copa 120. Se puede observar cómo se evolucionaría en el proceso. Las superficies que están sombreadas de amarillo, se corresponden con las superficies que se han estado modelando.

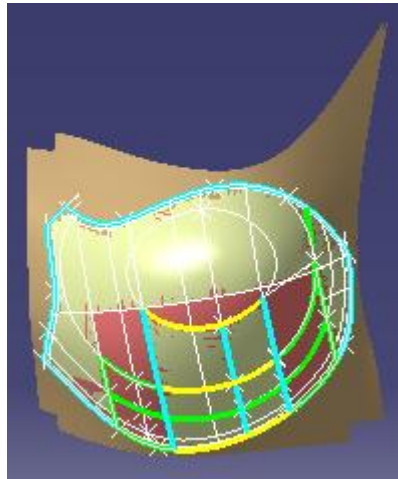


Ilustración 3.6.2-8. Proceso de modelado de la superficie

Se muestra la copa de la talla 120, totalmente recreada en superficie.

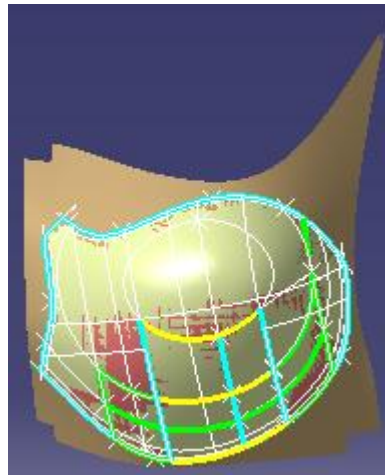


Ilustración 3.6.2-9. Reconstrucción de la superficie del molde de modelo 1560 de la talla 120

Una vez obtenida la copa derecha de la talla 120, se procede a recrear la copa izquierda de la misma talla.

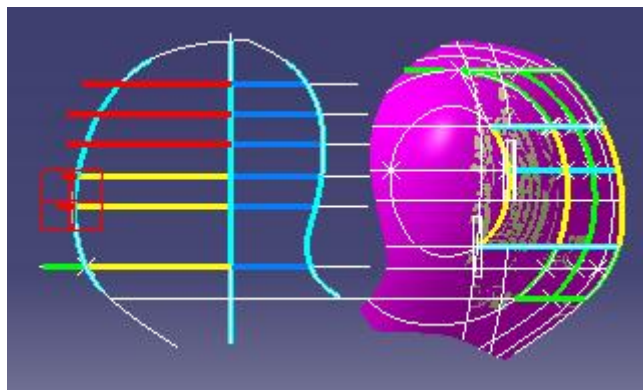


Ilustración 3.6.2-10. Interpolación geométrica de la copa izquierda partiendo de la copa derecha

Se muestra a continuación la generación del diseño del molde hembra, una vez obtenidas las curvas intersección.

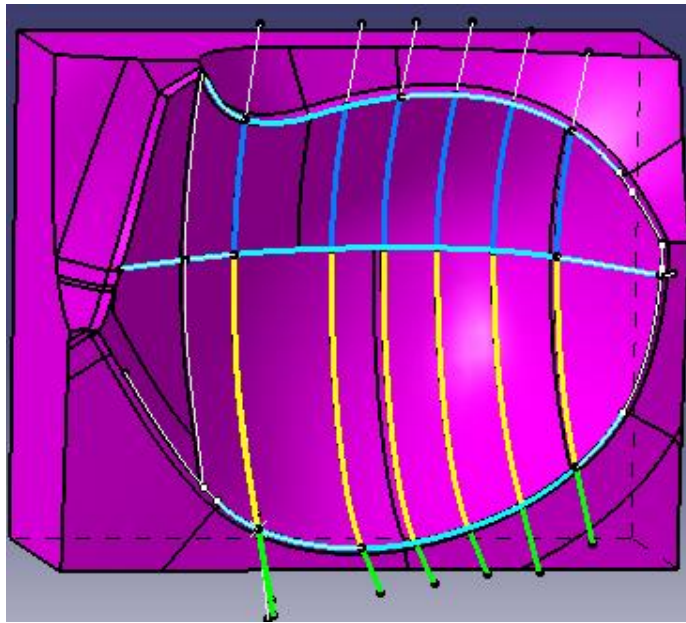


Ilustración 3.6.2-11. Generación del molde hembra siguiendo las curvas intersección.

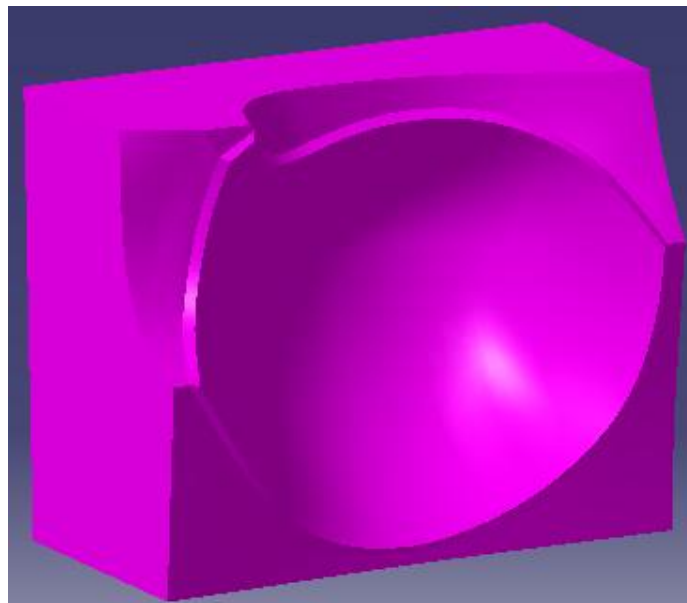


Ilustración 3.6.2-12. Molde CAD hembra final

Este molde hembra en CAD permite recrearlo en resina, para obtener el primer sujetador de silicona y realizar así la prueba de modelo.

Se procede a desarrollar el molde macho.

Cavidad macho

Para la realización de la cavidad macho partimos de la cavidad macho de la talla 115. El desarrollo de esta parte del molde sigue los mismos pasos que el desarrollo de la cavidad hembra para la talla 120. Se resumirán en las etapas más significativas:

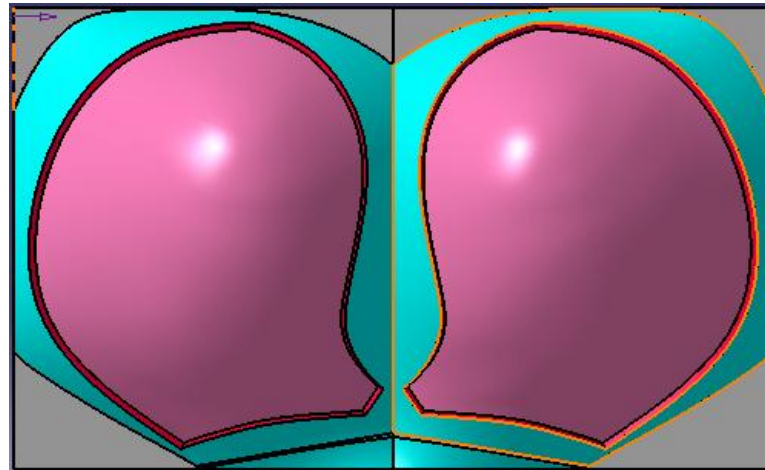


Ilustración 3.6.2-13. Cavidad macho de la talla 115

Sobre esta cavidad se realizan las operaciones adecuadas para reconstruir así la talla 120, se busca obtener al igual que en el procedimiento para la reconstrucción del molde hembra que las curvas intersecciones adquieran la curvatura buscada, tal y como se muestra con las flechas.

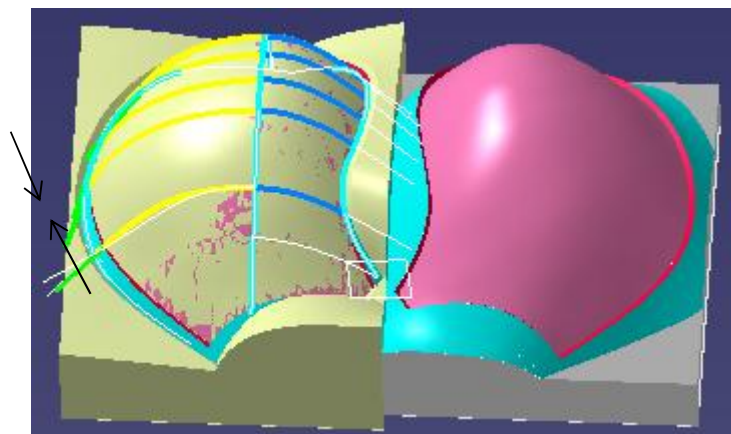


Ilustración 3.6.2-14. Comparativa de la reconstrucción de la talla 120

El resultado final, para obtener la curvatura requerida se muestra en la ilustración siguiente:

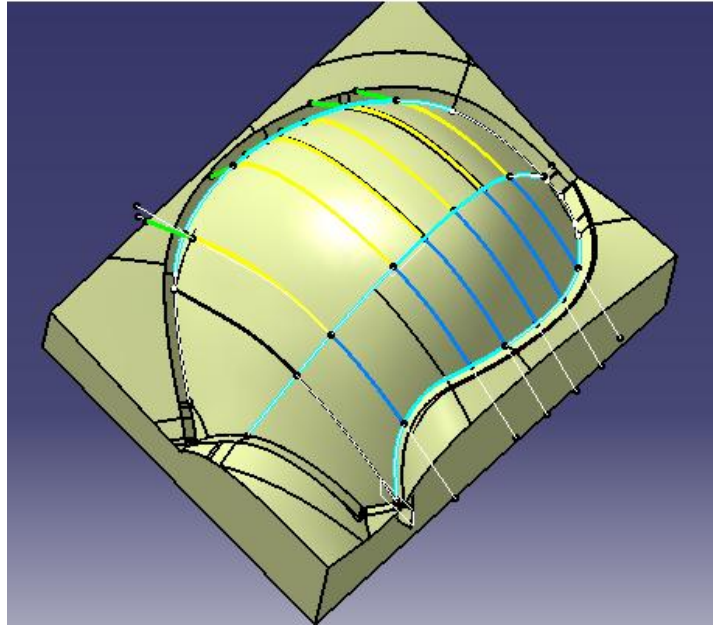


Ilustración 3.6.2-15. Cavity macho de la talla 120

Una vez obtenido el molde macho, se procede a modelar la estructura del molde, tal como se muestra a continuación:

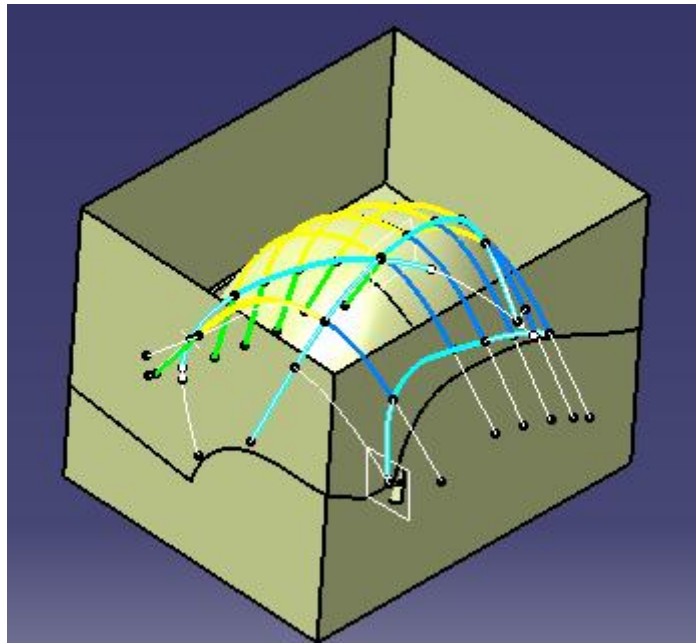


Ilustración 3.6.2-16. Molde final de la talla 120 modelo 1560

Al molde obtenido en CAD se le realiza un estudio de las curvaturas que caracterizan a las copas de los moldes, estas curvaturas sirven de comprobación de que dicha curvatura sea correcta.

Se muestran a continuación el análisis de curvatura para el molde hembra del molde de termoconformado de la talla 120.

Estos análisis permiten verificar que las curvas guía no generen superficies con puntos de inflexión. O superficies que puedan generar puntos en conflicto para el mecanizado del CAD.

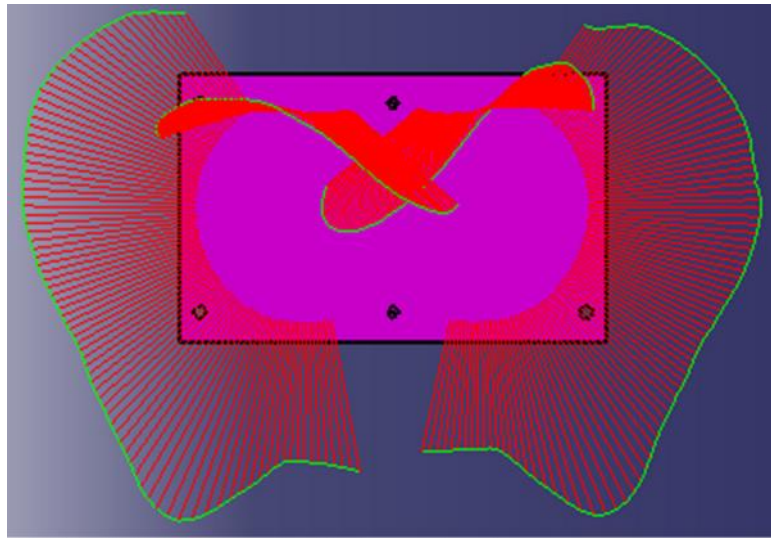


Ilustración 3.6.2-17. Comprobación de curvatura I

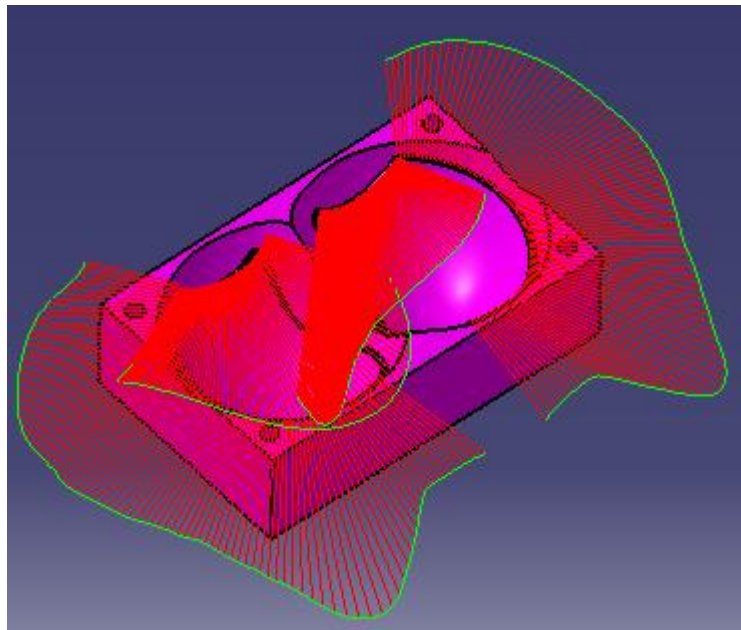


Ilustración 3.6.2-18. Comprobación de curvatura II

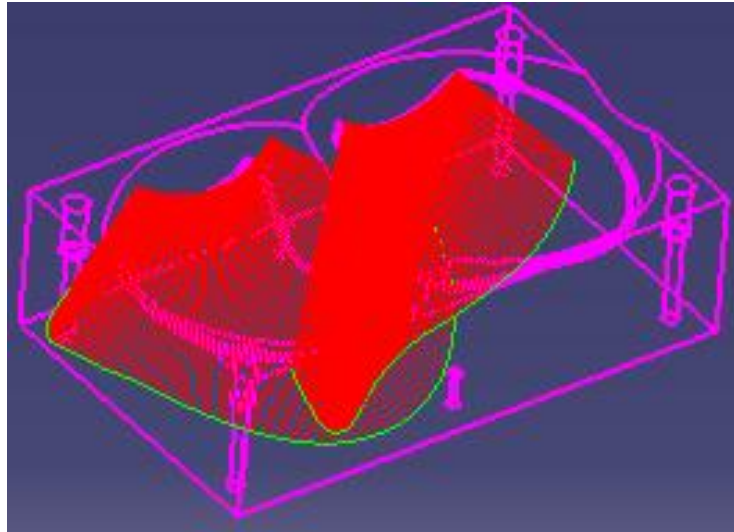


Ilustración 3.6.2-19. Comprobación de curvatura III

Se procede en este punto a realizar el molde en resina y obtener la primera copa de poliuretano en el molde prototipo. Se realizan las pruebas de montaje físicas, en estas pruebas de aproximación a la geometría se determina si el análisis realizado en CAD del molde continúa manteniendo la relación de las copas con las medidas tomadas a los modelos.

Se inicia el proceso con la copa de silicona obtenida. Se puede ver a continuación unas imágenes de esta copa de silicona, a la modelo se le realizan las pruebas pertinentes y tras mostrar ciertas incomodidades, se procede a realizar cambios en la copa de silicona.

Estas modificaciones deben realizarse en las zonas que están marcadas por las flechas.



Ilustración 3.6.2-20. Copa en silicona obtenida en el molde de resina.



Ilustración 3.6.2-21. Copa de silicona con vista en alzado

Se concluye con esta prueba la necesidad de aumentar volumen a la copa y obtener una mayor curvatura en las zonas señaladas por las flechas.

El paso siguiente es recoger esta información y modificar el CAD. Se inicia este proceso sobre el molde de resina que fue utilizado previamente, para ello se moldea con un material plástico el molde para aproximándose a la capacidad que se desea obtener en la copa.

3.6.3. Revisión I del CAD para molde macho y molde hembra

Una vez conocidas las imperfecciones en el sujetador de silicona, se realiza con material plástico una guía sobre el molde de resina, para recrear los volúmenes que se corresponderían con la copa de la talla 120 correcta. Este proceso se puede ver en las siguientes imágenes:

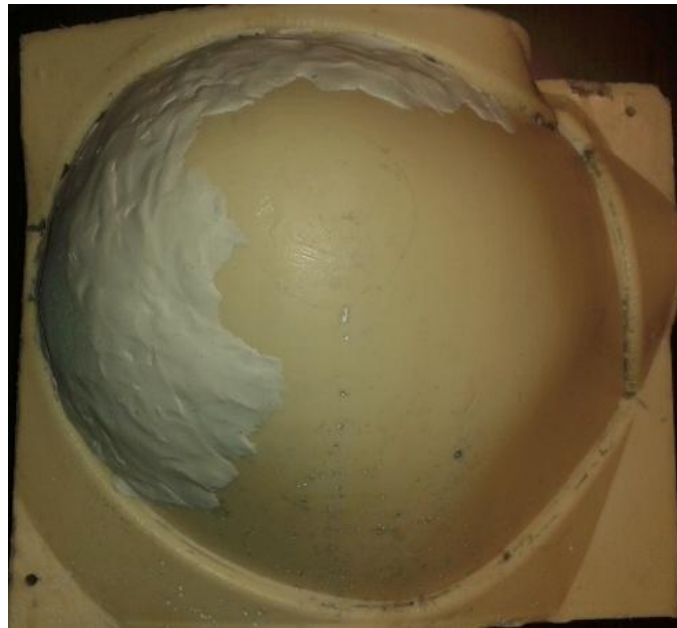


Ilustración 3.6.3-1. Modificaciones realizadas en el molde de resina con elementos plásticos en revisión 1



Ilustración 3.6.3-2. Modificaciones realizadas en el molde de resina en revisión 1

Tras este proceso, se retoma el proceso de modificación de CAD:

En primer lugar se realiza el relleno de la copa siguiendo los espesores indicados en el molde de la resina.

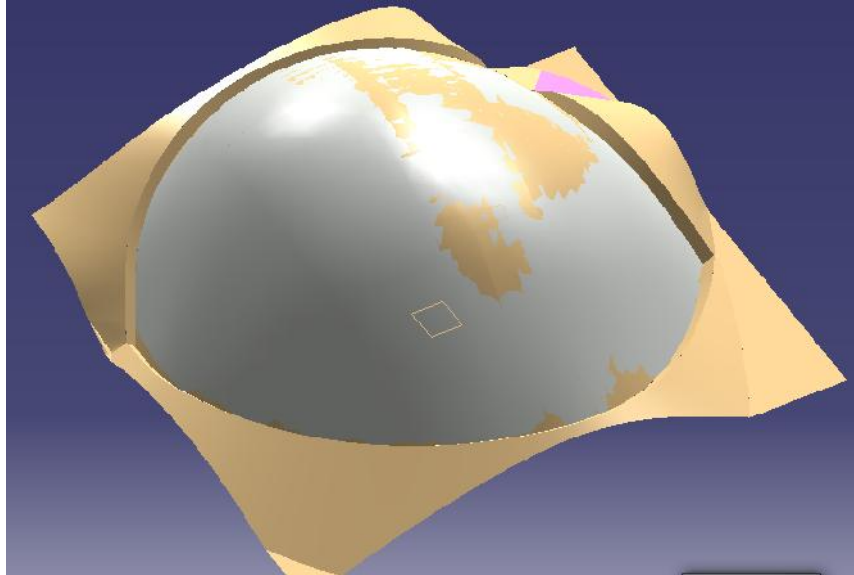


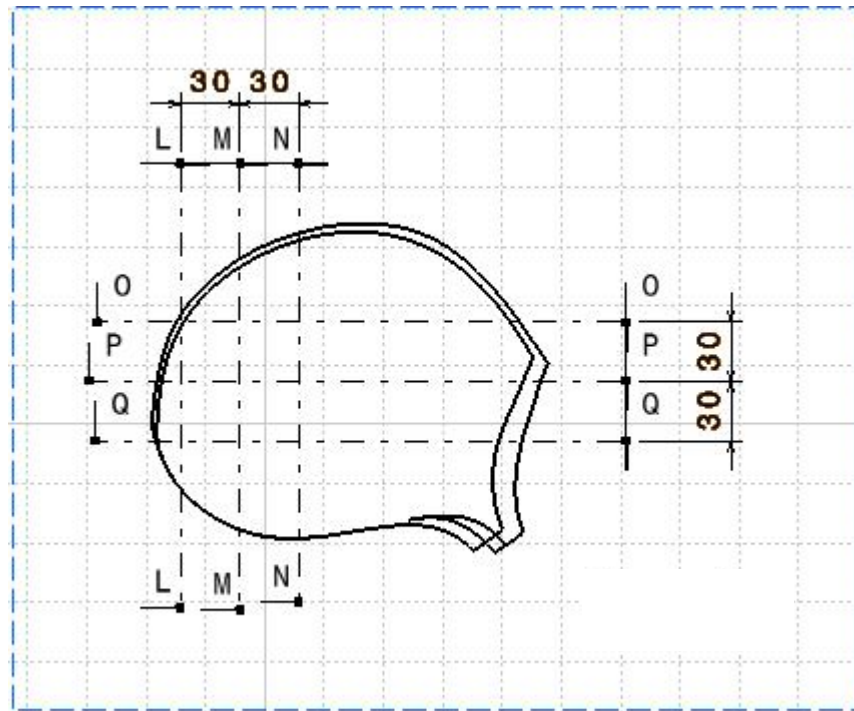
Ilustración 3.6.3-3. Relleno de la copa, tras revisión 1

La zona blanca se corresponde con la copa a la que se le han aumentado los espesores correspondientes tras la prueba y las regiones amarillas de las copas se identifican como las zonas que se mantienen sin modificaciones.

La superposición de ambas copas permite realizar una comparativa de la forma, espesores y especialmente curvatura de la copa.

En este punto, para conseguir puntos de referencia se realiza un procedimiento que se inicia con la elección de una vista de la copa, en este caso se elige la planta de la copa de la talla 120. Se trazan planos paralelos entre si distanciados a 15 mm entre ellos y por las zonas en las que se ha realizado el cambio de espesor.

Se realizan un total de 3 planos horizontales y de 3 planos verticales; con el resultado que se muestra en la siguiente imagen.



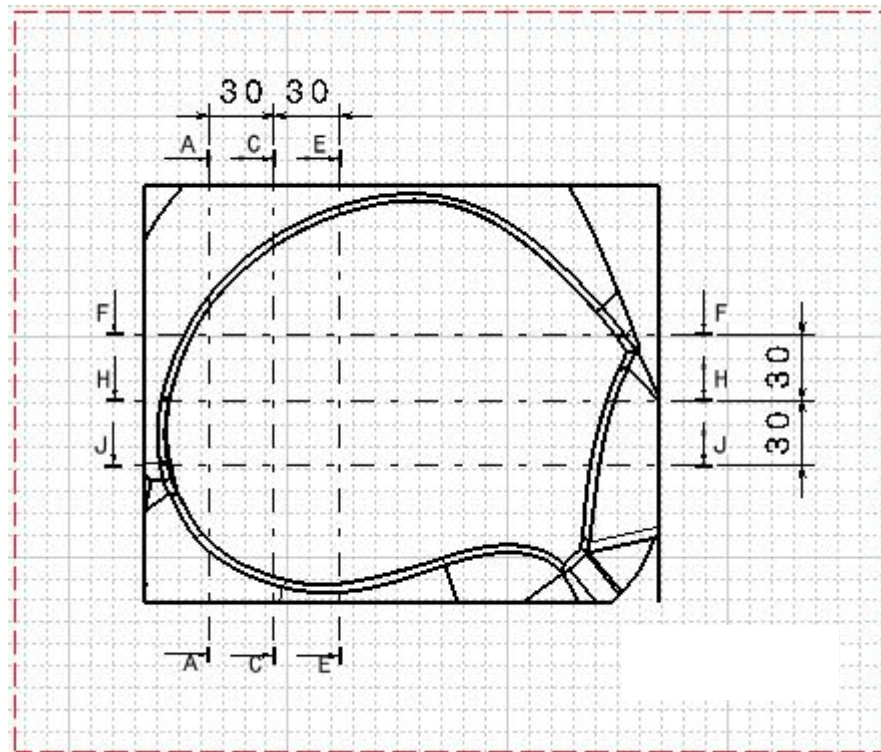
Obteniéndose así una serie de secciones en las que se muestra la curvatura para cada sección y en la que se puede realizar la comparativa de las curvaturas previas a la realización del sujetador prototipo y la curvatura obtenida tras las modificaciones de CAD que se consideraron oportunas para modificar los aspectos geométricos en los que se encontraron deficiencias tras realizar la prueba física de la modelo.

Las secciones que se corresponden con las modificaciones aplicadas son aquellas en las que se ha aumentado capacidad, se corresponden con las curvas exteriores.

Para realizar una primera etapa de verificación de la copa geométrica se decide establecer una comparativa con la talla 115 del mismo modelo. En este proceso se estudiará la curvatura de la copa de la talla 120 y de la talla 115, aunque no existen relaciones proporcionales entre tallas consecutivas si se busca aunar en el modelo 120 las características de una copa de gran capacidad.

Por ello se realizan las correspondientes secciones en la planta de la talla 115, se busca que los planos que definirán las secciones sean coincidentes con los planos de las secciones de la talla 120. Ya que así se garantizará que se trate de una zona aproximada y que se consiga reproducir la misma curvatura.

Los planos que se realizan sobre la planta de la talla 120, se muestran a continuación:



Dichos planos se encuentran en el ANEXO 7.

Una vez obtenidos los planos de las distintas secciones de la copa, se decide consultar con el departamento de patronaje ya que ofrecen su visión acerca de la nueva curvatura de la talla 120. Se obtiene el visto bueno y se decide realizar el molde en CAD, que se corresponde con:

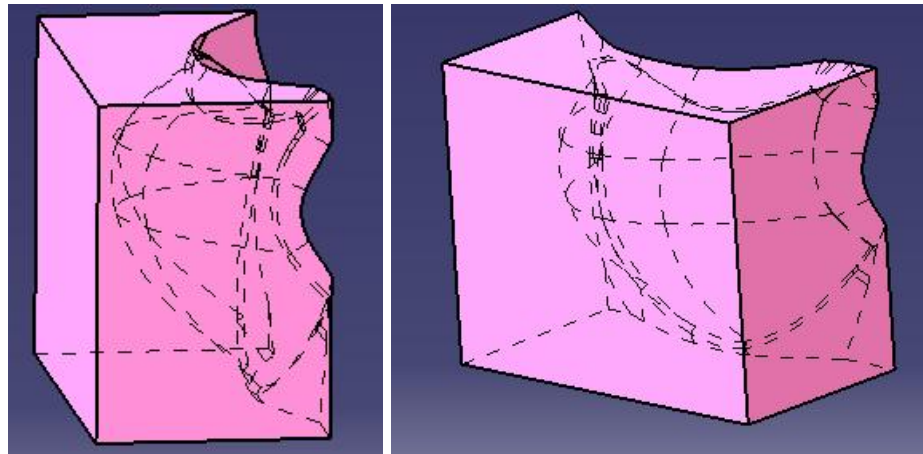


Ilustración 3.6.3-5. Molde para realizar la revisión 2

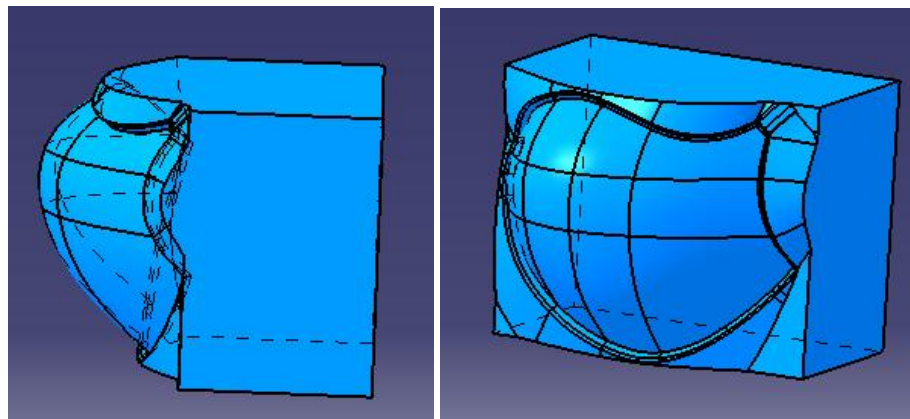


Ilustración 3.6.3-4. Molde macho para realizar la revisión 2

Obteniéndose una nueva versión del molde de resina:



Ilustración 3.6.3-6. Molde de resina obtenido para realizar revisión 2

Tras obtener el nuevo CAD, procedemos a realizar un molde de resina que nos sea útil para obtener las copas de silicona del nuevo sujetador. El siguiente proceso es validar la geometría de estas con la prueba de la modelo. Tras la realización del molde de resina correspondiente, se obtiene la siguiente copa. Se aprecia al examinar dicha copa que se mejoró con respecto a la copa de la antigua revisión la curvatura de la misma.



Ilustración 3.6.3-7. Copa de silicona revisión 2, I



Ilustración 3.6.3-8. Copa revisión 2, II

Tras realizar la prueba física de la modelo se concluyó que debe incluirse una modificación. Esta consiste en centrar la copa al eje del pecho, con este cambio se busca posicionar la copa del sujetador, para que el pecho adquiriera de forma natural la posición en la que se considera por parte del departamento de diseño que sienta bien.

Se trata de una opinión totalmente subjetiva, condicionada por el departamento de diseño y su concepción de la forma óptima que debe aportar el sujetador a la figura de la mujer y por otro lado por la opinión personal de la modelo acerca de la comodidad aportada por el sujetador.

3.6.4. Revisión II del CAD para molde macho y molde hembra

La modificación del CAD tiene su punto de partida en el sujetador probado en la modelo y en el prototipo de molde resina sobre el que se realizó.

En esta revisión se procede según las indicaciones del departamento de patronaje, a realizar las modificaciones para obtener el eje del pecho centrado, estos cambios consisten en mover el eje de la copa 1 cm hacia el interior del pecho. Se realizará una traslación de este punto, sin embargo, para realizar esta traslación se debe modificar ligeramente la capacidad de la copa pero manteniendo la curvatura de la misma, ya que en la prueba física de la modelo se aprobó como correcta.



Ilustración 3.6.4-1. Modificación de posicionamiento eje de pecho

En primer lugar, se debe conocer el punto que marca el eje del pecho. Este punto nos lo trasladan las encargadas de diseño en el molde hembra, la dificultad reside en encontrar qué punto se corresponde en el diseño CAD con el punto marcado físicamente en el molde. Para resolver esta incógnita, recurrimos a posicionar el molde en una máquina CNC, tomando un punto de referencia sobre el molde de resina y consiguiendo establecer la cota a la que se sitúa el eje del pecho de este punto. En la siguiente imagen se puede observar este proceso:

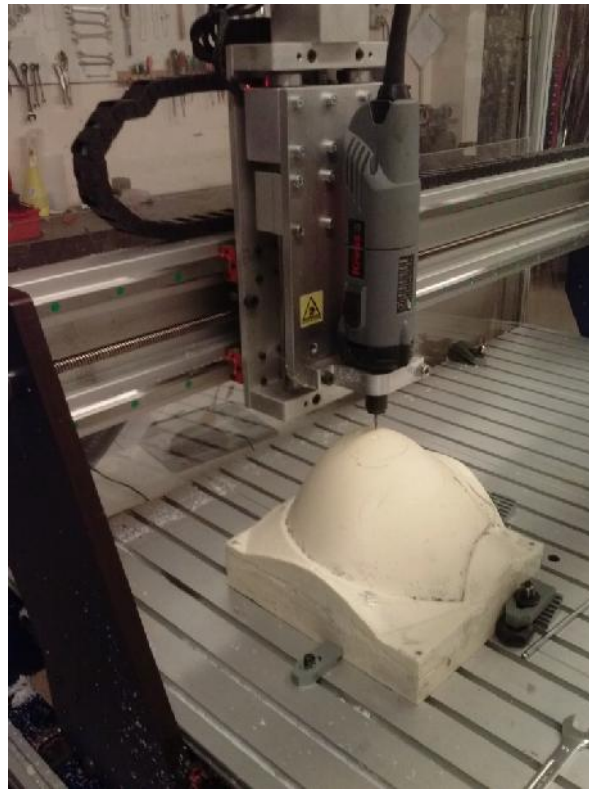


Ilustración 3.6.4-2. Posicionamiento CNC eje de pecho

Una vez obtenida la distancia entre este punto de referencia y el eje del pecho, se crea un plano adicional a 1 cm de dicho eje. Este plano será el referente para trasladar la curva. Tal y como se muestra en la siguiente imagen:

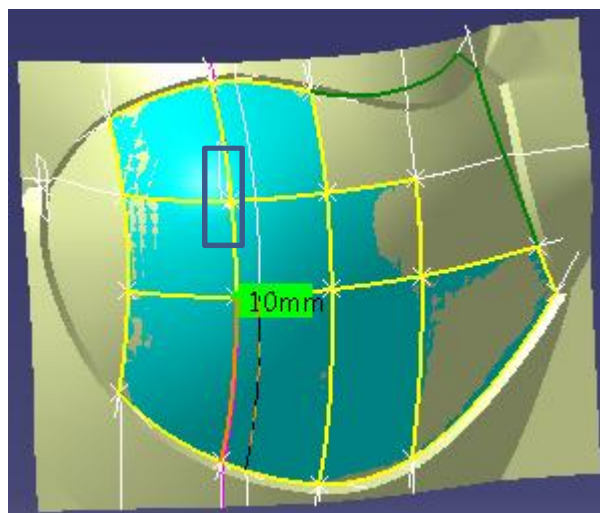


Ilustración 3.6.4-3. Traslado del eje del centro de pecho

Si se considera, solamente, la curva trasladada se observa que esta curva tiene mayor capacidad que la curva guía que ocupaba su posición.

La proyección de la curva se corresponde con la curva violeta que se muestra en la imagen inferior.

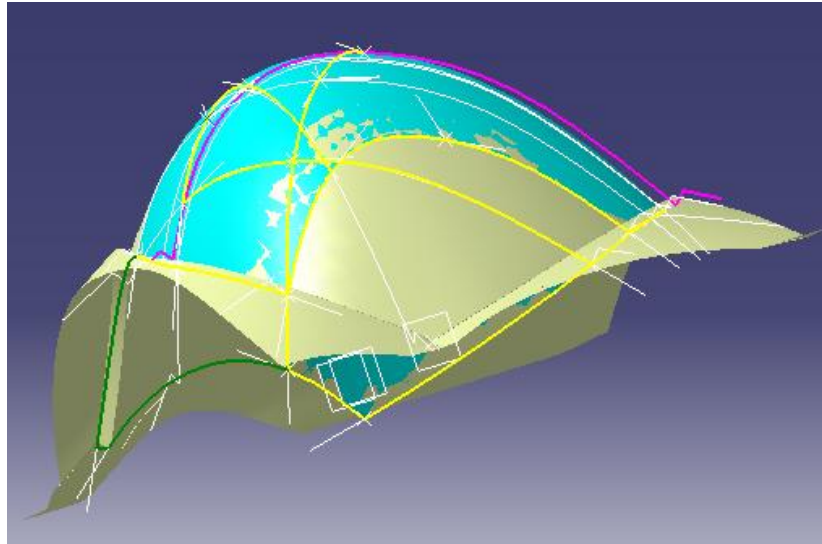


Ilustración 3.6.4-4. Ajuste de guía referencia del eje del centro de pecho

En la imagen superior se aprecia que la curva violeta genera un volumen distinto de la copa. Es posible, por lo tanto, obtener algunas de las distancias generadas entre la curva proyectada y la curva guía que generaba la curvatura previa en la siguiente imagen:

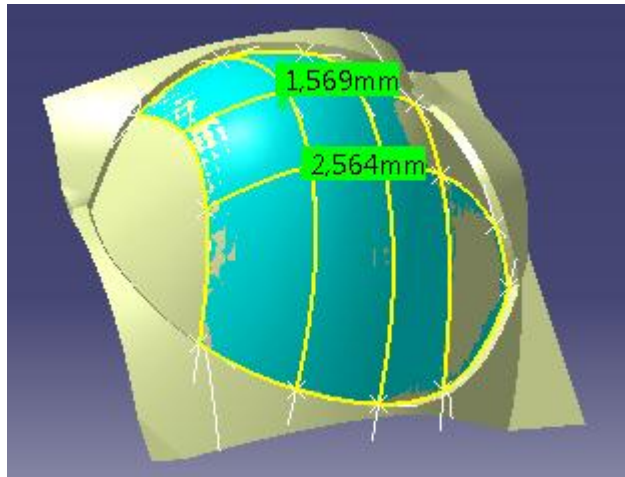


Ilustración 3.6.4-5. Distancias generadas en el traslado del eje del pecho

Una imagen en la que se puede comprobar el siguiente aumento de volumen, se muestra a continuación:

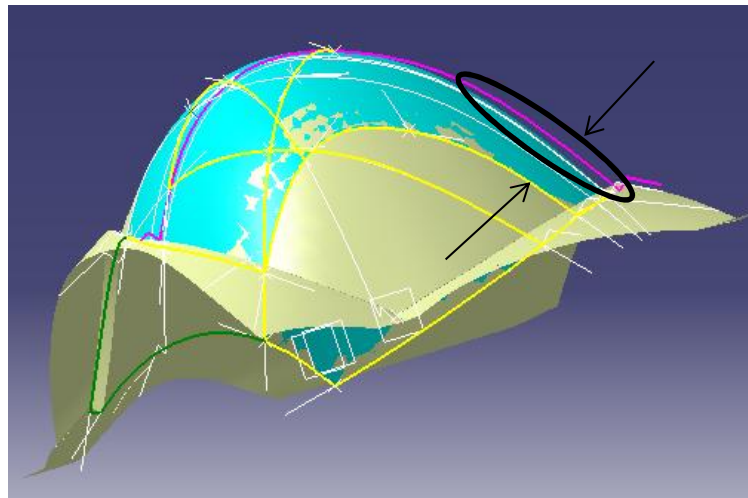


Ilustración 3.6.4-6. Aumento significativo de volumen con el nuevo posicionamiento

En la imagen inferior se aprecia el incremento de volumen que se obtendrá con los cambios realizados tras la revisión de la patronista.

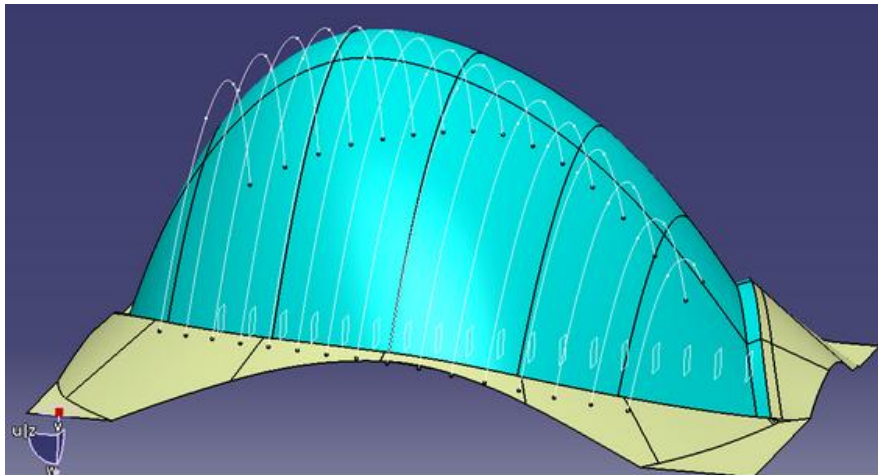


Ilustración 3.6.4-7. Relación de aumentos de volumen

En el ANEXO 5, se recoge una comparación de las secciones de las copas en las que se aprecia la notable diferencia tras realizar la revisión I y la revisión II.

Otros de los aspectos que deben ser modificados por indicaciones de patronaje es la posición del tirante.

La posición inicial del tirante es la que se muestra a continuación, sin embargo en las pruebas realizadas con la modelo, se considera que la posición del tirante debe variarse:

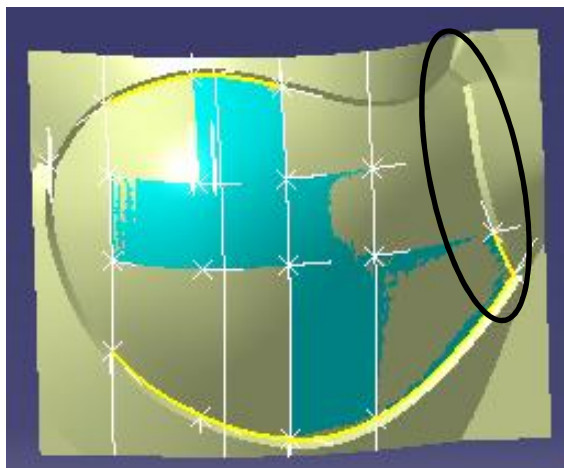


Ilustración 3.6.4-8. Tirante sin modificar

La nueva posición que debe adquirir el tirante es:

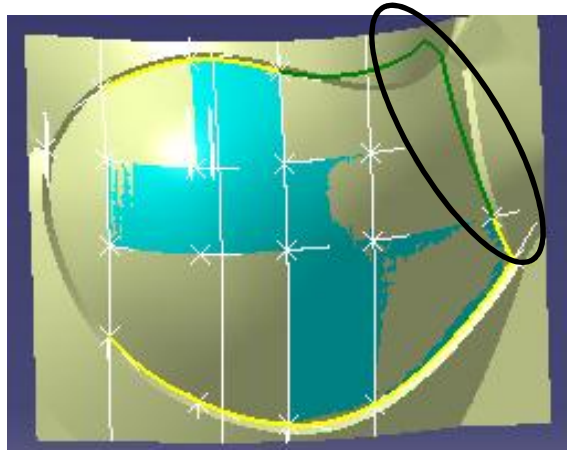


Ilustración 3.6.4-9. Modificación requerida en el tirante

Esta modificación del tirante se recoge en el CAD, para el molde macho y para el molde hembra.

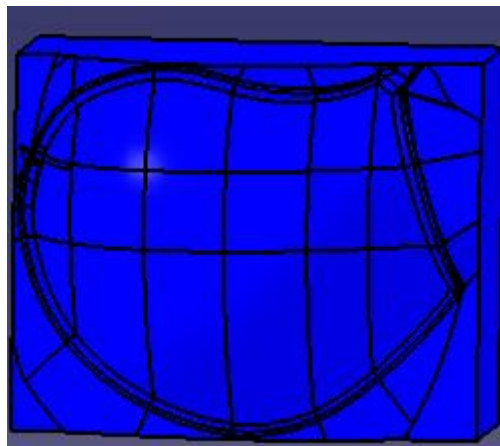


Ilustración 3.6.4-10. Modificación del tirante en el molde macho

Como el molde correspondiente al molde hembra

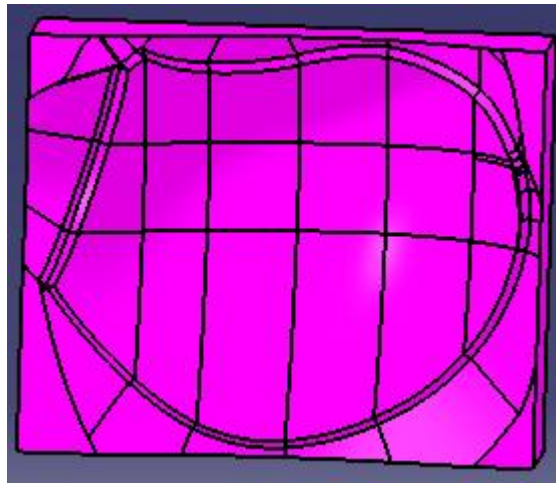


Ilustración 3.6.4-11. Modificación del tirante en molde hembra

El molde final obtenido, con las modificaciones del tirante y de la forma de la copa, se aúnan:

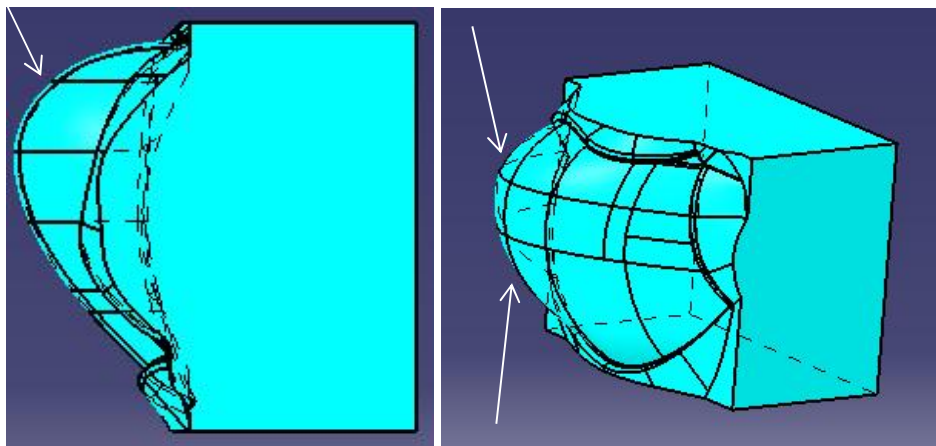


Ilustración 3.6.4-12. Molde macho para revisión 3

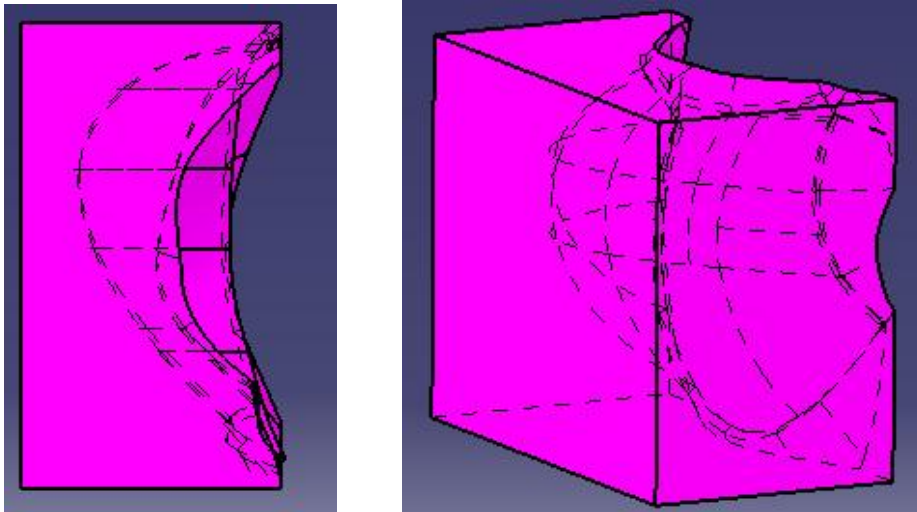


Ilustración 3.6.4-13. Molde hembra tras revisión 3

Con esta nueva modificación, se procede a realizar un nuevo molde de resina, que recoja esta variación.

Si en este punto se realiza una valoración de los cambios establecidos tras la revisión 2 y la revisión 3. Cabe resaltar las diferencias apreciables en el molde, según las ilustraciones 3.6.1-5 y la ilustración 3.6.2-13. Y de igual forma las diferencias encontradas entre las ilustraciones 3.6.1-4 y la ilustración 3.6.2-12.

3.6.5. Revisión III del CAD para molde macho y molde hembra

En la revisión II se obtiene una copa de silicona que se considera correcta pero se decide darle a todo el contorno de la copa 1 mm de creces, la razón es porque la silicona no representa la dureza real que adquirirá el prehormado de foam (la silicona endurece con el paso del tiempo) y dejando 1 mm de creces se puede comprobar en tela cuál serían las dimensiones de recorte que más se ajusta a la comodidad de la modelo.

Además para ayudarse a estos recortes nos servimos de un cabezal láser, que marca con alta precisión las dimensiones buscadas.

Esta revisión se considera que será la antesala para poder realizar el molde de aluminio y obtener así la prueba del prehormado en tela.

Para el molde hembra:

Se muestra en la siguiente imagen, cómo se le da al molde unas creces de 1 mm en todo su contorno, tal que así:

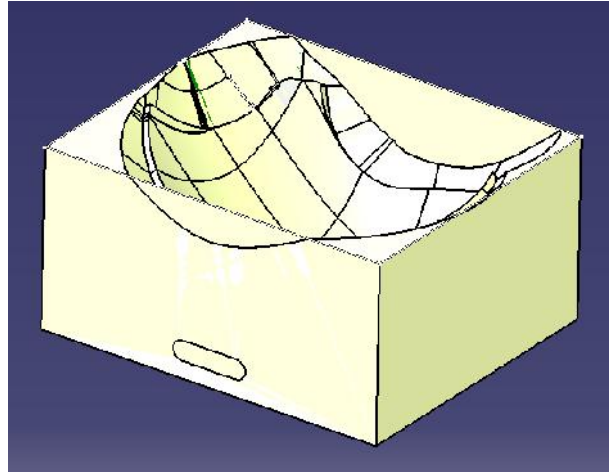


Ilustración 3.6.5-1. CAD del molde hembra previo al definitivo con creces de 1 mm

Al realizar los recortes oportunos en el molde de la ilustración superior, se obtienen el molde hembra definitivo que se muestra a continuación:

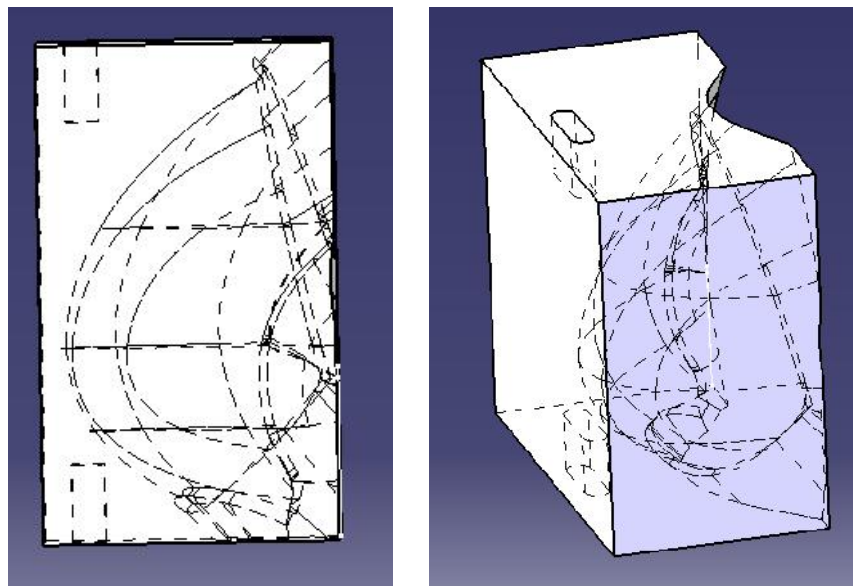


Ilustración 3.6.5-2. CAD del molde hembra definitivo

A este molde se le realizan dos hendiduras en su parte frontal para que pueda ser manipulado con facilidad y permitir su encaje en la máquina de termoconformado.

Para el molde macho:

Con respecto al molde macho, este sufre las modificaciones complementarias al molde hembra definitivo, que se corresponden con 1 mm de creces en todo su contorno. Se obtiene el siguiente CAD:

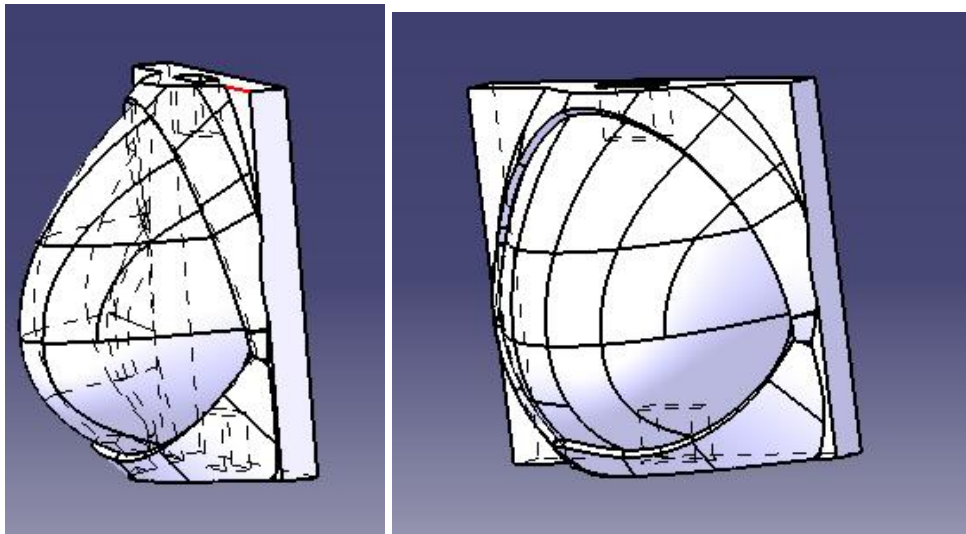


Ilustración 3.6.5-3. CAD del molde macho definitivo

En la ilustración inferior, se aprecia el conjunto del molde hembra con el molde macho.

Las dimensiones que se le dieron al molde hembra y al molde macho deben ser tales que las dimensiones que toma el espesor no sean constantes. Esta separación debe ser menor en los extremos de la zona donde se conformará la copa y mayor en la zona central de la copa. Esto se busca que sea así, para garantizar que el espesor del foam sea menor en los extremos de las copas para poder hacer costuras y coser telas y encajes de recubrimiento.

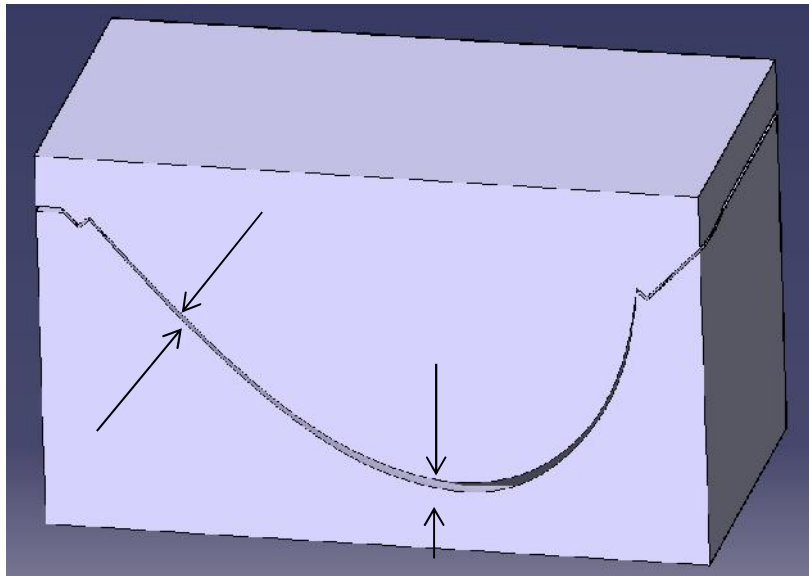


Ilustración 3.6.5-4. Unión (referencia a espesores) de molde macho y molde hembra

3.6.6. Molde final de aluminio de la talla 120

Tras realizar los moldes previos descritos, y obtener la validación del preformado de silicona por la modelo. Se realiza el molde de aluminio con el que se realicen las pruebas definitivas para preformados de foam de la talla 120. Se trata de un molde frío el que se realizarán las pruebas de posicionamiento en ANSYS, para posteriormente situar las resistencias en el interior del molde, y aplicarle el parámetro de correlación definido anteriormente, en este caso 15 para el molde hembra y 2 para el molde macho.



Ilustración 3.6.6-1. Molde de aluminio de la talla 120



Ilustración 3.6.6-2. Molde macho aluminio de la talla 120



Ilustración 3.6.6-3. Molde hembra de aluminio de la talla 120

En la imagen inferior se muestra el molde de termoconformado de aluminio para la talla 120, con el que se realizarán las pruebas de prehormado y de situación de las resistencias para la generación de calor.

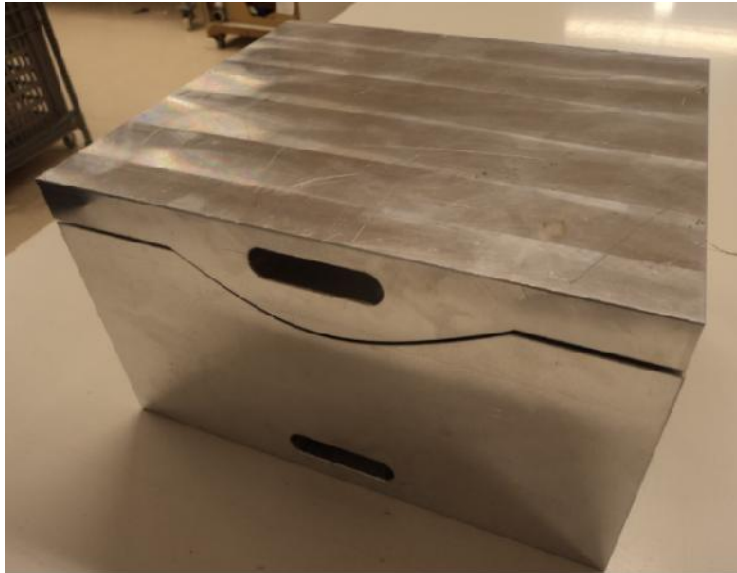


Ilustración 3.6.6-4. Molde de aluminio de la talla 120

3.7. Obtención pieza final y estandarización

El molde final realizado en aluminio es insertado en la máquina de termoconformado, tal y cómo se estableció en el apartado 3.2, es posible realizar la operación sin necesidad de elementos de elevación y transporte para su colocación o mantenimiento. El bajo peso de los moldes de aluminio en comparación con moldes de acero hacen posible que un operario pueda extraer los moldes y realizar los cambios oportunos.

En la imagen contigua se puede ver un molde de aluminio insertado en la máquina de termoconformado. El molde de termoconformado se encuentra en reposo, ya que ambas partes del molde están separadas.

Para realizar el termoconformado, se sitúa la plancha de foam en posición horizontal sobre el molde hembra y se acciona el mecanismo. A continuación desciende el molde macho, aprisionando la plancha de foam contra el molde hembra, manteniendo este estado un tiempo y una temperatura determinados.





Ilustración 3.7-2. Molde de termoconformado prehormando

Para el termoconformado de foam, se produce el calentamiento y conformado de la plancha de forma simultánea. Al finalizar el tiempo programado se eleva automáticamente el molde macho. Para determinados modelos es necesario esperar un tiempo concreto de enfriamiento para ser retirado. A continuación los prehormados se sitúan en la estación de extracción de partículas de isocianato durante 10 s.



Ilustración 3.7-3. Pieza prehormado final

En este punto debe realizarse un primer control visual de calidad, para desechar los prehormados con algún tipo de defecto.

Con las imágenes que se muestran a continuación se indican algunos de los defectos que se podrían encontrar tras el termoconformado de los prehormados de foam.

En el primero se observan grietas surgidas durante el termoconformado, que invalidan el producto. Este tipo de fisura son generalmente debidas a la rigidez excesiva del foam, también podrían darse porque las dimensiones de la plancha de foam son superiores a la plancha estándar y cuando se produce la bajada del molde de termoconformado se producen en zonas concentraciones de foam y en otros puntos estiramientos de la plancha.

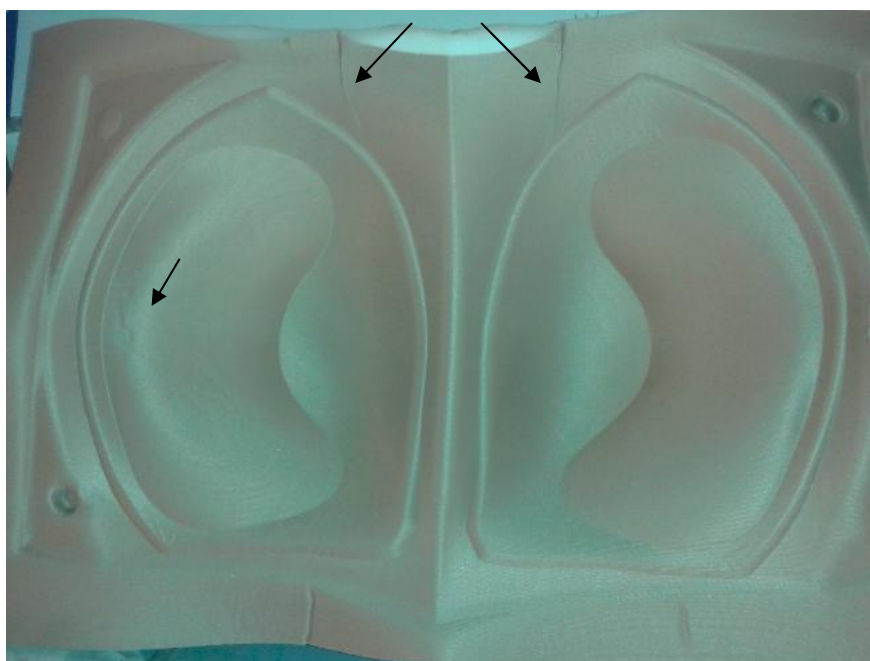


Ilustración 3.7-4. Prehormado no válido, aparición de grietas.

En la siguiente imagen se muestra un prehormado que no supera los controles por su geometría de la copa, ya que la configuración no es la predefinida como óptima tras realizar las pruebas físicas con la modelo. La forma de las copas adquiere forma de punta, no se consigue el perfil redondeado correcto. La causa de esta deformación, puede estar en que el foam es excesivamente rígido o bien que la temperatura en la máquina de termoconformado no se ajuste con la temperatura óptima.

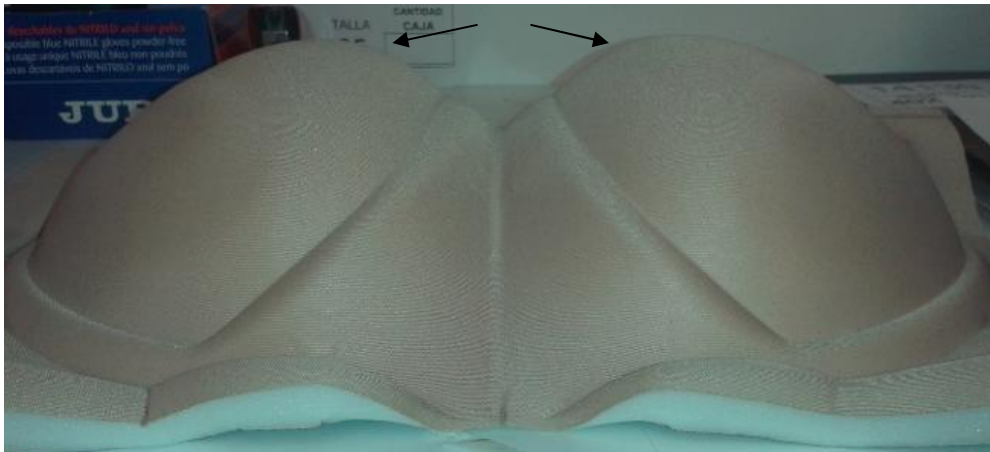


Ilustración 3.7-5. Prehormado no correcto por la aparición de punta en la copa

Otro de los defectos por los que podría ser descartado el prehormado es por la incrustación de partículas, que pueden ser debidas a carbonilla del termoconformado previo o a partículas externas como polvo.

Hasta aquí se trata de una inspección en proceso (se realiza conforme avanza el proceso). De forma individual se introduce el foam, se termoconforma y se extrae de la máquina comprobando que se mantengan los atributos necesarios para la pieza final. Una de las inspecciones que debe realizarse es la comprobación de que el foam no fue chamuscado durante el calentamiento (bien por exceso de temperatura o exceso de tiempo). Si esto fuese así:

- 1) El prehormado se retiraría del proceso de fabricación
- 2) Se tendría que eliminar restos de partículas debidas a la combustión del foam del molde, ya que esa carbonilla podría quedar retenida y producir imperfecciones en los siguientes prehormados quedando como puntos negros visibles incluso con la tela de recubrimiento. Para ello se haría una descarga de aire a presión cuando se retire el prehormado.
- 3) Se debería reajustar la temperatura y el tiempo, conforme a los valores nominales de trabajo.

Si el prehormado de foam se da por válido visualmente, se procedería en una inspección de control post proceso a elegir una copa patrón y comprobar sus tolerancias geométricas en el poka - yoke correspondiente, en un ciclo de 45 minutos



Una vez finalizada la inspección individual visual se troquela, para ello se utiliza un molde referencia que marque el contorno y que mediante la aplicación de presión permita obtener la pieza de prehormado de foam final.



Ilustración 3.0-6-6. Etapa de troquelado del prehormado de foam

Obteniéndose la pieza de prehormado de foam final que se corresponde con:



Ilustración 3.7-7. Pieza de prehormado de foam final para modelo 1413

Con respecto a la calidad que presenta el prehormado de foam troquelado final se corresponde para el sujetador push up con un espesor de 5 mm, excepto en la zona correspondiente al push que tendrá un espesor de 15 mm, si se trata de un prehormado para sujetador push up.

Estandarización

Una vez realizada la primera pieza de prehormado para sujetadores push-up, se debe integrar el proceso de termoconformado en la línea de producción. Con la incorporación de las técnicas de fabricación y obtención de los prehormados de foam para los sujetadores push up, se desarrolla el proceso de fabricación completo para los prehormados.

Para estandarizar el proceso, se busca un comportamiento estable que genere los prehormados de foam con calidad homogénea y reduciendo costos. Se plantea entonces un control de calidad que permita validar la copa del prehormado con respecto a una geometría patrón con medidas prefijadas.

Para ello se diseña una maqueta para medición con calibre pasa no pasa. A partir de dicho diseño se realiza un prototipo en poliuretano formado por base y cama que se ilustra en la imagen. Se realiza un poka- yoke para cada talla y modelo (prehormado con push up o prehormado simple)



Ilustración 3.7-8 . Prototipo pasa – no pasa para talla 110 del modelo 1560



Ilustración 3.7-9. Molde pasa – no pasa para talla 105 modelo 1413

Con la comprobación en el poka-yoke se pretende realizar un control de las copas, más concretamente establecer un punto de control y verificar si las dimensiones se corresponden con el tamaño de copa y contorno de copa que se han establecido en las pruebas físicas realizadas por la modelo.

La realización del control de calidad directamente sobre un apoyo rígido (poka-yoke), minimiza la variabilidad de las deformaciones que podrían darse por la naturaleza flexible del prehormado de foam.

Esta comprobación de calidad se realiza cada 45 minutos o 40 prehormados realizados. Se elige un prehormado de cada modelo y se comprueban las tolerancias establecidas en el poka-yoke correspondiente a su talla.



Ilustración 3.7-10. Verificación de las dimensiones de la copa en su poka-yoke

Para dar el visto bueno a la copa patrón, esta debe encontrarse dentro de las tolerancias marcadas en dicho poka-yoke marcadas en +/- 1mm. Si se detecta alguna variación con respecto a esta tolerancia, se debería ajustar alguno de los parámetros de la máquina de termoconformado.

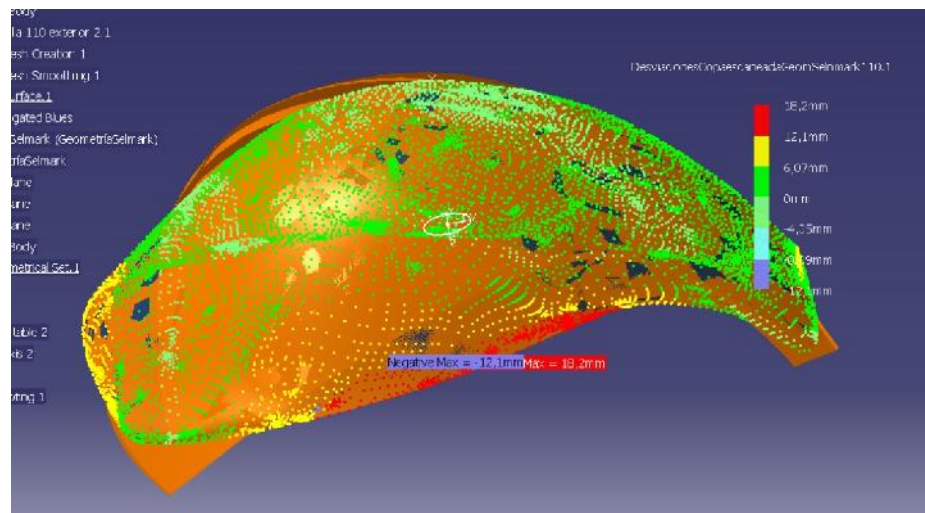


Ilustración 3.7-11. Comparativa de la imagen escaneada y de la geometría suministrada

Las directrices para alcanzar el objetivo deben estar procedimentadas, de manera que las personas encargadas de las máquinas de termoconformado conozcan los tiempos y temperaturas establecidos cómo válidos para conseguir que las



características del proceso se mantengan constantes. Y si surge alguna variación ser consciente de ella por parte del responsable y emprender la actuación correspondiente.

El procedimiento final de aceptación o rechazo tampoco está completamente delimitado ni regulado. Ya que una vez pasado el control de calidad, entran en consideración variables subjetivas. Se trata de la comprobación previa a la comercialización que garantice la ergonomía del sujetador, en este caso del sujetador push-up.

Estudio de la variabilidad

Para realizar un control de calidad más específico si se encontraran problemas de calidad del producto final, más concretamente un problema de curvatura en la punta de la copa, para valorar la variabilidad del proceso, se realiza un estudio más exhaustivo para obtener la variabilidad de las muestras obtenidas adjuntado como ANEXO 6.

En el desarrollo de este estudio se procede a realizar mediciones termométricas sobre el molde en el que se detectó el defecto, para eso se emplea una cámara Cognex con panel de luz trasera de diodos, según se muestra en la fotografía:

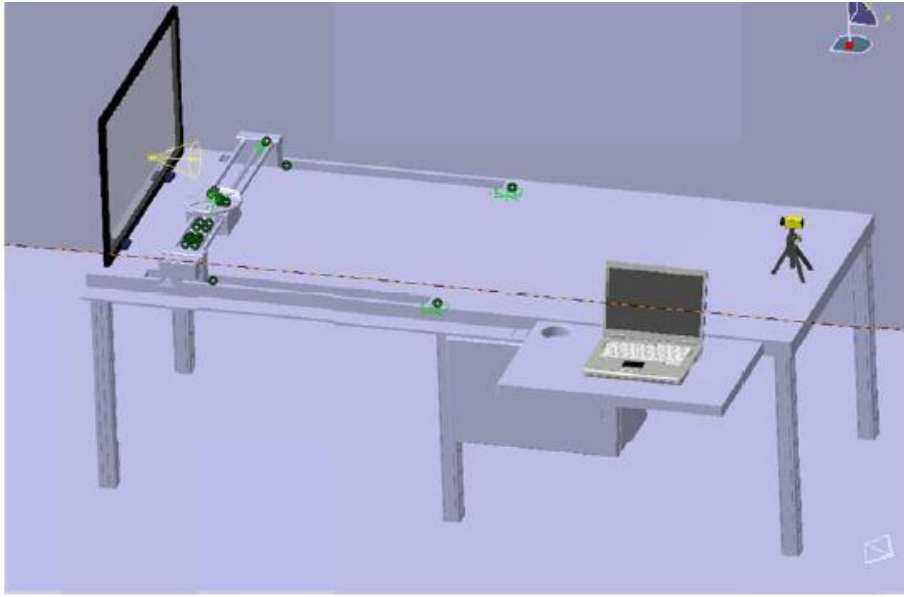


Ilustración 3.7-12. Esquema de medición termométrica

En la medición termométrica se obtienen imágenes como por ejemplo la siguiente:

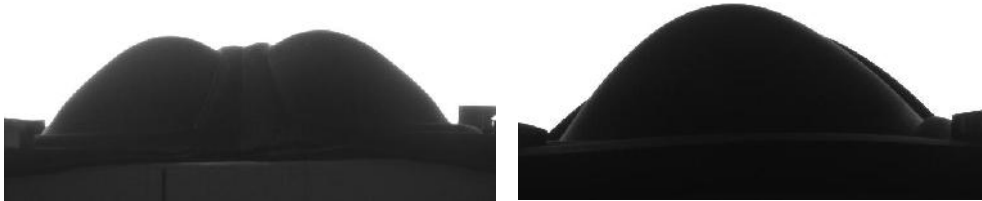


Ilustración 3.7-13. Imágenes tomadas con la cámara Cognex

Las imágenes correspondientes a la ilustración 4.6-6 se corresponden con el perfil y el alzado del prehormado de foam obtenido del molde prototipo. Para la imagen tomada por la cámara Cognex, se establece una zona de reconocimiento patrón, que comprende la banda amarilla:

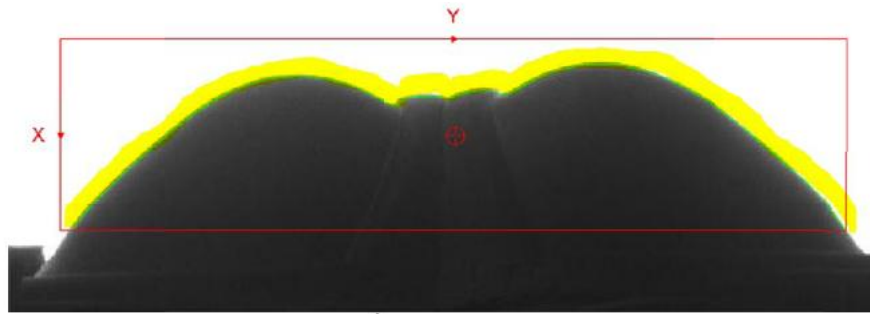


Ilustración 3.7-14. Tratamiento de imagen con zona de reconocimiento patrón

A continuación en la ilustración 4.6-7, se muestra la zona de la curva nominal en la imagen izquierda y en la imagen de la derecha se muestra la desviación dimensional del contorno de la copa, tomando como referencia la imagen de la izquierda.

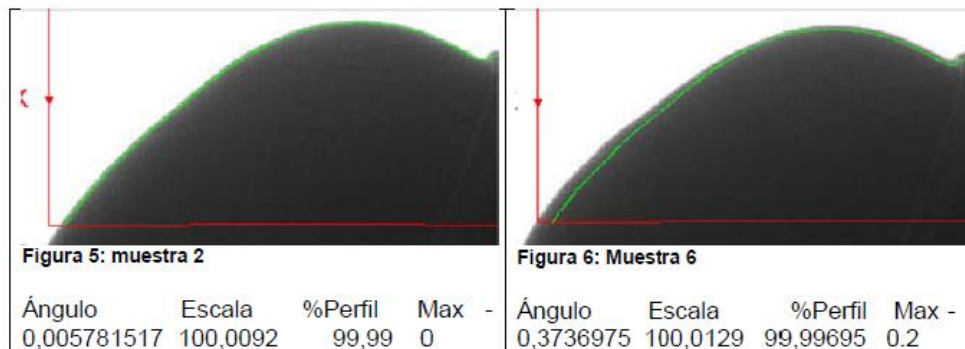


Ilustración 3.7 -15. Comparación de desvío de la curva nominal

Se toman muestras de mediciones dimensionales donde una de las variables es la temperatura. Para poder utilizar la variable temperatura se tiene que establecer la diferencia de temperatura entre el molde superior y molde inferior, comparar los valores que son indicados por la propia máquina y los valores que son medidos de forma independiente para establecer verificación de los datos obtenidos.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

XColor	Indicador (°C) MS	Medida (°C) MI	Indicador (°C) MS	Medida (°C) MS	Tiempo (") XTiempo	Tra-amb	DifIN (DMI)	Dif-Me (DMM)	DMI-DMM XXDTM	PosF	PosC	Yangulo	Yescala	%perfill Yperf
4	174	183	181	188	65	21,6	7	5	2	194,5517	316,4644	-0,00578152	100,0092	99,99695
175	173	183	181	188	65	21,5	8	5	3	196,1174	317,7235	-0,4088683	100,0127	99,09791
437	173	183	181	187,5	65	21,5	8	4,5	3,5	195,6086	316,2223	-0,5160971	100,0143	99,99695
259	174	182,5	181	188	65	21,5	7	5,5	1,5	195,7777	318,2257	-0,7938893	100,0115	98,6307
4	174	182,5	181	187	65	21,5	7	4,5	2,5	192,9924	316,6894	-0,3736975	100,0129	99,99695
44	174	183,5	181	188	70	21,5	7	4,5	2,5	192,4695	317,479	-0,01695775	100,0061	99,68757
175	174	183	181	186,5	70	21,5	7	3,5	3,5	196,4319	318,1377	-0,4546137	100,0121	98,74801
259	174	183	181	187,5	70	21,5	7	4,5	2,5	195,6626	317,3573	-0,4996576	100,0145	97,39827
437	173	183	181	187,5	70	21,5	8	4,5	3,5	196,1167	316,4704	-0,318936	100,0168	99,94224
4	174	183	181	187,5	70	21,4	7	4,5	2,5	193,2603	316,9492	-0,1494374	100,0088	99,99695
437	174	183	181	187	75	21,6	7	4	3	193,9115	316,4922	-0,1229803	100,0181	99,69522
175	175	182	181	188	75	21,4	6	6	0	197,4055	316,5671	0,1659413	100,0118	99,0162
4	173	182	181	188	75	21,4	8	6	2	193,7795	316,4674	-0,1580409	100,0179	99,99695
259	176	183	184	191	65	21,4	8	8	0	194,9962	317,9565	-0,3111935	100,0138	96,0185
437	176	183	184	191	65	21,4	8	8	0	195,1259	317,0514	0,2611791	100,0143	99,99695
4	176	184	184	191,5	65	21,4	8	7,5	0,5	192,2633	316,3083	0,4453744	100,0133	99,2032
44	176	184,5	184	192	70	21,4	8	7,5	0,5	193,838	316,3002	-0,2700074	100,0102	99,13132
175	176	184	184	192	70	21,4	8	8	0	197,006	317,6055	-0,6058285	100,0186	97,53684
259	176	184	184	191,5	70	21,4	8	7,5	0,5	196,764	317,0885	-0,1728358	100,024	98,42255
4	176	184	185	191,5	70	21,4	9	7,5	1,5	194,377	315,9685	-0,2960187	100,02	99,99695
4	176	185,5	184	192	75	21,4	8	6,5	1,5	194,391	316,4631	-0,1382603	100,018	99,99695
437	176	184	184	191,5	75	21,4	8	7,5	0,5	196,1293	316,4292	-0,2306466	100,0236	99,89695
44	176	183,5	184	191,5	75	21,4	8	8	0	193,868	316,8268	7,34E-05	100,0061	99,96258
4	179	188,5	188	195	65	21,4	9	6,5	2,5	194,3274	316,687	-0,1707398	100,0118	99,99695

Ilustración 3.7-16. Mediciones dimensionales para determinar variabilidad

Tras realizar el estudio del ángulo de variación de perfil Y_{angulo} y las desviaciones respecto al perfil Y_{escala} , se concluye que cuando la diferencia de temperatura en los indicadores es mayor a 6° se detecta una diferencia en el ángulo de variación de perfil, la variabilidad no es lineal pero afecta a la forma final y a las desviaciones con respecto al perfil tomado como patrón.

Como conclusión se obtiene que si la diferencia de temperaturas es mayor a 6° C se podría producir una variación en el ángulo de variación de perfil porque se pierde el control en el encogimiento del preformado de foam durante su enfriamiento, que fue determinado en un 4%, y este valor queda sin un valor prefijado y controlado.

3.8. Problemas y soluciones en el proceso de termoconformado

Una vez realizado el termoconformado pueden aparecer una serie de problemas por los que se requiera rehacer de nuevo el proceso. Sin embargo, el producto final que no resultó adecuado puede ser de utilidad para conocer el porqué de esta prueba fallida, una vez determinado el problema se procede a aplicar una solución que permita desarrollar la metodología adecuada.

Algunos de los ejemplos son los siguientes:

Defecto	Causa posible	Solución sugerida
Detalles y formas incompletas	Calentamiento insuficiente de la hoja	Aumentar temperatura o tiempo de calentamiento
Cambio de color en la plancha de foam	Calentamiento excesivo	Reducir tiempo de calentamiento.
		Disminuir temperatura en la máquina de termoconformado
	Baja temperatura del molde	Calentar el molde
	La plancha adelgaza demasiado	Incrementar el espesor de la plancha
	Enfriamiento de la plancha antes de completar su forma	Colocar más rápido la hoja en el molde
		Calentar molde
		Disminuir profundidad de molde
		Usar radios de curvatura mayores
Material defectuoso	Cambio de plancha de foam	
Alabeo o pandeo excesivo de la plancha de foam	Plancha de foam muy caliente	Disminuir tiempo de calentamiento
		Disminuir temperatura
	Hoja demasiado grande en área	Si es posible, reducir tamaño de la hoja

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Marcas por enfriamiento en el prehormado	Hoja demasiado caliente	Disminuir la temperatura del molde
		Disminuir tiempo de calentamiento
	Baja temperatura del molde	Elevar la temperatura del molde y/o ayuda, sin exceder los rangos de temperatura
		Suavizar y/o redondear el molde en áreas críticas
Marcas por enfriamiento en el prehormado	Hoja demasiado caliente	Disminuir la temperatura del molde
		Disminuir tiempo de calentamiento
	Baja temperatura del molde	Elevar la temperatura del molde y/o ayuda, sin exceder los rangos de temperatura
		Suavizar y/o redondear el molde en áreas críticas
Pequeñas arrugas o marcas circulares	Plancha muy caliente	Disminuir la temperatura del molde
		Disminuir tiempo de calentamiento
Variación en el pando de la plancha	No hay uniformidad de temperatura en la plancha	Disminuir tiempo de calentamiento
Arrugas durante el formado	Excesivo calentamiento de la plancha	Disminuir temperatura de la máquina de termoconformado
		Disminuir tiempo de calentamiento
		Redistribuir los elemento calefactores (resistencias)
	Excesivo pando de la plancha	Disminuir el rango de temperatura de moldeo



Líneas o zonas muy brillantes	Hoja sobrecalentada	Disminuir el tpo de calentamientos
		Redistribuir los elementos calefactantes
Mala apariencia de la superficie del prehormado	Aire atrapado sobre la superficie	Revisión del cierre del molde
	Excesiva temperatura del molde	Disminuir la temperatura del molde
	Insuficiente temperatura del molde	Incrementar la superficie del molde
	Superficie del molde demasiado rugosa o áspera	Suavizar la temperatura del molde
Cambio de material de molde		
Distorsión excesiva o encogimiento después de retirar el prehormado	Proceso de conformado demasiado rápido	Prolongar el ciclo de enfriamiento
		Mejorar el enfriamiento al retirarse el macho
Excesivo adelgazamiento del espesor de la pared del prehormado	Variación del espesor ofrecido por el fabricante	Revisión/ cambio de planchas de foam
	Calentamiento desigual de la hoja La plancha de foam se encuentra a una temperatura excesiva	Disminuir la temperatura de la máquina de termoconformado
		Disminuir tiempo de calentamiento
	Molde frío La hoja no está firmemente sujeta	Calentar molde
Incrementar presión de cierre		
Verificar posible variación en el espesor de la hoja		
Torcedura en la plancha de foam	Pieza no enfriada convenientemente Distribución desigual del espesor de la pared	Ajustar ciclo de enfriamiento
		Posible calentamiento desigual de la plancha de foam
	Diseño inadecuado del molde	Modificar molde

Torcedura en la plancha de foam	Diseño inadecuado del molde	En la medida de lo posible, modificar las áreas planas con una pequeña curvatura
---------------------------------	-----------------------------	--

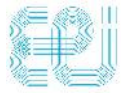
Tabla 3.8.-1. Defectos y soluciones termoconformado

Fuente: Manual técnico de termoconformado Plastiglas

Las deformaciones se producen por contracciones diferenciales entre distintas partes de una pieza, generalmente por contracciones diferentes debido a espesores distintos de una misma pieza, contracciones debido a temperaturas distintas en el molde o contracciones diferentes por aplicar diferentes presiones en distintas partes de la pieza.

Desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de foam elastomérico. Análisis metodológico en base a variables térmicas y mecánicas

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES



Universidade de Vigo

En este apartado se van a detallar las conclusiones más relevantes del trabajo de investigación relatado en esta tesis.

El objetivo fundamental en la investigación era el desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de foam elastomérico, basándose en un análisis metodológico en base a variables térmicas y mecánicas. A este respecto resultan importantes los siguientes resultados:

- Se desarrolló una producción en serie de distintos modelos de sujetador, partiendo de la **digitalización** personalizada de un sujetador patrón. Ante la observación de la inexistencia de relaciones proporcionales entre las diferentes tallas y a la valoración subjetiva de la modelo en el proceso, se establecieron un conjunto de herramientas que pudieran predecir el comportamiento ergonómico del sujetador.
- Se concluyó, por lo tanto, que la geometría del molde es el parámetro que se podría modificar en mayor medida para ajustarse a los parámetros del sujetador patrón. Por ello, decidió incorporarse un **molde de resina** para validación de geometría en frío (sin generación de calor), que permitió hacer pruebas de aproximación a la geometría deseada, sin incurrir en el gasto elevado que supondría la fabricación de un molde de aluminio para realizar pruebas.
- Tras obtener la geometría del molde validada, se estudió la disposición de los elementos generadores de calor en el molde. Fue necesario definir una **generación de calor** específica para talla y modelo, para ello, se utilizó el programa de elementos finitos **ANSYS**, en el que se realizaron ensayos con distintas opciones de generación de calor, diferentes disposiciones...Se obtuvieron combinaciones de tiempos de calentamiento y temperaturas, de entre las que se seleccionó la que permitía un calentamiento más rápido y óptimo.



- Se concluye que el procedimiento más adecuado para desarrollar moldes de termoconformado se fundamenta en un modelo de correlación de factores relativos a la **fabricación del molde, geometría, generación de calor, tiempo, temperatura o color del foam**.

- Se determinó la importancia del proceso de fabricación del molde, ya que condiciona su desgaste y su porosidad.

Los moldes de aluminio fabricados por fundición son porosos, debido a su porosidad debe recubrirse la zona de contacto con la plancha de foam con teflón para que no exista desgaste. Debido a este contacto directo, la adherencia surgida entre el teflón y la plancha de foam hace que la rugosidad final del prehormado sea diferente a si no existiese teflón.

- Se establece que la geometría es el parámetro más influyente en el desarrollo de moldes de termoconformado, ya que condicionará el estudio térmico. Se identificó el suavizado y la curvatura en el tratamiento CAD de la digitalización como parámetros decisivos para la industrialización del sujetador correcto.

- En función de la geometría, se estableció un sistema de generación de calor. Para moldes de termoconformado con prehormados de tallas pequeñas sólo es necesario una placa base de generación de calor. Sin embargo, para moldes de tallas superiores a la 100, para que la generación de calor alcance todo el volumen del prehormado, se insertan resistencias internas al molde de modo que el calentamiento se produzca más homogéneo y se pueda obtener una temperatura óptima.

La importancia de conocer la distribución homogénea de temperatura y de calor para la obtención de prehormados en serie, propició realizar un estudio térmico numérico que se verificó en ANSYS para distintos modelos de sujetadores y en función de las disposiciones de las resistencias y en el que se

estimaron unas pérdidas térmicas superiores a 1/6 de la energía generada en el proceso.

- En función del modelo a conformar, más concretamente en función de los espesores del prehormado se establece un tiempo específico de proceso. Para espesores de plancha de foam de 15 mm, el tiempo es de 65” (caso del modelo 1413). Para espesores de 5 mm, el tiempo es de 50 “(caso del modelo 1560). Tal y como se establece en líneas inferiores, la obtención del punto óptimo de termoconformado se puede regular con la temperatura para cada talla en concreto.

- Considerando un mismo modelo de sujetador se determinó que a mayor talla, mayor debe ser la temperatura aplicable para conseguir el termoconformado óptimo. Pueden existir excepciones, para el caso de prehormados muy voluminosos como el caso de la talla 105 del modelo 1413, en el que se busca obtener una correcta distribución de temperaturas.

Una importante conclusión de la investigación que ha sido relatada en esta tesis, tiene su fundamento en la relevancia de obtener una ecuación matemática específica para cada molde relativa al proceso de generación de calor. Para ello, se realiza una parametrización de los ensayos por elementos finitos en ANSYS y de la evolución respecto al tiempo de la temperatura en el molde de termoconformado. Con esta ecuación se pretende establecer una correlación del comportamiento experimental de la generación de calor en los moldes de termoconformado.

- Para los prehormados de tallas igual o superiores a la 105 con necesidad de ser calentados por resistencias, tal y como se ha relatado para garantizar el calentamiento homogéneo. Para el molde hembra, el calentamiento simulado en ANSYS se corresponde con una curva cuadrática donde el parámetro de la



parábola tiene su valor máximo en 15. Esto supone que es 15 veces mayor que la relación temperatura-tiempo que se obtiene en la curva de datos experimentales.

Para molde macho, el parámetro de la parábola tiene un valor máximo de 0.5 para los datos obtenidos en ANSYS.

Lo que implica que a mayor parámetro de parábola, la temperatura se alcanza más rápidamente. Se concluye de esto, que de los datos extraídos en ANSYS son ideales y en la realidad, durante el termoconformado, existirán otras variables que interfieran en el desarrollo de la propagación de calor.

- Para los prehormados de tallas inferiores a la 105 que son calentados por placas, el calentamiento simulado en ANSYS se corresponde con un parámetro de parábola de hasta 10 veces mayor que la relación tiempo.- temperatura que se obtiene de la curva obtenida de los datos experimentales, para el molde hembra.

En el molde macho, el valor de esta constante es de hasta 5.

- No menos significativo fue determinar la importancia del color del foam en el proceso de termoconformado, tras los análisis realizados se delimitó su influencia en parámetros de tiempos y temperaturas. Esto es debido a que existe una pequeña variación de densidades entre espumas de color oscuro y color claro.

Las espumas de color oscuro tienen mayor densidad y por lo tanto para planchas con idénticas dimensiones e igual tiempo de procesado, se requiere de mayor temperatura para prehormar.

Temas de investigación emergentes

Sujetadores protésicos personalizados

El estudio realizado en la memoria sobre el termoconformado de prehormados de foam, sienta sus bases en la digitalización de los sujetadores de forma individual y a medida, para posteriormente realizar una producción en serie.

El conocimiento y dominio de la técnica de termoconformado de foam para prehormados, permite el desarrollo de una tecnología para diseñar sujetadores personalizados que se ajusten a otras necesidades.

Se puede poner como ejemplo los sujetadores específicos para mujeres que sufrieron una mastectomía. La modificación que se incorpora en este sujetador, con respecto a sujetadores tales como el push up o sujetadores con prehormado simple, es que el sujetador que se desarrolle para las mujeres operadas con mastectomía debe caracterizarse con un prehormado que sea complemento de la mastectomía realizada.

Además este prehormado debe conferir un diseño biocompatible con la mastectomía de la usuaria. Por este motivo, tanto la copa como el material de relleno deben ser diseñados específicamente teniendo en cuenta la geometría del cuerpo de la usuaria, ya que cada sujetador será un modelo único.

- *Diseño y desarrollo de prototipo de máquina impresora*

Para la realización de este prehormado es necesario desarrollar una máquina de impresión en tres dimensiones para las prótesis con parámetros industriales. La máquina debe permitir realizar piezas de tamaños determinados, sin defectos por propagación de grandes errores de trayectorias, los cuáles son errores bastante comunes en este tipo de equipos.

Se desarrolla un dispositivo que solventa la problemática de calibración y descalibración, ya que se utilizó tecnología de realimentación del sistema en bucle cerrado.

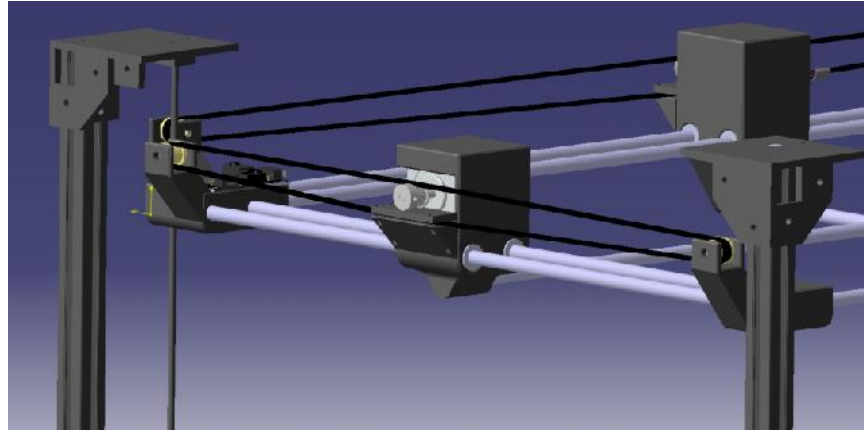


Figura 4.1-1. Sistema de desplazamiento de los ejes X e Y de la impresora

La ventaja de este proyecto es proporcionar un producto económicamente asequible, entre otras razones porque se eliminan procesos de iteración en moldes altamente costosos para encontrar la forma válida, pudiendo realizar prototipos en silicona mediante impresión 3D obteniendo el sujetador óptimo. El diseño de la impresora obtenido satisface la problemática de calibración y des-calibración, gracias a su sistema de posicionamiento controlado en lazo cerrado, conociendo en cada momento la posición del cabezal de impresión, aumentando la precisión al grado máximo.

- *Toma de medidas y tratamiento de datos*

El proceso partiría del digitalizado de la mastectomía mediante un TAC, prueba médica que permite obtener cortes o secciones en este caso del tronco, por medio de la cual los detectores de radiación puedan obtener todos los movimientos de rotación alrededor del cuerpo.

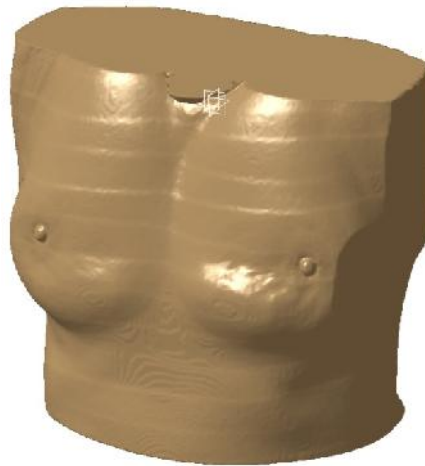


Ilustración 4.1-2. Nube de puntos del torso obtenida tras la realización del TAC

De la imagen que se obtiene del TAC, se puede concluir que la imagen del pecho se obtiene “distorsionada”, esto es debido a que la tomografía se toma en posición horizontal y el pecho no se encuentra en su posición ergonómica natural. Por ello, se recurre a definir la talla que previamente a la mastectomía utilizaba la mujer, para realizar el sujetador al que después se le insertará relleno.

En el software IN-VESALIUS se abre el archivo en formato DYCOM. Este fichero de almacenamiento de información médica es estándar y de software libre, lo que permite obtener y unificar datos.

En el tratamiento de imágenes de un TAC se puede discriminar según densidades (huesos, músculos, sistema circulatorio u órganos como la piel). Para realizar el sujetador protésico interesa el contorno del pecho, por lo tanto, debe emplearse la máscara de la piel. Se selecciona en el programa esta característica y tras su visualización, se puede guardar en formato .stl.

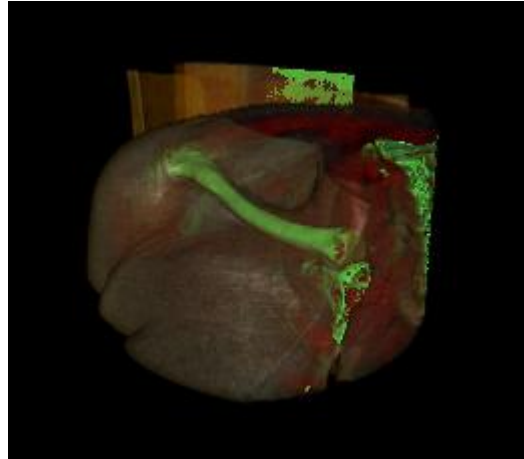


Ilustración 4.1-3. Ilustración del TAC en IN-VESALIUS

En este formato se consigue obtener una nube de puntos, que será tratada en el programa CATIA. En el módulo de superficies de CATIA, SHAPE, apartado QUICK SURFACE RECONSTRUCTION se puede visualizar la nube de puntos.

En este punto se realizan secciones con la herramienta PLANAR SECTIONS se trazan secciones de la pieza. Con la sección de la pieza no es posible traer conclusiones de la superficie (en este caso, del pecho y de la mastectomía), es necesario suavizarla. Para cada sección se obtendrá una curva CURV FORM PROJECTION.

La reconstrucción de curvas permite obtener una reconstrucción total del torso de la paciente y así obtener el negativo de la mastectomía, con esto obtendríamos la prótesis del pecho que ha sufrido la mastectomía y que será insertada en el sujetador protésico.

Se desarrolla con el programa en CAD un diseño tridimensional de la copa y de los moldes especiales para la realización de coladas de silicona y que serán mecanizados mediante técnicas de CAM, permitiendo la confección definitiva del sujetador.

De idéntica forma que para el sujetador push-up, con el desarrollo de estas copas iniciales se confeccionarán sujetadores prototipo para la realización de pruebas ergonómicas y de verificación de geometría, iniciándose una secuencia de interacciones con la usuaria hasta encontrar el adecuado.

El prehormado generado sirve de negativo de la nube de puntos obtenida del TAC, se requiere por lo tanto de un molde que reproduzca este prehormado.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

En este punto, el desarrollo del sujetador sigue etapas idénticas que los sujetadores de prehormados simples y push up, que han sido recogidos en el Capítulo 3. Metodología de la presente Tesis.



Sujetadores fabricados con composites

Otro proceso de investigación que emerge en paralelo al “Desarrollo de moldes de termoconformado de prehormados de foam elastomérico” consiste en el desarrollo de sujetadores de pecho especiales para uso deportivo, militar, policial...que tengan como principal función la protección contra impactos en actividades que conlleven riesgo físico.

La concepción de este sujetador surge paralela a la aplicación de composites, más concretamente el kevlar (o también conocido por poliparafenileno tereftalamida).

La elección para el empleo de este composite se debe a sus óptimas propiedades mecánicas:

- Sus propiedades de rigidez se sitúan en torno a 80 GPa
- Su resistencia a la tracción toma valores de 3,5 GPa
- Su elongación a la rotura no supera un valor de 3%
- Su tenacidad alcanza 50 MJ m^{-3}
- La resistencia a elevadas temperaturas posibilita superar los 400 °C sin perder sus propiedades nominales.

El desarrollo de esta técnica se sustenta al igual que en el desarrollo del sujetador push-up o de sujetadores con prehormado simple en el análisis en CAD de la nube de puntos obtenida tras la digitalización, el análisis térmico y la individualización del proceso.

La especialización en el proceso, el dominio de la técnica de termoconformado, así como el control de los parámetros que intervienen en el mismo permiten aplicar dichos procedimientos a la creación de nuevos sujetadores.

El dominio de la técnica de termoconformado de foam y de las técnicas de trabajo textil, tal como se vino relatando en esta tesis, posibilita la introducción de nuevos materiales como los composites en el proceso de termoconformado.

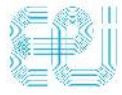
Aunque para el proceso de termoconformado los parámetros de procesado de los composites no coincidan con las variables de procesado de foam, son datos que posibilitan tener una referencia conforme a estos.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES



Desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de foam elastomérico. Análisis metodológico en base a variables térmicas y mecánicas

CAPÍTULO 5. REFERENCIAS



Universidade de Vigo

Artículos

- González, Gabriel N. - Aplicaciones del calentamiento por inducción electromagnética en el procesamiento de PRFV.
- Morales R., Candal M. Optimización de termoformado usando diseño de experimentos. Adaptación del artículo presentad en ANTEC 2006. Divulgada por la Sociedad de Ingenieros Plásticos.
- De Juanes Márquez Sevillano, Juan. Las contracciones en el diseño del molde.
- García, Manuel; Ruiz, Óscar; López Carlos; Suárez, Leidy; Gómez, Mario; Henao, Miguel. Modelamiento geométrico y térmico de moldes de termoconformado para textiles. Universidad EAFIT.
- Gacén Guillén, Joaquín; Naik, Arun; Canal Arias, José María. Influencia del tratamiento y variables del termofijado sobre los parámetros físicos y estructurales de tejidos de malla de poliéster texturado. Boletín Intexter del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, 1985, num.88. pag.49-64.
- Loizaga Aitor, Sertucha Jon, Suárez Ramón. Defectos metalúrgicos generados por la presencia de gases en el metal fundido. Universidad De la Rioja. Real Sociedad Española de Química.
- Pereyra G., Ayciriex M.D., Macchi C., Somoza A. Estudio de la porosidad de una aleación de base Al-Si-Mg. Congreso SAM/CONAMET 2007.
- Albístur A., Fernández J. Influencia del hidrógeno en las propiedades mecánicas de los aceros micro 100° y Formax. Anales de mecánica de la fractura, vol.22, año 2005.
- Ashdown, Susan; Loker Suzanne; Adelson Carol. Use of Body Scan Data to Design Systems Based on Target Markets. National Textile Center Research Briefs-Management Systems Competency, June 2004.
- Morales R.A., Candal M.V. Diseño y fabricación de un molde de termoconformado utilizando herramientas CAD/CAE. Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V, VOL.21, n° 1, pp 83-99, 2006.
- Desplentere Frederik; Van Bael Albert. Optimization of the heating process for thermoforming. IWT-TETRA.
- Márquez Sevillano, Juan de Juanes. Las contracciones en el diseño del molde. Contracciones y deformaciones en las piezas de plástico.



Patentes

- Sanllehi Geli, Juan. “Perfeccionamientos en los mecanismos para prehormado de géneros de calcetería” a 31 de octubre de 1968.
- Von Fransecky, Ulrich. Estructura reticular textil particularmente geotextil. Clasificación internacional de patentes: D04B21/18 y DO4B21/14.

Libros

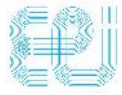
- Brydson, John (1966).Plastics Materials. Oxford. Pág. 899
- Manual técnico termoconformado, PLASTIGLAS.
- Kalpakjian, Schmid. Manufactura Ingeniería y tecnología. Prentice Hall
- Fundamental manufacturing Processes Series Study Guide, Society of Manufacturing Engineers
- NTP 116-1984. “Nota técnica de prevención de buenas prácticas para trabajo con el MDI”.
- Riesgo de exposición a Isocianatos. Prevención Documentación Técnica por ASEPEYO.
- Ruiz de Haro, M^a Irene. Orígenes, evolución y contextos de la tecnología textil: la producción del tejido en la prehistoria y la protohistoria. Universidad de Granada.
- Coca Pedro. Manual del aluminio. Editorial Reverté, S.A.
- Colliou A.M.; Powney D.J. Propiedades mecánicas y térmicas de los materiales. Editorial Reverté. S.A.
- Callister, William. Ciencia e Ingeniería de los materiales. Editorial Reverté S.A.
- Manual del aluminio, Editorial Reverté S.A.
- Capítulo II, Ingeniería mecánica-tecnología mecánica II. Facultad de Ciencias y tecnología. UMSS.
- Incropera, Frank P. Fundamentos de transmisión de calor. México. Prentice Hall, 1999.

Proyectos, Tesis doctorales

- Rodríguez Pérez, Miguel Ángel-Tesis doctoral 1998 Universidad de Valladolid, Propiedades Térmicas y mecánicas de espumas de poliolefinas.
- Ruiz Gómez, Diego Fernando. Diseño de un sistema de alimentación y retiro de material en la sección de prehormado de copas para brassieres. Universidad de La Salle, 2007
- Centeno Biasini, Daniel Igor. Diseño y fabricación de un molde de termoconformado utilizando herramientas CAD/CAE/CAM. 2002. Universidad Simón Bolívar.
- Restrepo Marín, Andrés Felipe; Viveros Benavides, Diego Esteban. Diseño de un sistema térmico para calentamiento de moldes utilizados en la fabricación de copas de brasier en la empresa Formacop. Facultad de ingeniería Santiago de Cali, 2013.
- Ruiz, Oscar; García, Manuel; Suárez Leidy; Gómez, Mario; Henao, Miguel. Modelamiento geométrico y térmico de moldes de termoformado para textiles. Laboratorio CAD/CAM/CAE. Universidad EAFIT, 2003.
- Salas M., Pérez J., Sepúlveda P.. Análisis térmico de un motor marino mediante el método de elementos finitos. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile.
- Méndez Martínez, Flor Yazmín. Análisis térmico de una placa para una prensa de termoformado. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

Páginas web

- www.selmark.es
- www.resinascastro.es
- www.CATIA.com
- www.helmutroegele.com
- www.arteingaskets.com



Universidade de Vigo

Desarrollo de moldes de termoconformado para prehormados de foam elastomérico. Análisis metodológico en base a variables térmicas y mecánicas

ANEXOS



Universidade de Vigo

ANEXO 1. Informe químico del FOAM

Informe de microscopía óptica, comparativa de 2 FOAM

Ficha técnica elastosil 4601 A + B

Ficha técnica poliuretano PU-31

MUESTRAS: 4 Foam-Bra-Cup
Cliete: CIMA_Selmark
Técnica: Microscopia Óptica Luz visible y UV
Modelo: MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO SMZ 1500
Fabricante: NIKON



Universidad de Vigo
 C.A.C.T.I.
 Servicio de Nanotecnología y
 Análisis de Superficies
 Vigo / Septiembre / 2011

INFORME DE RESULTADOS

MICROSCOPIA ÓPTICA DE ALTA RESOLUCIÓN

MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO SMZ 1500

Nikon's top-of-the-line stereomicroscope, the SMZ1500 was designed with life scientists in mind. It covers a zoom range from 0.75x to 11.25x, and offers sophisticated accessories that rival that of advanced compound microscopes. This allows the scientist to see and photograph any specimen, from macro views to high-magnification micro visualization.

Nikon developed a new epi-fluorescence attachment, model P-FLA2, that allows easy observation of living cells under fluorescence methods such as GFP. Switching between fluorescence techniques and transmitted illumination is quick and easy.

Aplicaciones Regenerative Studies, Marine Biology, Veterinary, Cell Biology Live, Lab-on-a-Chip, Forensic Science, Palaeontology, Microelectronics, Asbestos, Metallurgy, Rocks/Minerals, Fabrics/Textiles, Composites, Plastic Manufacturing, Metal Manufacturing, Automotive Manufacturing, Medical Devices, Optoelectronics, MEMS, Cracks and Failure Analysis, Embryology/IVF, Formulation Science.



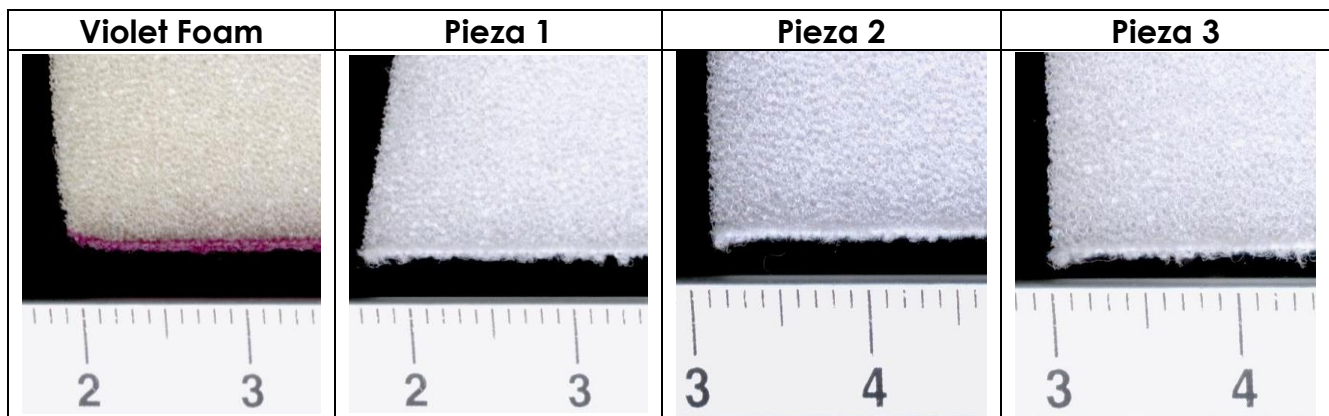
Optical System:	Parallel Optical Zoom System
Zoom Range:	0.75x to 11.25x
Zoom Ratio:	15:01
Total Magnification:	3.75x to 540x depending on eyepiece and objective used (5.6x to 506x when coaxial episcopic illuminator is attached)
Distance between Optical Axes:	22mm
Zooming Knob:	Coaxial control knobs on both sides, with clickstops (on/off), magnification indicated
Aperture Diaphragm:	Incorporated
Objective Lenses:	HR Plan Apo 0.5x; HR Plan Apo 1x; HR Plan Apo 1.6x; P-Plan Apo 0.5x; ED Plan 0.75x; P-Plan Apo 1x; P-ED Plan 1.5x; P-ED Plan 2x
Objective Mounting:	Screw Mounting to Zoom Body: M58 x 1.25 internal diameter to accept accessories: M55 x 0.75 external diameter; diameter 60mm; Note: Except HR Plan Apo 1.6x
Eyepiece Tubes:	ocular Eyepiece Tube, 20° Inclination, Interpupillary Distance: 48-75mm; Low Eyelevel eyepiece Tube, 20° Inclination, Interpupillary Distance: 48-75mm; Tilting Binocular Eyepiece Tube, 0 - 30° Inclination, Interpupillary Distance: 48-75mm
Eyepiece Tube Mounting:	54mm diameter; 60° round dovetail
Eyepieces with Diopter Adjustment:	C-W 10x (F.N. 22); C-W 15x (F.N.16); C-W 20x (F.N. 12.5); C-W 30x (F.N. 7)
Focusing Mount:	P-FMD Focusing Mount D, Stroke: 65mm; Diameter of opening for post: 32mm
Stands:	C-PS Plain Focusing Stand; C-PSC Compact Plain Focusing Stand; C-DS Diascopic Stand S; C-PS160 Plain Stand; C-DSS Advanced Diascopic Stand; C-DSD Enhanced OCC (Oblique Coherent Contrast) Stand; C-BD Brightfield/Darkfield Diascopic Stand; C-US-1 Universal Table Clamp Stand 1; C-US-2 Universal Table Stand 2; US-3 Universal Table Stand; P-THS Teaching Head Stand (requires P-THSS Teaching Bridge)
Illumination Systems:	P-FLA2 FL Epi Fluorescence Attachment with 4 position slider for up to 3 fluorescence filter sets with one open position, optional photo/video port can be added to integrated beamsplitter; P-IC12 Coaxial Episcopic Illuminator (12V/100W halogen) (Intermediate magnification 1.5x); 150W High Intensity Fiber Optic Light Source, single and double gooseneck light pipes and ringlights available; 30W Fiber Optic Light Source (single gooseneck light pipe included), double gooseneck light pipes and ringlights available; G-LS 6V/10W Illuminator; G-LS 6V/10W Illuminator with articulated arm; 6V/20W Illuminator with articulated arm; C-Fluorescent Ring Illuminator with built-in transformer, intensity light switch; Epi-Fluorescence Illuminator with optional photo tube
Beamsplitters:	P-IBSS Single Port Beamsplitter, Split: 100/100:0 100/50:50; P-IBSD Dual Port Beamsplitter, Split: 100/100:0/0, 50/50:50/50, 0/100:100/0
P-THSS Teaching Bridge:	Side-by-side (requires dedicated teaching bridge stand) (P-IDT Drawing Tube optional)

INTRODUCCIÓN:

El análisis del recubrimiento exterior y de la espuma que componen las cuatro muestras objeto de estudio, se ha realizado utilizando imágenes ópticas estereoscópicas con luz visible.

Se han analizado 4 muestras con el fin de poder observar diferencias morfológicas, tanto en el tejido como en la Espuma

- **Violet Foam:** pieza de espuma de Poliéster con tejido de Poliéster tintado en Violeta correspondiente al Proveedor A.
- **Pieza 1:** pieza de espuma de Poliéster con tejido de Poliéster Blanco no tintado correspondiente al Proveedor B
- **Pieza 2:** pieza de espuma de Poliéster con tejido de Poliéster Blanco no tintado correspondiente al Proveedor B
- **Pieza 3:** pieza de espuma de Poliéster con tejido de Poliéster Blanco no tintado correspondiente al Proveedor B



DISCUSIÓN

Hemos analizado los dos componentes de las muestras (Tejido y Foam) por Microscopía Óptica para determinar diferencias morfológicas y estructurales.

TEJIDO: Los tejidos de los dos proveedores (A y B), muestran relevantes similitudes como:

- Los hilos utilizados para fabricar el tejido contienen aproximadamente el mismo número de filamentos, entre 34 y 36 filamentos. La dificultad de precisar el número es debido a la rotura de filamentos y a la dificultad de separarlos y extenderlos perfectamente.
- El grosor de las de Fibras o filamentos que forman el hilo muy similar entre los dos proveedores. El diámetro de las fibras o filamentos que componen el hilo no es constante, por ello realizando varias medidas en diferente hilos y diferentes posiciones hemos obtenido que el grosor oscila entre las 20 y las 22 micras

Sin embargo a pesar de estas similitudes, se observan diferencias en cuanto a la apariencia del TEJIDO (Violeta) del Proveedor A, si se compara con cualquiera de los tejidos de las Piezas 1,2 3:

- Luce más esponjoso
- El Hilo ocupa más volumen ó el volumen de los espacios sin hilo es menor
- El ángulo de la trama es menor

Creemos que estas diferencias pueden deberse a dos razones fundamentales:

- Un tratamiento de texturización diferente entre los dos proveedores, ya sea más intenso o intensivo en el proveedor A que en el proveedor B
- La tensión del hilo durante el cosido

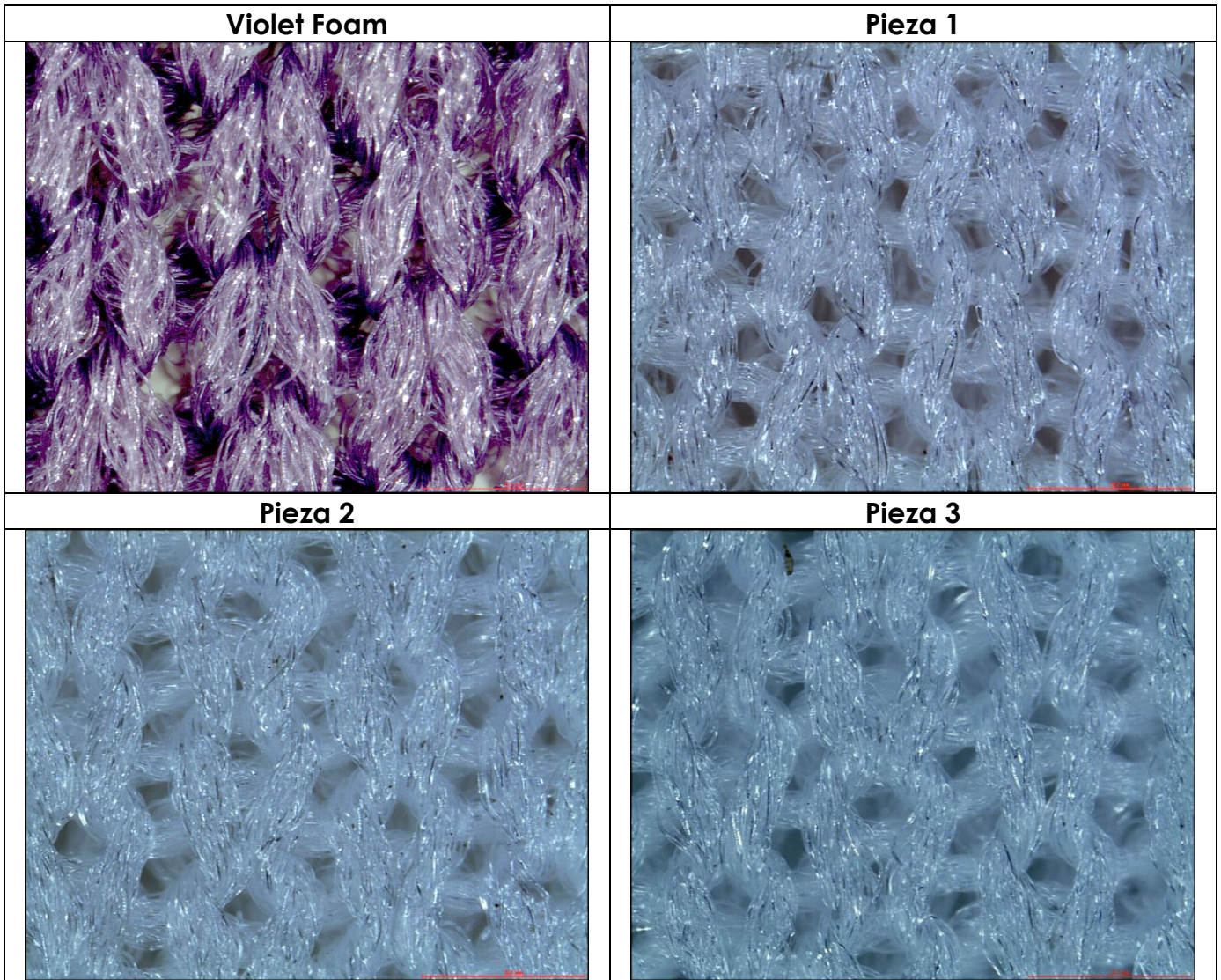
ESPUMA:El análisis de la espuma de las muestras objeto de este estudio nos ha permitido determinar diferencias relevantes entre la muestra del proveedor A y las 3 muestras del proveedor B:

- Violet Foam: Las celdas que componen la espuma, en su mayoría no presentan membrana del polímero, es decir que los poros están en su mayoría interconectados entre sí por lo que se trata de una espuma reticulada. En base a esta observación podemos decir que es una espuma estructurada de célula abierta (Open cell structured foam). Aunque algunas de celdas presentan membrana, mayoritariamente las celdas están abiertas. Las celdas presentan tamaños variables y tienen una longitud (medida en el eje más largo) entre 250 y 500 micras. La pared de la celda presenta un grosor cuyo valor oscila entre 20 y 40 micras.
- Piezas 1, 2 y 3: Estas 3 espumas presentan similares características entre sí. En estas espumas existe una proporción elevada de celdas o ventanas con membrana de polímero comparadas a la muestra del Proveedor A, por lo que su estructura es más cerrada, aunque no se trate de espuma estructurada de célula cerrada. En este caso parece que el proceso de reticulación, de la espuma ha sido poco efectivo. Las celdas presentan tamaños variables, con una longitud medida en el eje más largo entre 200 y 500 micras.

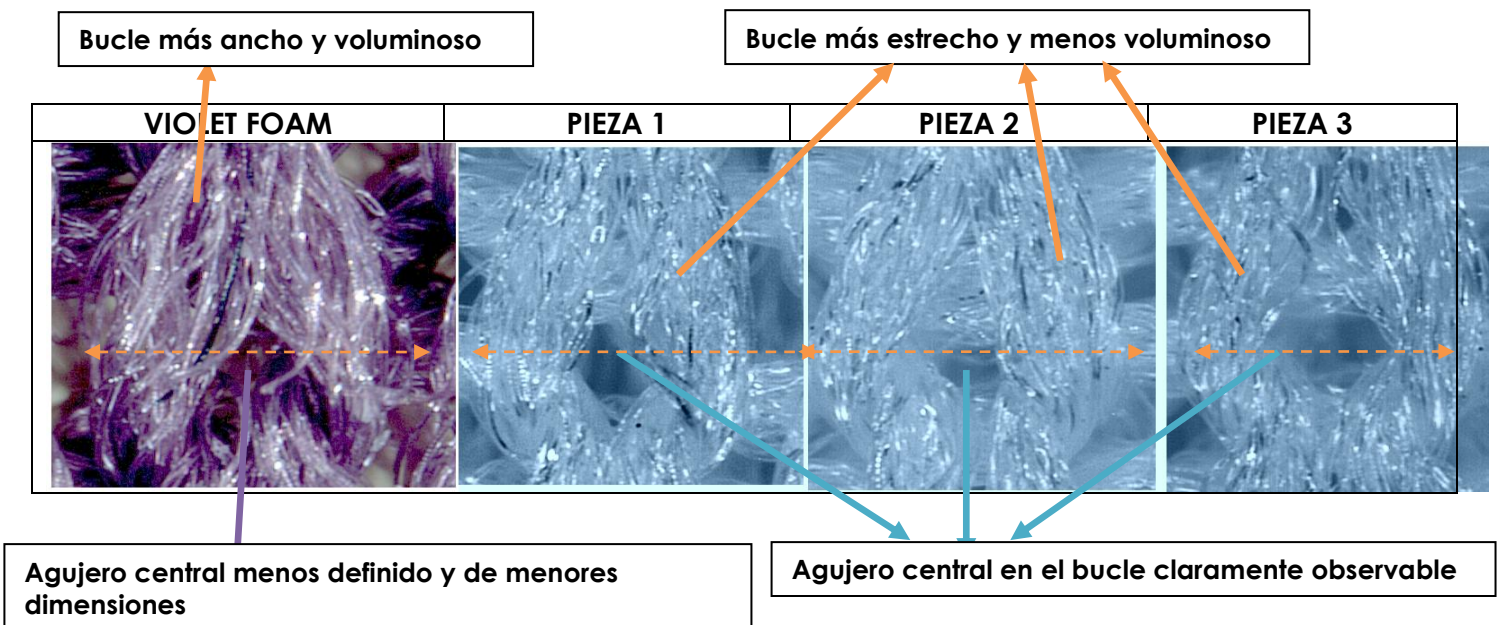
Tomando en cuenta en que el tejido en la muestra VIOLET FOAM es más esponjoso y Dado que la espuma del proveedor A, tiene una estructura más abierta, presenta menos polímero recubriendo las celdas, al someterla a presión, opone menor resistencia ante la compresión, el aire fluye con mayor facilidad, y por lo tanto es más fácilmente deformable. Estos factores explicarían el mayor grado de "confort" del Material VILET FOAM del proveedor A respecto a las espumas (Piezas: 1,2, y 3) del Proveedor B.

NOTA: En las espumas de Poliéster al someterlas al reticulado sólo deben quedar, las paredes o fronteras lineales de las burbujas originales, lo que les confiere la característica suavidad, baja densidad y muy baja resistencia a la compresión. A partir de los análisis hemos podido comprobar que aunque el grado de reticulación es mayor en la espuma del Proveedor A respecto a las del proveedor B, ninguno de los dos proveedores ha logrado una reticulación completa.

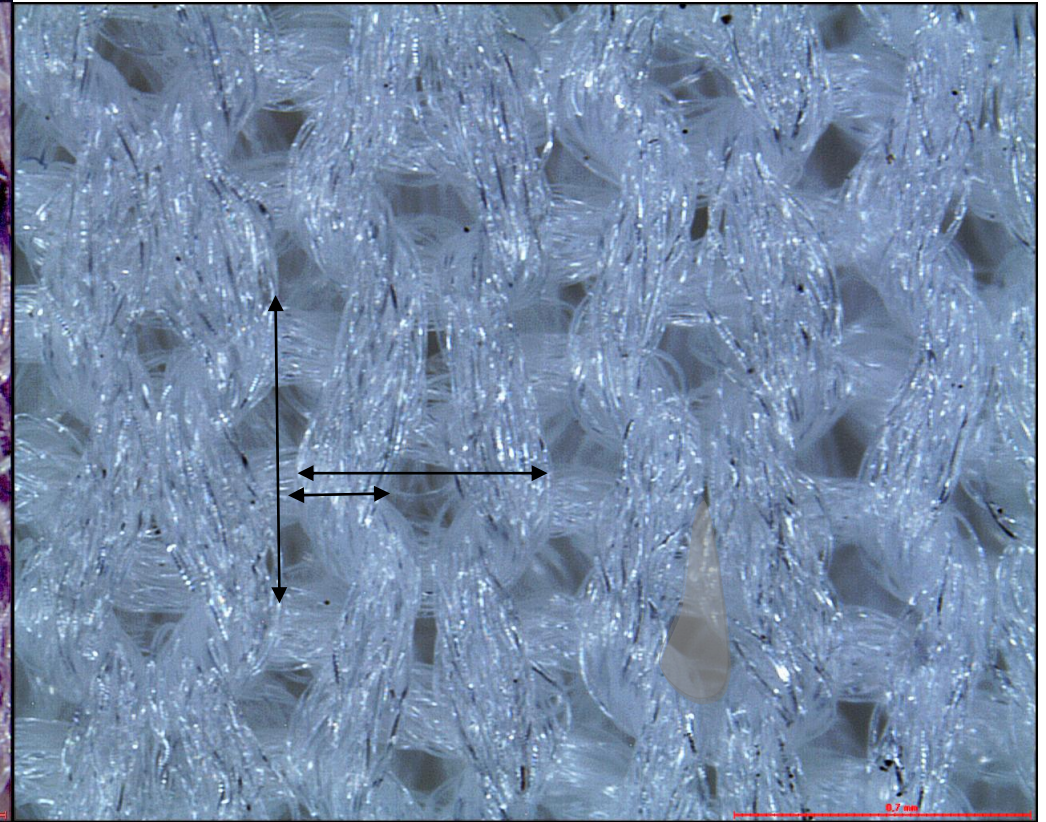
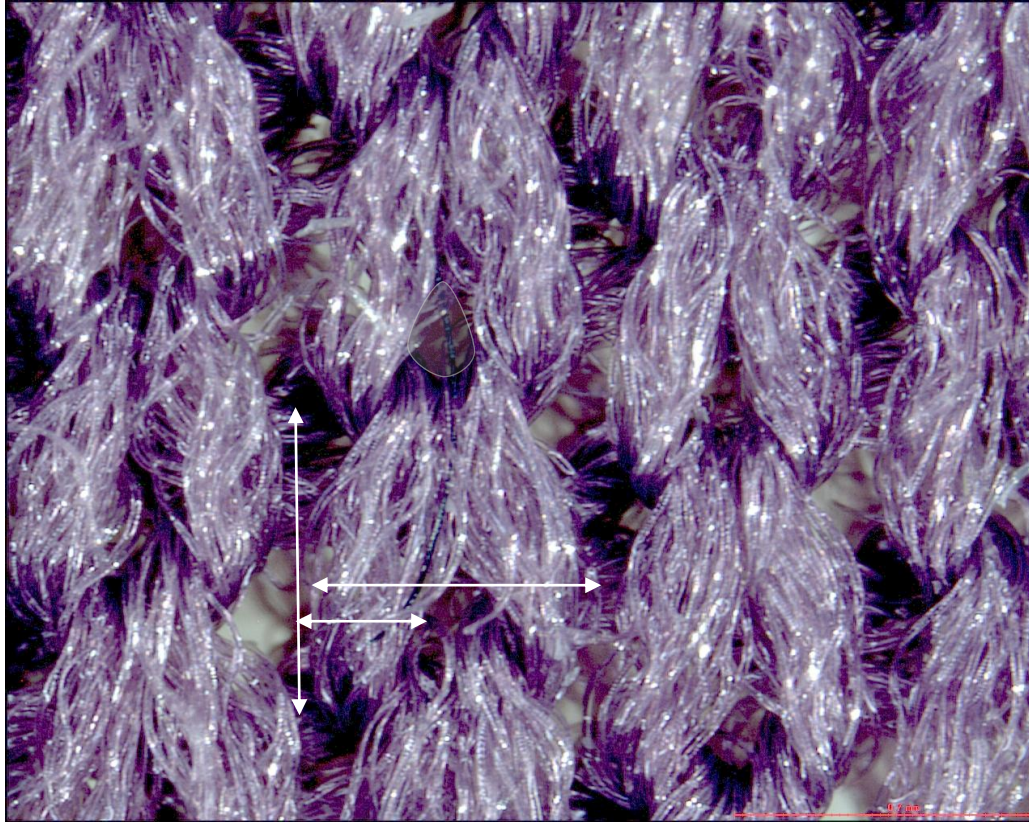
IMÁGENES DE MICROSCOPIA ÓPTICA COMPARACIONES DE TEJIDO



IMÁGENES DE MICROSCOPIA ÓPTICA COMPARACIONES DE TEJIDO EXTERIOR/ZOOM DIGITAL (DETALLE)



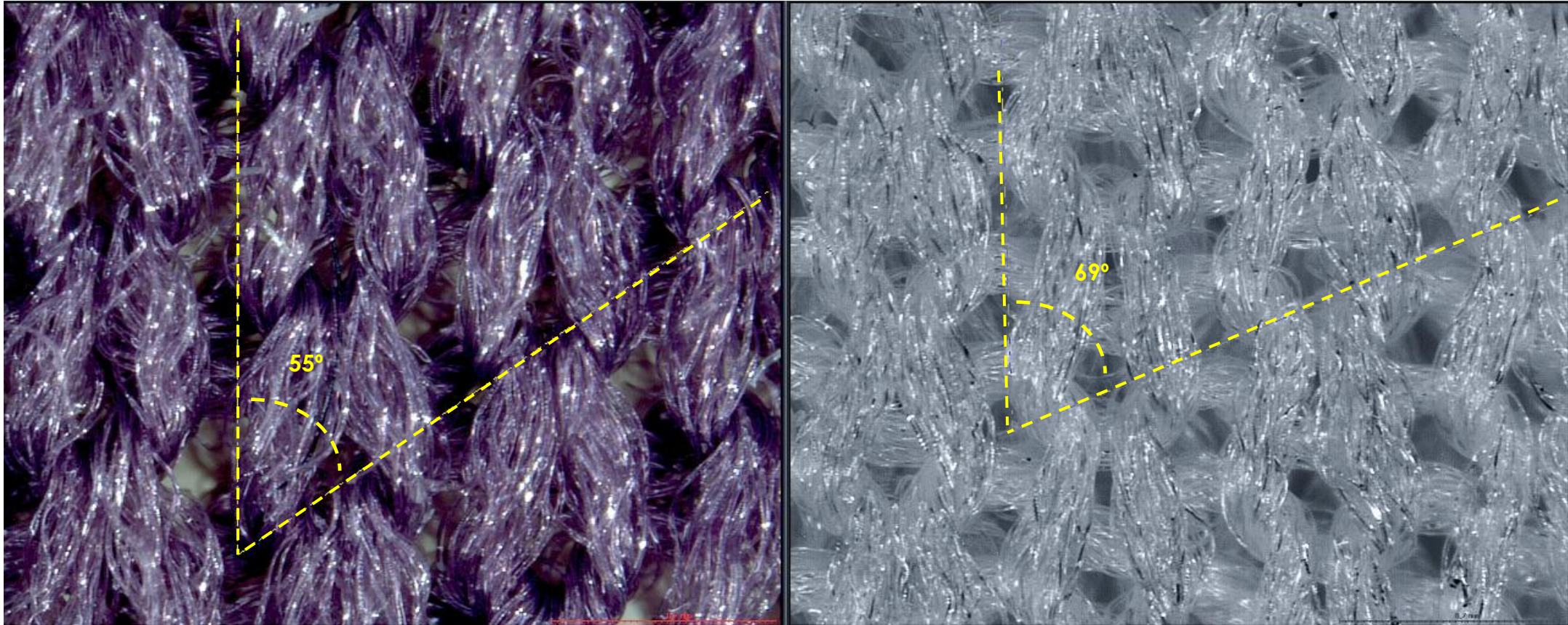
DIMENSIONES CRÍTICAS DEL TEJIDO



PROVEEDOR A	
Altura del bucle	800 um
Ancho del Bucle	650um
Ancho del Hilo	280um
Area total del Bucle	450000 um2
Area del orificio central del bucle	37000 um2

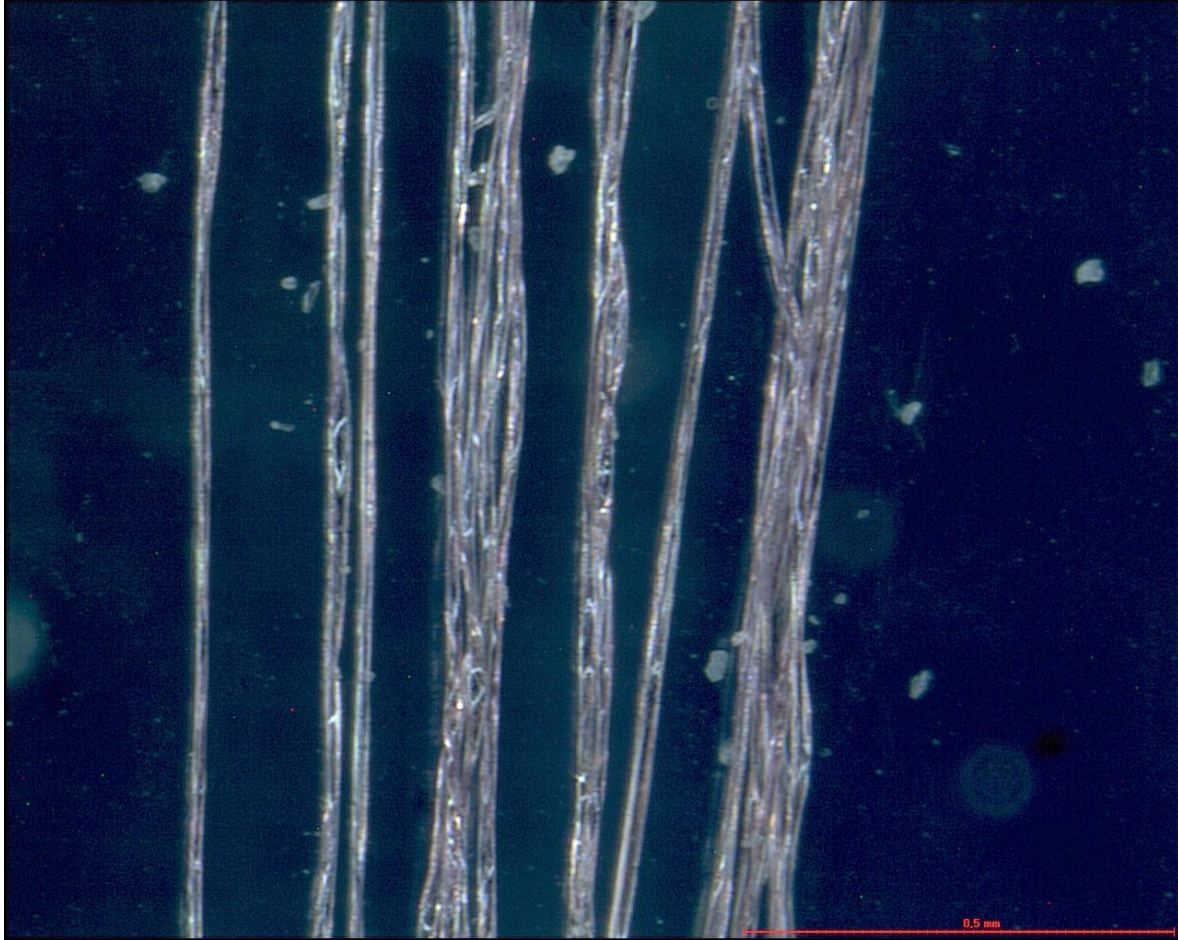
PROVEEDOR B	
Altura del bucle	800 um
Ancho del Bucle	600um
Ancho del Hilo	200-220 um
Area total del Bucle	390000 um2
Area del orificio central del bucle	55000 um2

Ángulo de la trama

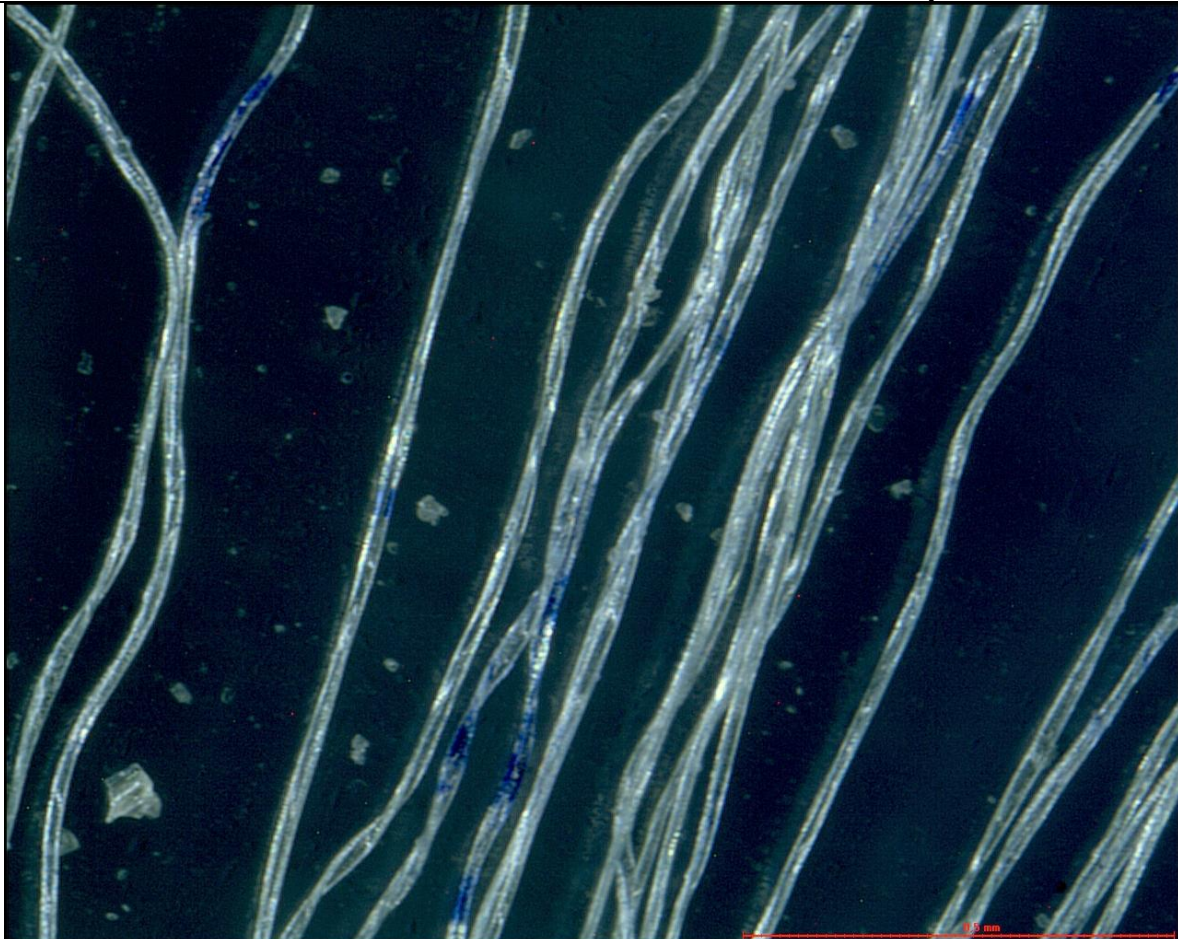


**IMÁGENES DE MICROSCOPIA ÓPTICA
COMPARACIONES DE LAS FIBRAS DEL TEJIDO**

VIOLET FOAM/ Ancho de las fibras individuales está entre: 20 y 22 micras

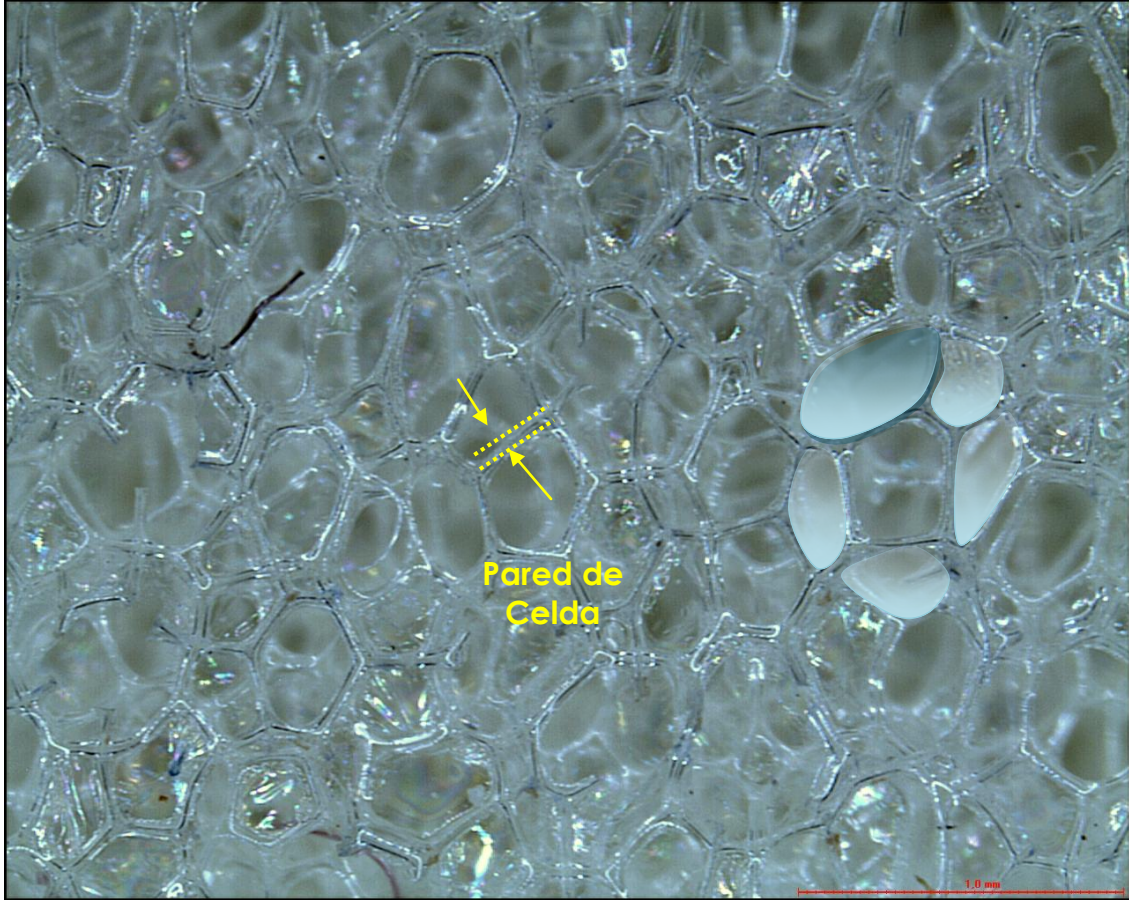


PIEZA 3/ Ancho de las fibras individuales está entre 20 y 22 micras



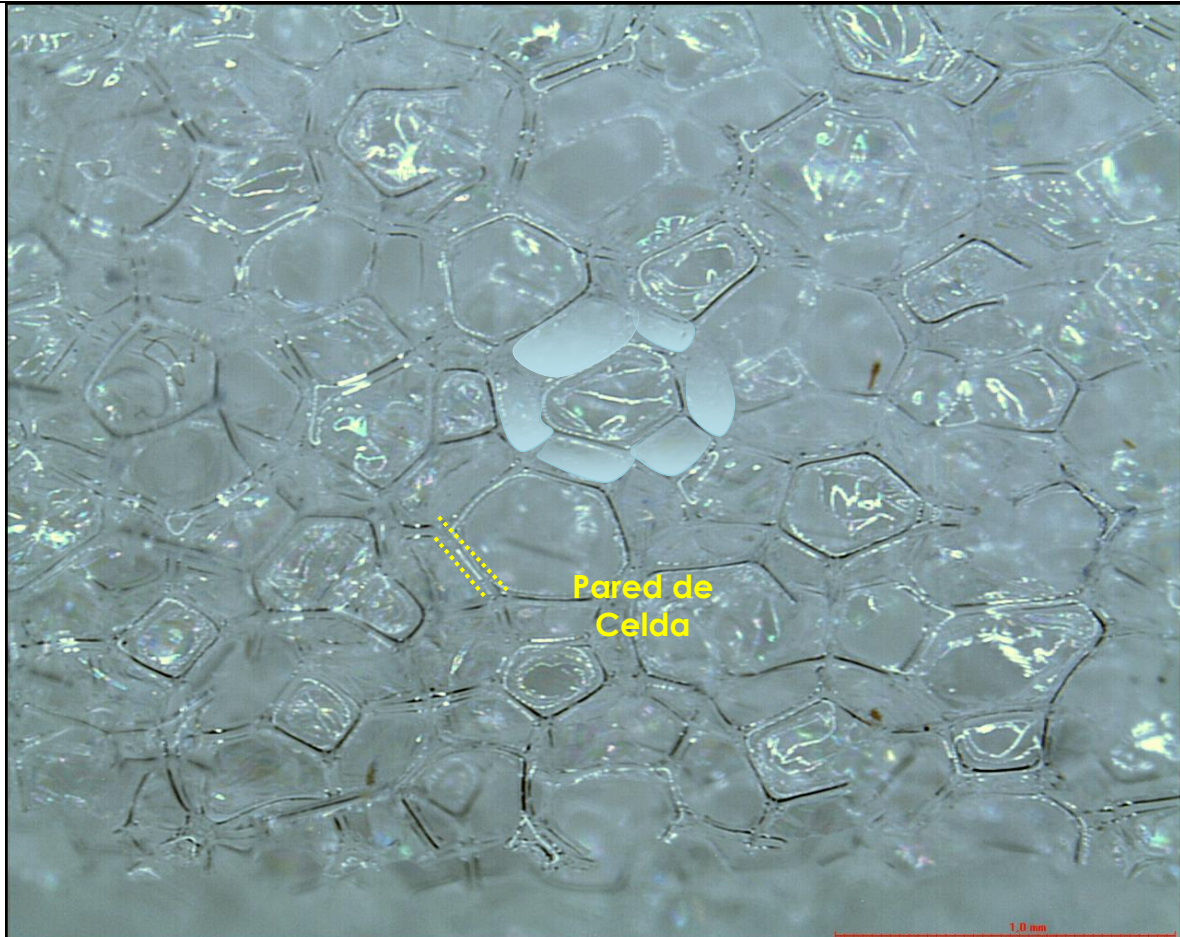
**IMÁGENES DE MICROSCOPIA ÓPTICA
COMPARACIONES DE LA ESPUMA**
Celdas con ventanas en las que permanece el Polímero

Violet Foam



:

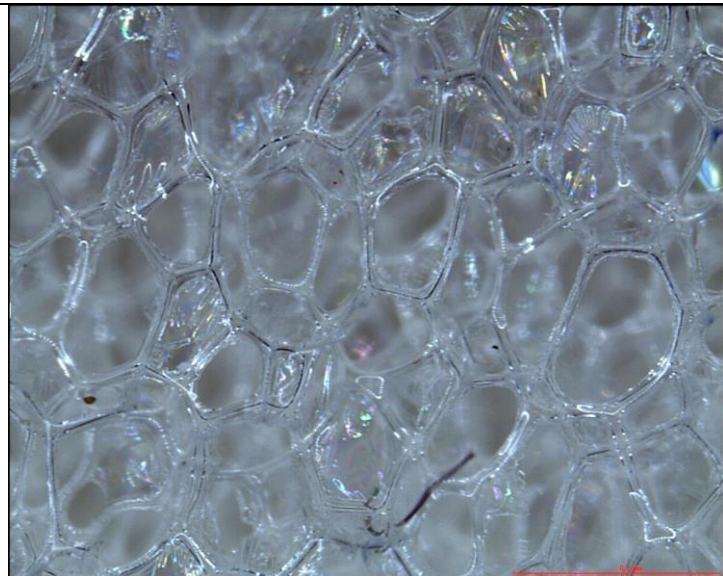
Pieza 2



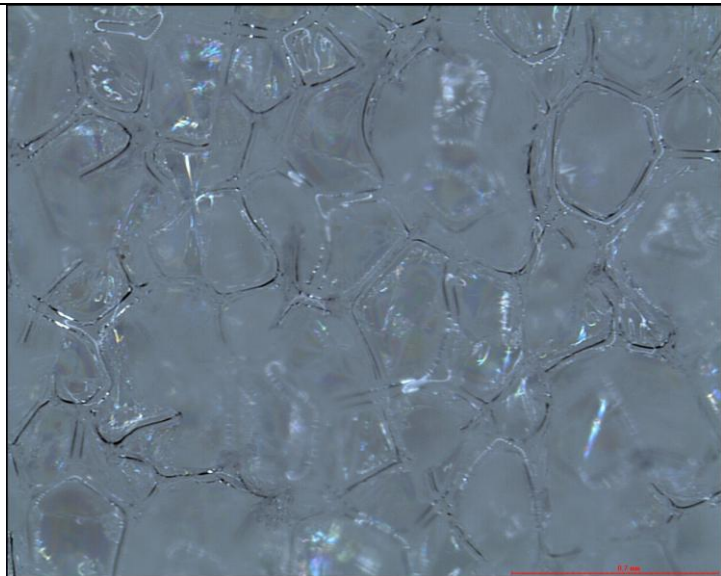
MÁGENES DE MICROSCOPIA ÓPTICA COMPARACIONES DE LA ESPUMA INTERIOR

0.7 mm

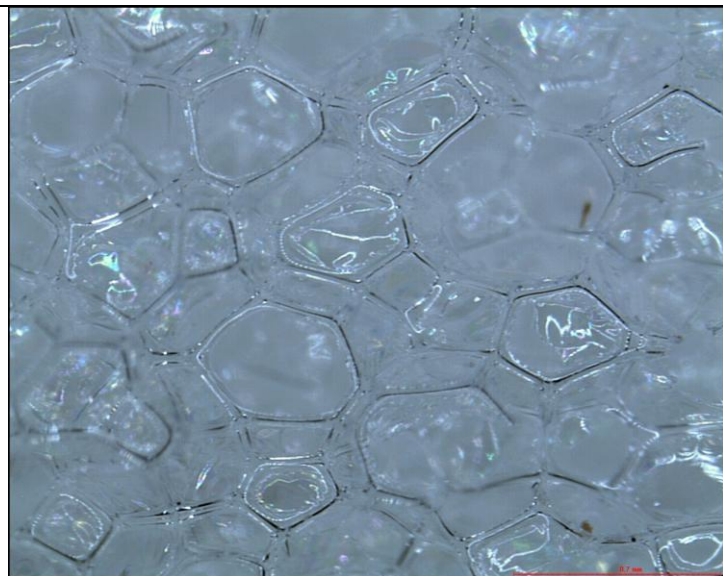
Violet Foam



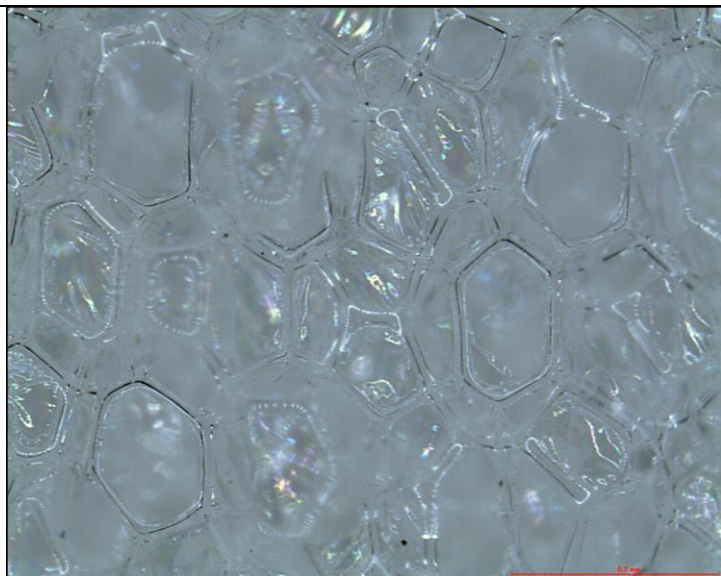
Pieza 1



Pieza 2



Pieza 3



El tamaño de las celdas en las 4 espumas presentan dimensiones similares, sin embargo, en las espumas 1,2,3, que muestran estructuras idénticas, existe una gran proporción de ventanas o celdas cubiertas con polímero, por lo que el proceso de reticulación aplicado a la espuma ha sido poco efectivo.

¿CÓMO AFECTA LA RETICULACIÓN A LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ESPUMA?

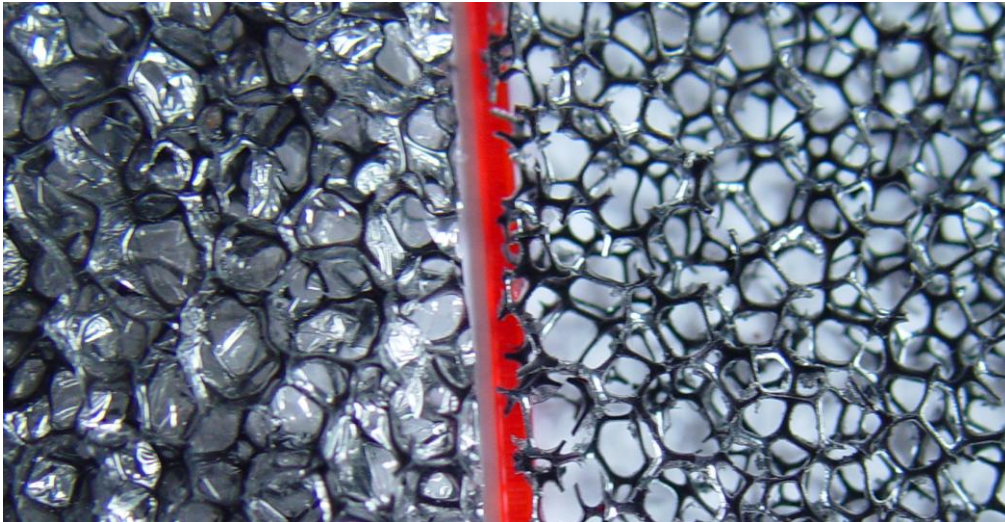


Figura: comparación entre dos espumas antes y después del proceso de reticulación

Todas las características, excepto la inflamabilidad se ven afectados positivamente después de someter la espuma al proceso de reticulación. La resistencia a la tensión aumenta entre un 10% y un 32%, mientras que el alargamiento hasta la rotura aumenta un 20-40%, la resistencia al desgarramiento aumenta en un 95%. La compresión baja del 6-8% al 3-4,7%.

Physical Properties	Polyester	
	Before reticulation	After reticulation
Tensile Strength	>= 120	132
Elongation at Break	>= 175	213
Tear Resistance	>= 4	7.9
Compression Set	>= 8	4.7
Flammability	>= 12	18.8

- **Compression Set:** Compression set is a measure of the deformation of a foam after it has been held compressed under controlled time and temperature conditions. It is expressed as a percentage of original compression. This value informs us about how much of its thickness a piece of foam loses after being used for a certain time.
- **Tear Resistance:** test method Tear resistance is a measure of the force required to continue a tear in a foam after a split or break (N/cm).
- **Tensile Strength:** test method Related to the force that needs to be applied to a piece of foam with a certain thickness, in order to break it apart by pulling it from two sides. (kPa).
- **Elongation at Break:** test method Measured during the same test as for Tensile Strength. Defined as the percentage of the final length before breaking to the original length.


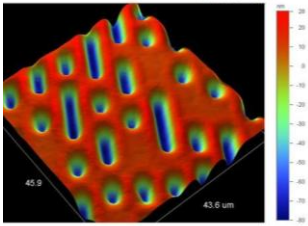

Fuentes:

http://en.wikipedia.org/wiki/Reticulated_foam

http://www.urosankimya.com/teknik_en.htm

<http://steplaw.com/reticulatedfoam.html>

RESULTADOS PERFILOMETRÍA ÓPTICA INTERFEROMÉTRICA

NT 1100 – PERFILOMETRO ÓPTICO INTERFEROMÉTRICO	
 <p>Datos impresos en un CD Imagen microscopio Interferométrico</p>  	<p>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</p> <p>Wyko-NT1100 is a non-contact optical profiling system that provides high resolution, 3D surface measurement, from sub-nanometer surface roughness to millimeter step-height. Two measurement modes are available. Phase-Shifting Interferometry (PSI) mode allows high-resolution measurement of smooth surface and small steps, while Vertical Scanning Interferometry (VSI) mode allows measuring rough surfaces and steps up to several millimeters high.</p> <p>Mode: PSI Measurement Range: 160 nm Vertical Resolution (Single Measurement): 0.3 nm Vertical Resolution (Multi-Measurement): 0.1 nm</p> <p>VSI Measurement Range: 2mm Vertical Resolution (Single Measurement): 3 nm Vertical Resolution (Multi-Measurement): < 1 nm</p> <p>Applications: Surface analysis for thin films and bulk materials</p> <p>Features:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Two measurement modes, PSI and VSI * The full WycoVision@32 analytical software package. * Advanced optics ensure sub-nanometer vertical resolution at all magnifications. * The Data Stitching option adds a motorized stage for high resolution measurements over a larger field of view.

Discusión:

Se han realizado también medidas de perfilometría interferométrica en el modo VSI “Vertical scanning Interferometry”, en los recubrimientos exteriores de los cuatro tipos de muestras objeto de estudio, con el fin de determinar diferencias morfológicas en la composición de los tejidos:

- **Violet Foam:** Foam-Bra-Cup compuesto por un recubrimiento violáceo (Proveedor A).
- **Pieza 1:** Foam-Bra-Cup compuesto por un recubrimiento blanco (Proveedor B).
- **Pieza 2:** Foam-Bra-Cup compuesto por un recubrimiento blanco (Proveedor B).
- **Pieza 3:** Foam-Bra-Cup compuesto por un recubrimiento blanco (Proveedor B).

Para ello se ha decidido utilizar la opción de “stitching” (Cosido digital de imágenes) que permite medir zonas de mayor área; es decir, que cada imagen completa que se muestra está compuesta por muchas imágenes individuales (en este caso 24 imágenes individuales) unidas entre sí mediante el software que aplica un algoritmo para solapar –parcialmente- las imágenes contiguas. Los “stitchings” de 2.3x2.0 mm² han sido realizados en el centro de las muestras tomadas, empleando el Objetivo 5X y un FOV (lente intermedia) de 1X (tamaño de las imágenes individuales: 0.91x1.2 mm²).

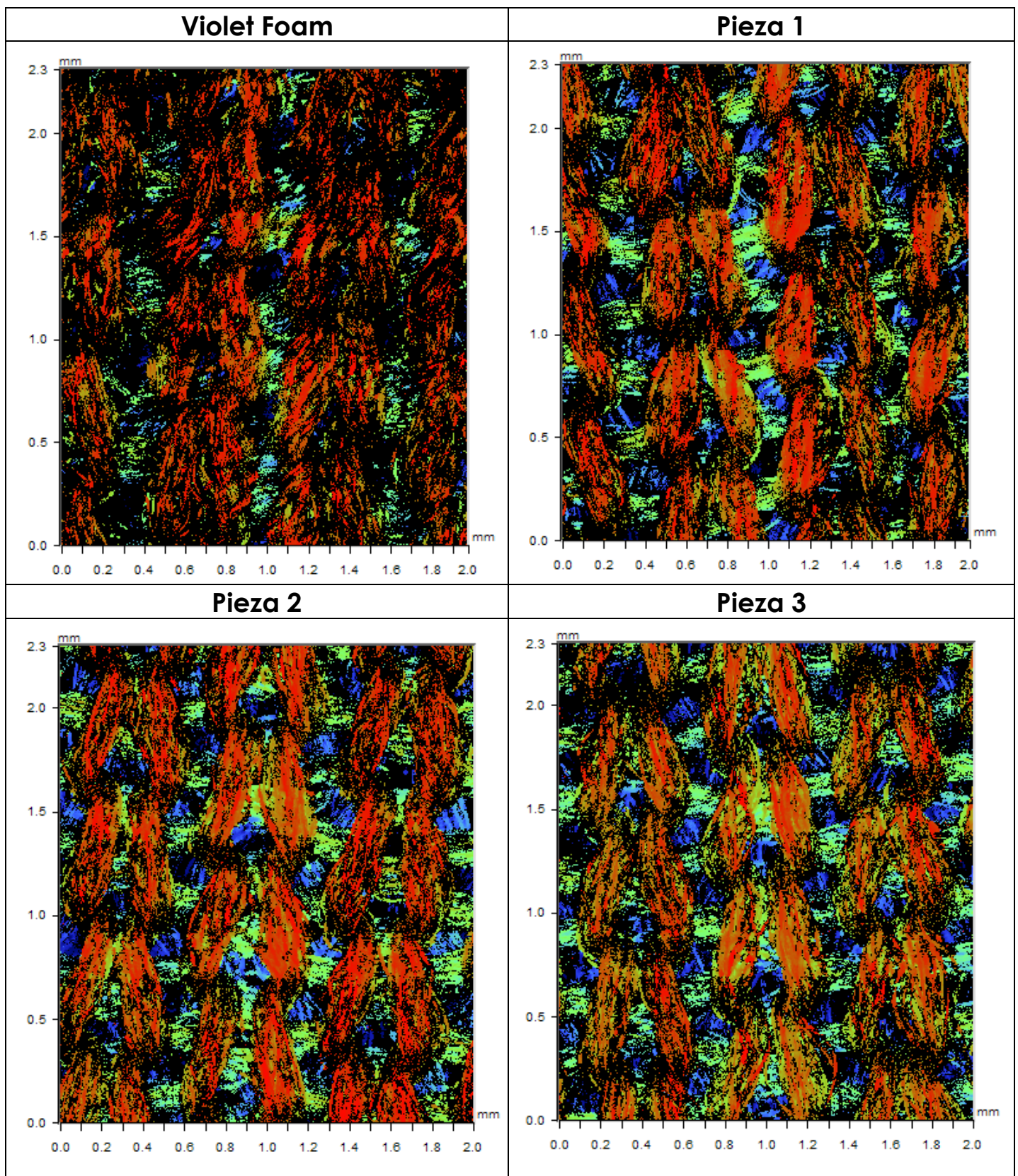
ESTUDIO DEL TEJIDO:

Los resultados obtenidos por perfilometría óptica interferométrica, son coincidentes con los obtenidos por la Microscopía óptica en lo referente al tejido. El volumen ocupado por los espacios vacíos que deja el hilo al formar el tejido, es menor en el tejido denominado Violet Foam (Proveedor A) y mayor en los tejidos del proveedor B.

Tabla 1

Tabla Volumen Normalizado de los espacios vacíos	
	Stitch 2.3x2.0 mm ²
	Volumen (um ³)
Violet Foam	57.98
Pieza 1	67.90
Pieza 2	69.35
Pieza 3	81.64

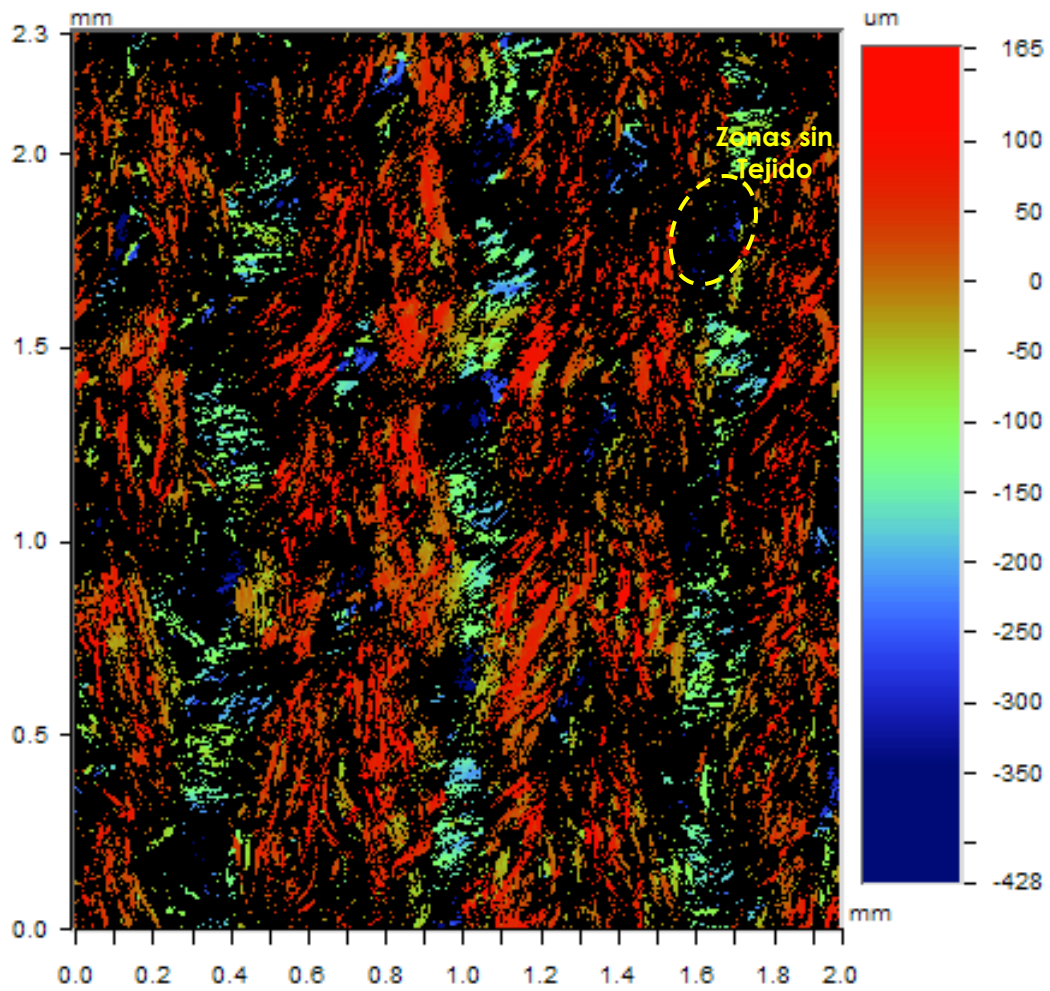
RESULTADOS OBTENIDOS POR PERFILOMETRÍA ÓPTICA
Comparación Stitch 2.3x2.0 mm²
Magnificación 5X



Si se comparan los tamaños de Hebra y Fibras que componen dichas hebras, podemos concluir que las hebras más finas y largas las encontramos en la muestra Violet Foam, aunque el ancho de fibra es ligeramente mayor respecto a las otras tres muestras (Tabla 2).

RESULTADOS DETALLADOS VIOLET FOAM

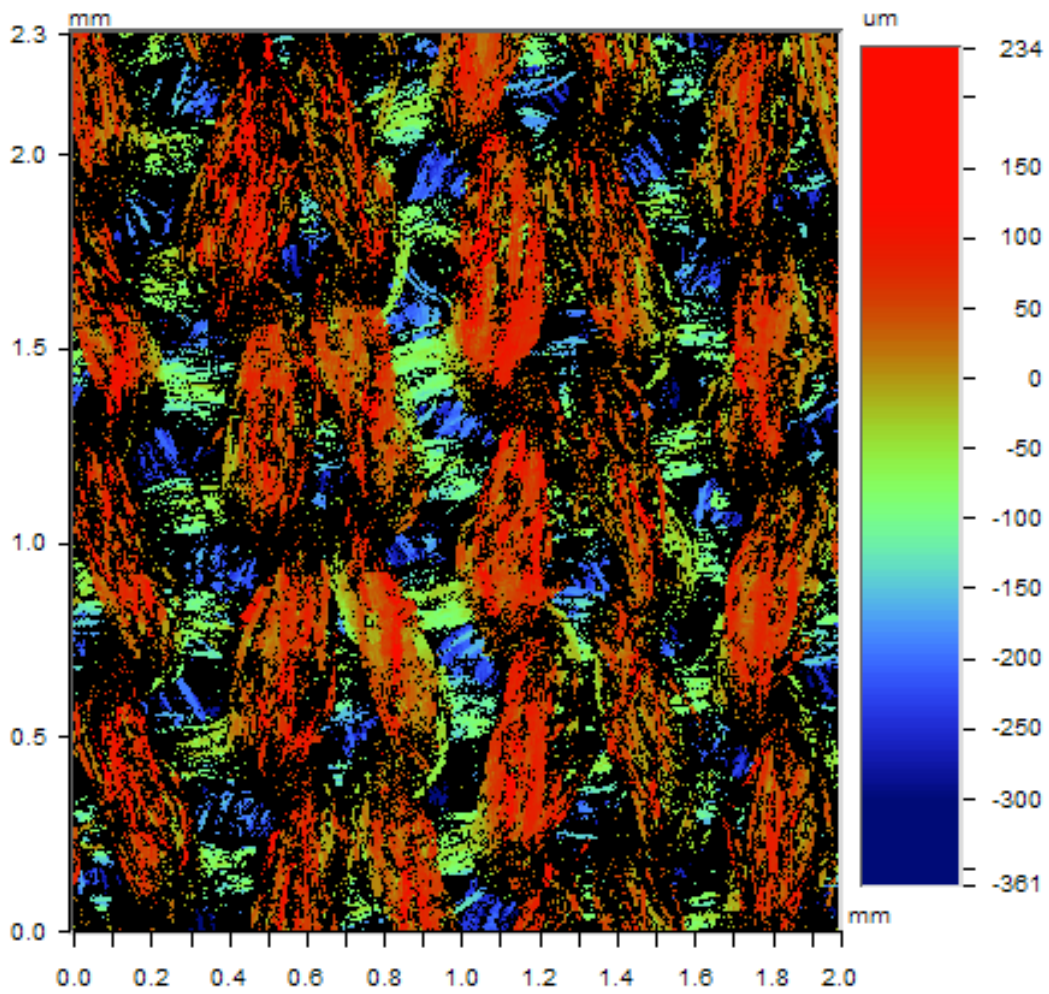
Stitch 2.3x2.0 mm²
Magnificación 5X



Normal Volume: 57.98 um³

RESULTADOS DETALLADOS **PIEZA 1**

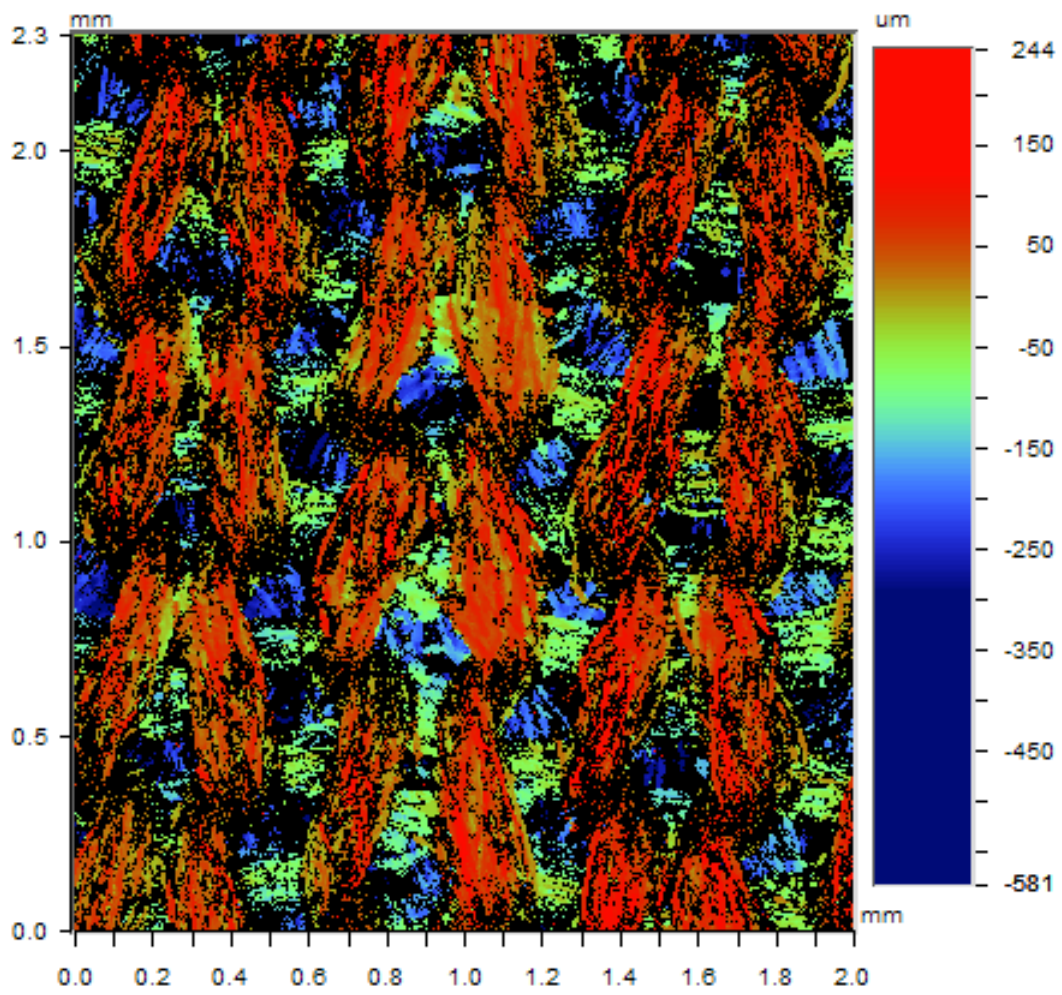
Stitch 2.3x2.0 mm²
Magnificación 5X



Normal Volume: 67.90 um³

RESULTADOS DETALLADOS **PIEZA 2**

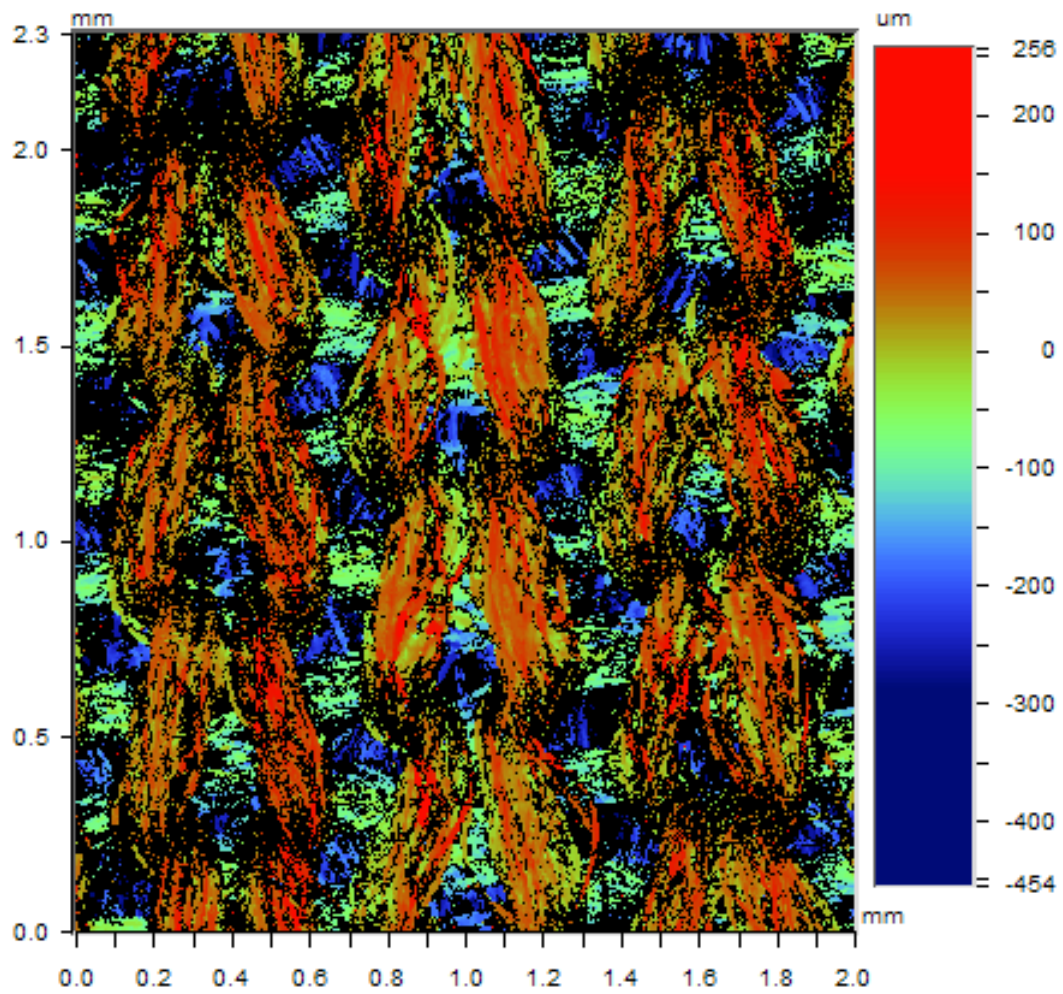
Stitch 2.3x2.0 mm²
Magnificación 5X



Normal Volume: 69.35 um³

RESULTADOS DETALLADOS **PIEZA 3**

Stitch 2.3x2.0 mm²
Magnificación 5X



Normal Volume: 81.64 μm^3

RESULTADOS XPS

Electron Spectroscopy for Chemical Analysis (ESCA) or X-ray photoelectron spectroscope (XPS)



Technical Specifications

Analysis of the samples was performed using a Thermo Scientific K-Alpha ESCA instrument equipped with aluminium Ka1, 2 monochromatized radiation at 1486.6 eV X-ray source. Due the non conductor nature of samples was necessary to use an electron flood gun to minimize surface charging. Neutralization of the surface charge was performed by using both a low energy flood gun (electrons in the range 0 to 14 eV) and a low energy Argon ions gun. The XPS measurements were carried out using monochromatic Al-K α radiation ($h\nu=1486.6$ eV). Photoelectrons were collected from a take off angle of 90° relative to the sample surface. The measurement was done in a Constant Analyser Energy mode (CAE) with a 100 eV pass energy for survey spectra and 20eV pass energy for high resolution spectra. Charge referencing was done by setting the lower binding energy C 1s photo peak at 285.0 eV C1s hydrocarbon peak⁽¹⁾. Surface elemental composition was determined using the standard Scofield photoemission cross sections.

Practical Surface Analysis. Vol. 1, Edited by D. Briggs and M.P.Seah

COMPOSICIÓN ATÓMICA ELEMENTAL DE LAS ESPUMAS

Hemos estudiado la composición química elemental empleando la técnica XPS. A través de los espectros "survey" para determinar las diferencias entre las espumas de los dos proveedores. Los valores de la concentración en %At y la relación O/C se muestran en la tabla siguiente:

Tabla / Composición química elemental (AT %)							
SAMPLES	C	O	N	Si	Ca	Mg	Ratio O/C
VIOLET FOAM	68.6	21.7	4.5	3.4	0.9	0.9	0.3
PIECE 3 FOAM	71.4	19.4	4.5	3.6	0.8	0.4	0.3
REFERENCE	71.0	29.0	X	X	X	X	0.4

La composición química elemental de las espumas indica que los principales componentes como cabría esperar son el Carbono y el Oxígeno, aunque también se detectan en las dos muestras Nitrógeno, Silicio, Calcio y Magnesio, que son probablemente debidos a contaminaciones, debido a la manipulación y la exposición a la atmósfera de las muestras. No se han detectado Aditivos comunes como el Cloro o Flúor, por lo que dentro del límite de detección del Instrumento (0.1%AT) podemos decir que muestran ambas espumas composiciones muy similares.

El hecho más reseñable, es la mayor concentración de Oxígeno en la Muestra VIOLET FOAM, muestra fabricada hace bastante tiempo. El fenómeno que explicaría este incremento del oxígeno sería una **fotooxidación** debido a una prolongada exposición a la luz y también explicaría el ligero amarilleamiento de la espuma.

Tabla / BINDING ENERGY (eV)

SAMPLES	C1s			Ratio C1:C2:C3
	C1 (C-C/C- Hydrocarbon	C2 (C-O-H/C-O-C) Alcohol/Ether	C3 O=C-O Acid/Ester	
VIOLET FOAM	61.2	30	8.8	3 : 1.5 : 0.5
PIECE 3 FOAM	68.9	24.1	7.1	3.4 : 1.2 : 0.4
REFERENCE	63	20	17	3 : 1 : 1

ANÁLISIS DEL ESTADO QUÍMICO

Los resultados indican que las espumas estudiadas presentan una relación similar de grupos funcionales del Carbono, por lo tanto son materiales/ polímeros muy similares. Ambas espumas son defectivas en grupos ester, mientras que los grupos ether son ligeramente superiores, respecto a la referencia PET.

Las proporciones de los grupos funcionales de la referencia PET, corresponden a una lámina de polímero puro, sin someterle a tratamiento alguno, mientras que las espumas han sido sometidas a diversos tratamientos lo que podría alterar o explicar las diferencias detectadas.

Como conclusión podríamos decir que la composición química elemental y los grupos funcionales de ambas espumas son muy similares (Dentro del límite de detección del XPS), de modo que, es altamente probable que se hayan fabricado con el mismo tipo de polímero. El análisis de los resultados obtenidos por 3 técnicas (Microscopía óptica, Perfilometría óptica y XPS) muestran que el problema estudiado tiene una base u origen más bien morfológico/estructural que químico.

VIOLET FOAM

XY ASCII DATA

C:\Documents and

Settings\usuario\Escritorio\CIMA\11_XXX_CIMA_UVigoCParr

2 SAMPLES Sept 2011\VIOLET_Survey.txt

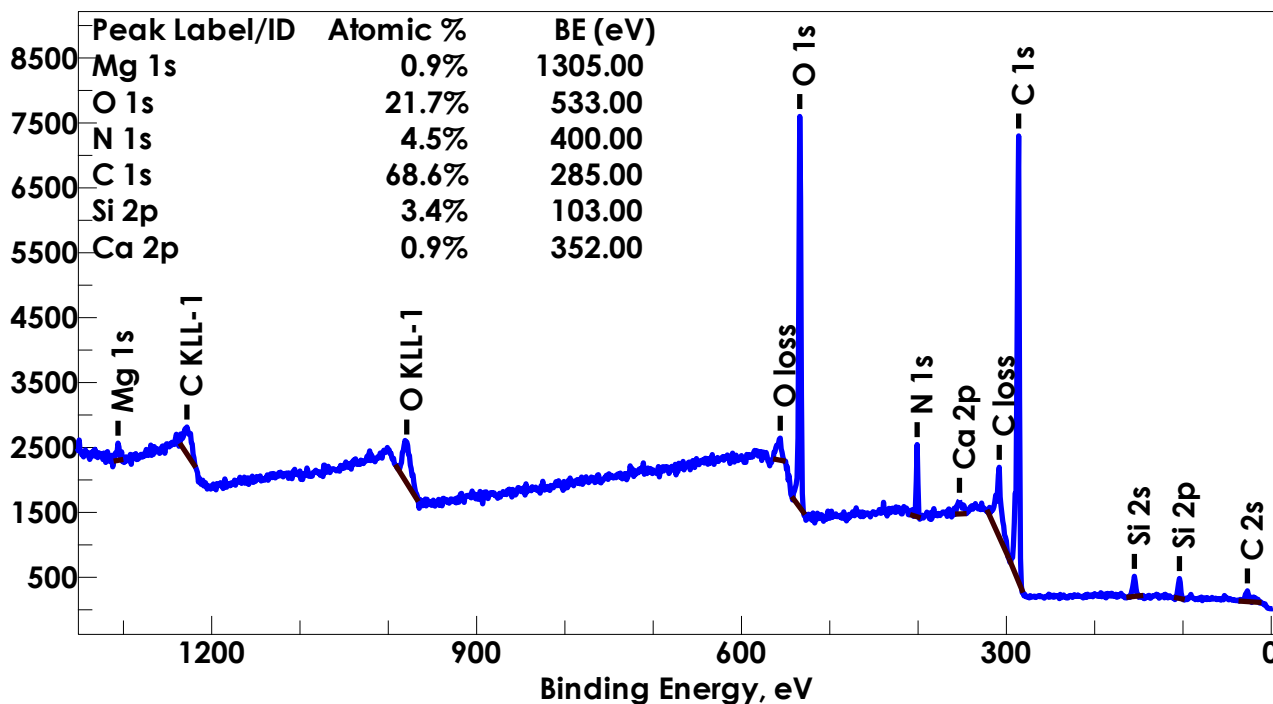
Counts

System Name: XY ASCII

Pass Energy: 100.00 eV

Charge Bias: -0.9 (0.0) eV

Wed Sep 07 19:29:18 2011



PIECE 3 FOAM

XY ASCII DATA

C:\Documents and

Settings\usuario\Escritorio\CIMA\11_XXX_CIMA_UVigoCParrilla

2 SAMPLES Sept 2011\PIECE 3_Survey.txt

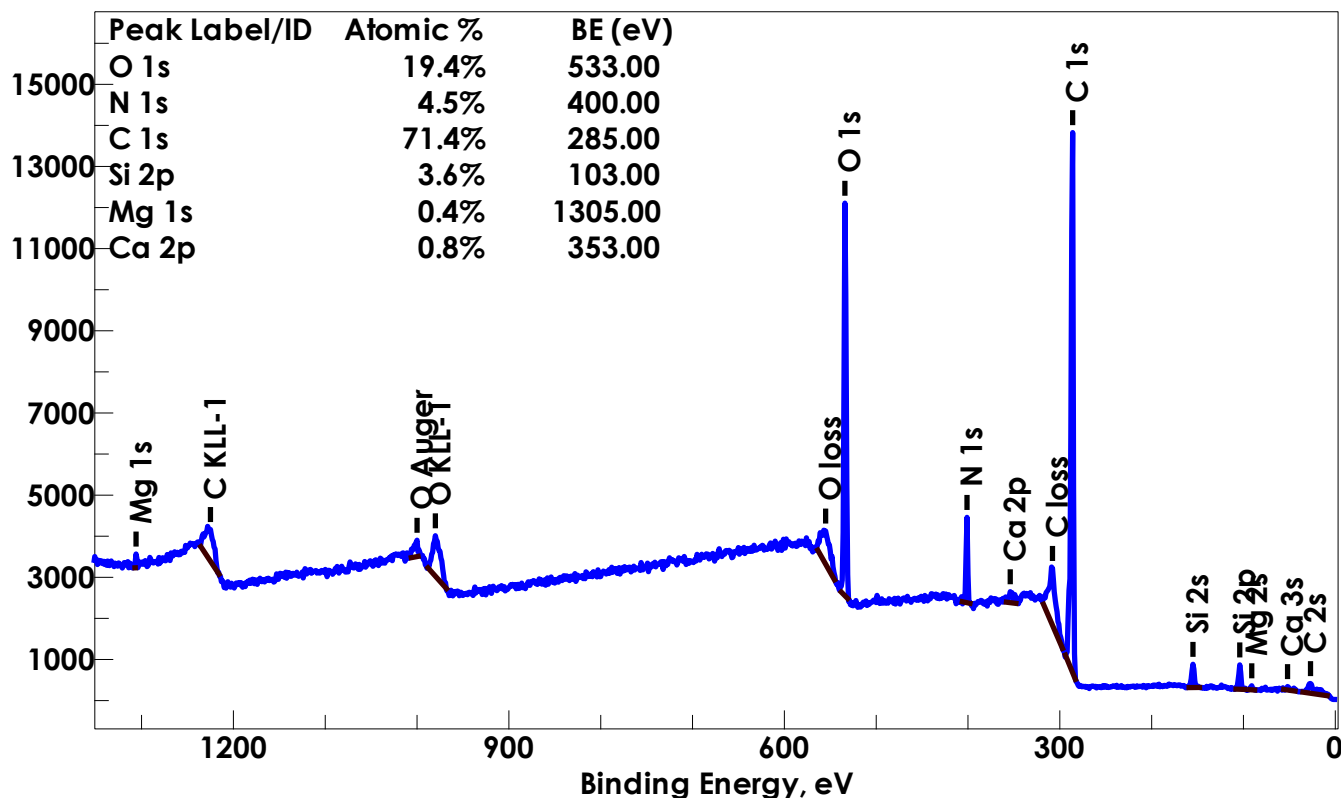
Counts

System Name: XY ASCII

Pass Energy: 100.00 eV

Charge Bias: -0.9 (0.0) eV

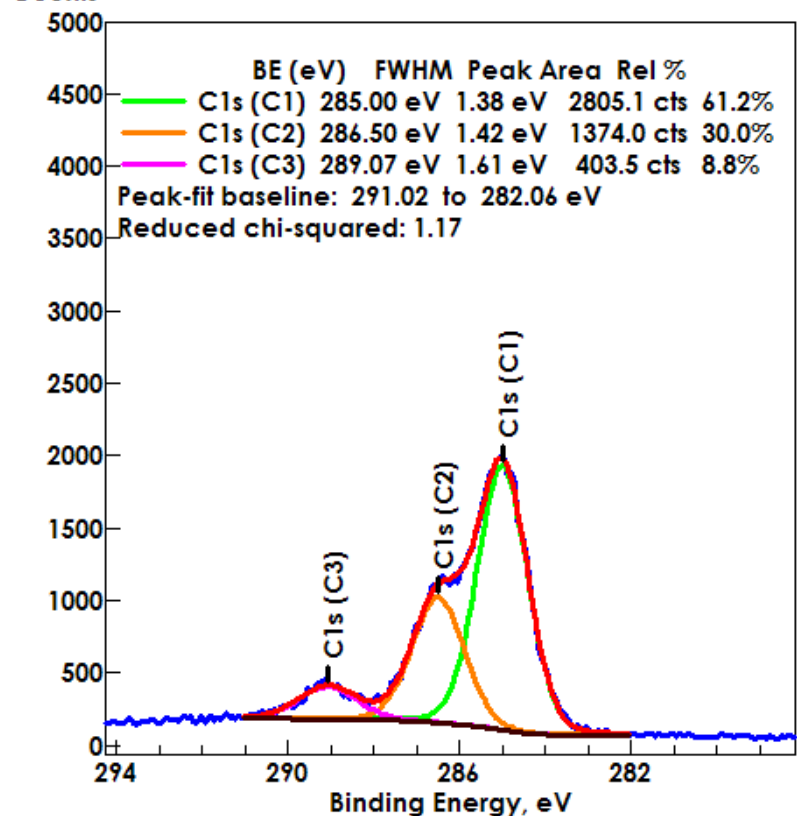
Wed Sep 07 19:30:21 2011



HIGH RESOLUTION SPECTRA/ C1s

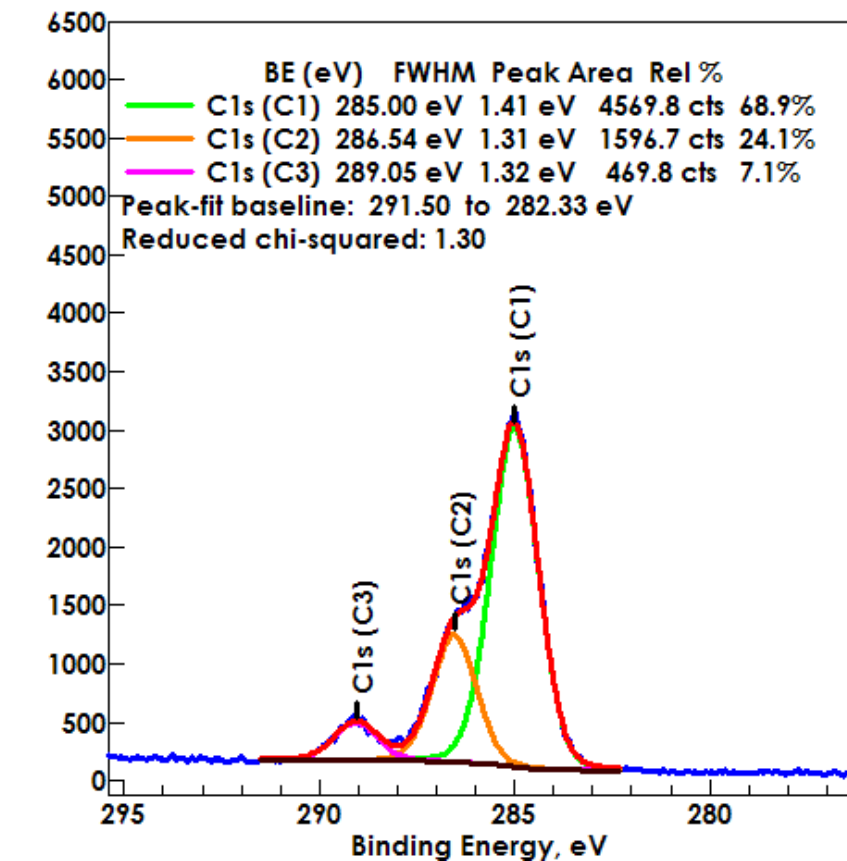
VIOLET FOAM

XY ASCII DATA File Type: XY ASCII
 C:\Documents and Settings\usuario\Escritorio\CIMA\1 Pass Energy: 100.00 eV
 Shift (Offset): -0.9 (0.0) eV
 2 SAMPLES Sept 2011\VIOLET_C1s.txt Wed Sep 07 19:28:42 2011

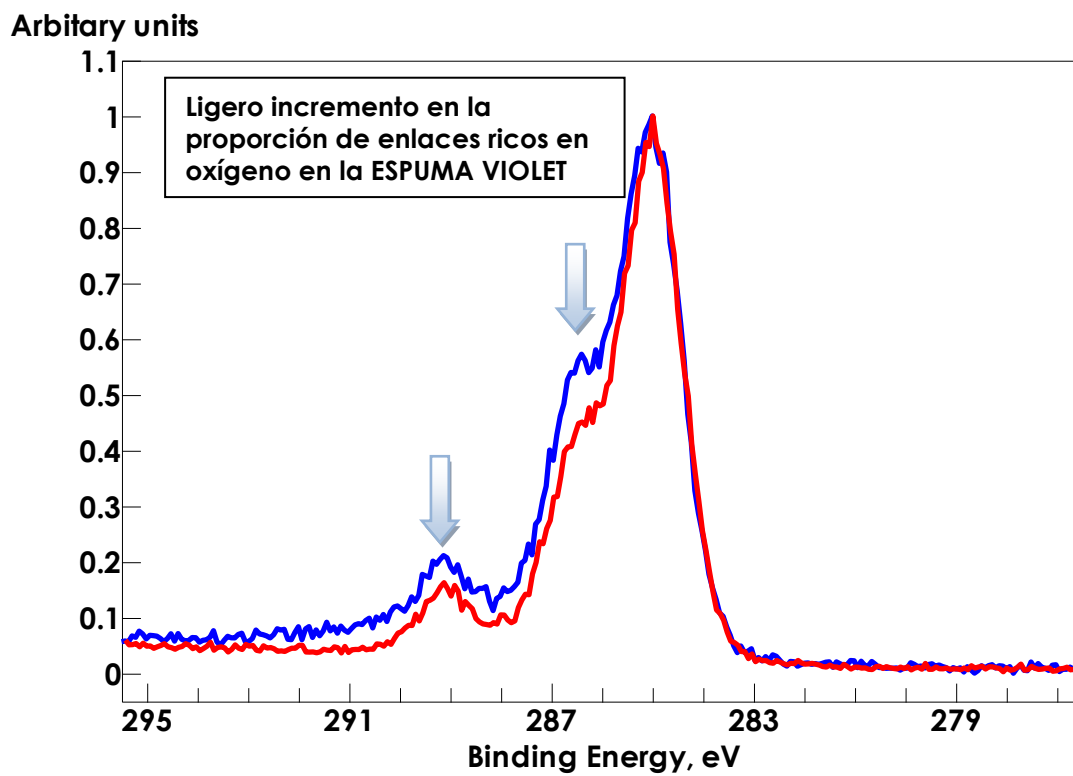


PIECE 3 FOAM

XY ASCII DATA File Type: XY ASCII
 C:\Documents and Settings\usuario\Escritorio\CIMA\11 Pass Energy: 100.00 eV
 Shift (Offset): -0.8 (0.0) eV
 2 SAMPLES Sept 2011\PIECE 3_C1s.txt Wed Sep 07 19:29:45 2011



HIGH RESOLUTION SPECTRA/ C1s COMPARISON



VIOLET FOAM **BLUE LINE**
PIECE 3 **RED LINE**

REFERENCE

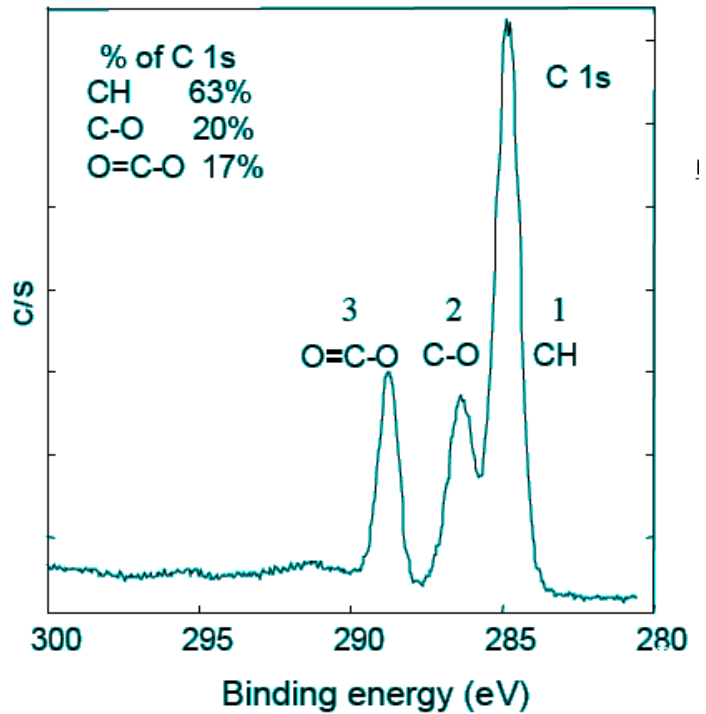
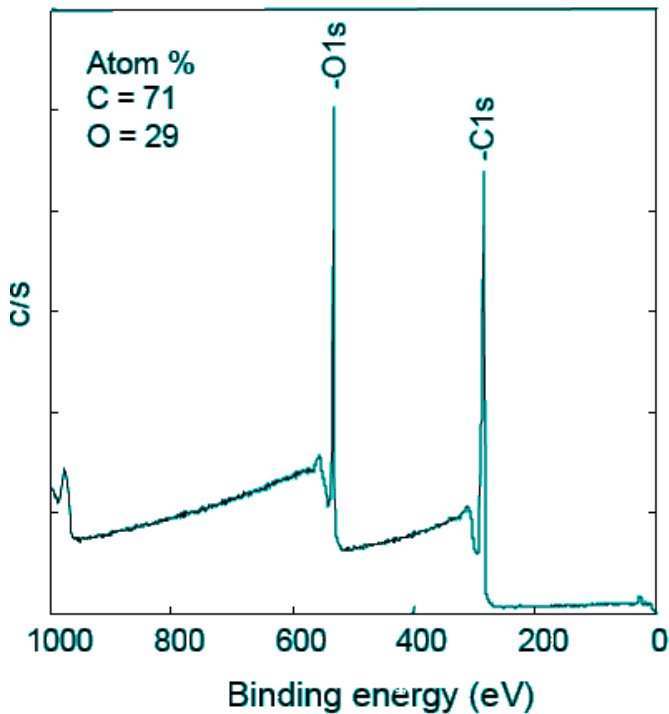
Polyethylene Terephthalate

Ratio of Different
Carbon Atoms
C1:C2:C3 = 3:1:1



QUANTITATIVE ELEMENTAL ANALYSIS

CHEMICAL STATE ANALYSIS



- 1) X-ray Photoelectron Spectroscopy/Roger Smart, Stewart McIntyre, Mike Bancroft, Igor Bello / Department of Physics and Materials Science City University of Hong Kong Surface Science Western, UWO
- 2) e-polymers - XPS - an Analytical Tool for the Characterization of Surfaces and their Modifications_R. Kaufmann, H. Höcker and M. Möller

Solicitante: D. Gustavo Pelaez

Empresa: Universidad de Vigo

Fecha de solicitud: 02/02/2015

Código: Identificación de materiales

1- Descripción de las muestras:

Muestra	Referencia	Tipo
1	• Gris	Espuma con camisa de tela azul
2	• Blanco	Espuma con camisa de tela blanca

2- Objeto:

Análisis comparativo

3- Descripción del trabajo realizado

- Análisis mediante FTIR y búsqueda mediante librerías

La determinación y caracterización de polímeros se realiza con FTIR. Para muestras sólidas el uso del accesorio ATR es el más aconsejable.



- Densidad.: gravimetría



UNIVERSIDADE
DE VIGO

C.A.C.T.I.

INFORME ANALÍTICO

Laboratorio Seguridad Alimentaria y Desarrollo
Sostenible
Tfnos.: 986 812238-986 813885
Fax: 986 812135

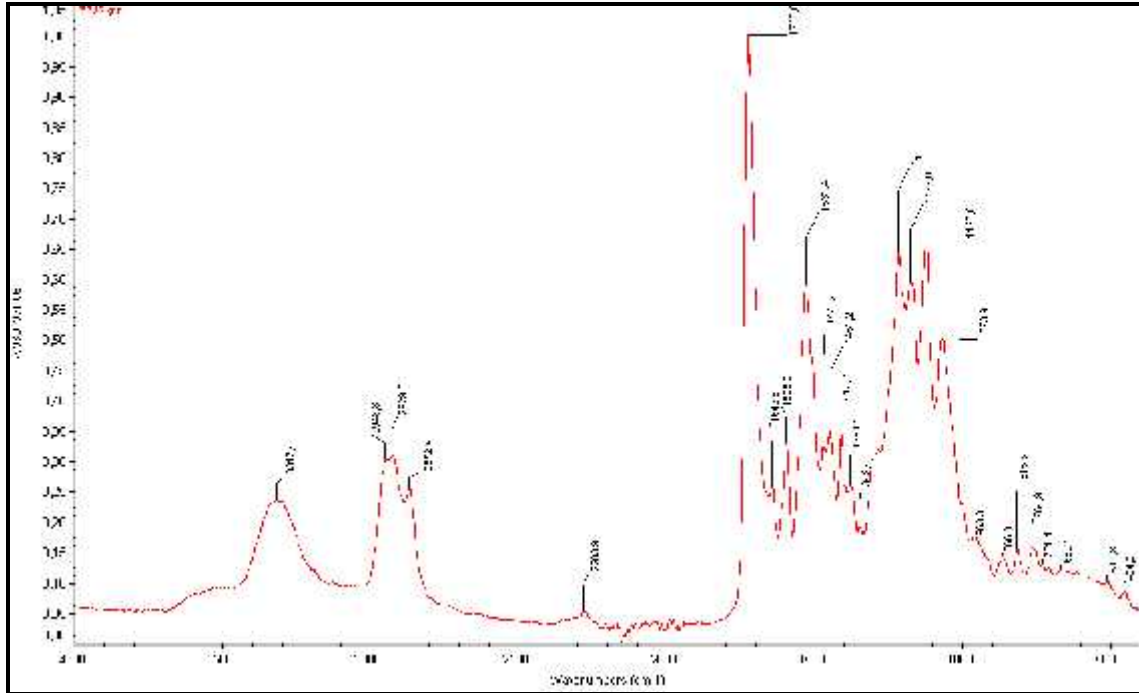
Informe N° 15-0212

HOJA 2 de 6

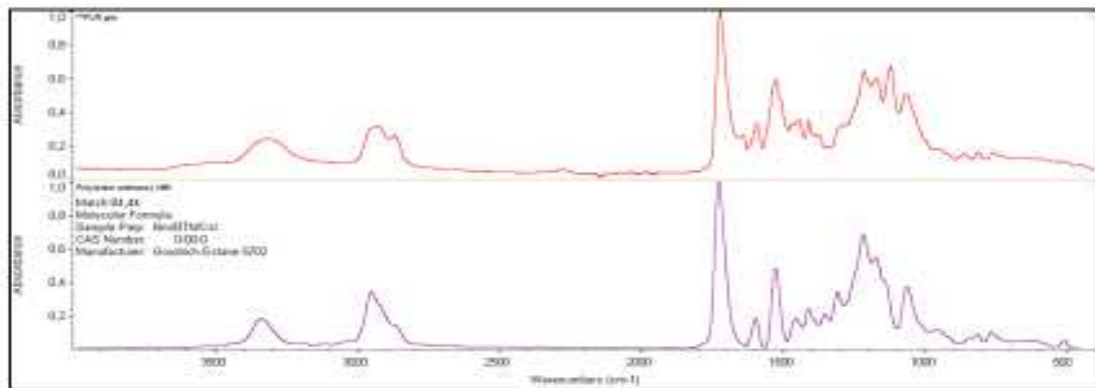
FECHA: 20/04/2015

4- Resultados:

M1: Espuma gris.



Identificación PUR gris



Index	Match	Compound Name	Library Name
1	467	Polyester urethane (MI)	Hummel Polymer and Additives
2	462	Estane 5701F1	Coatoss Technology
3	363	Polyester urethane (MI)	Hummel Polymer and Additives
4	463	Estane 5703	Coatoss Technology
5	310	Polyester urethane (MI)	Hummel Polymer and Additives
6	464	POLYURETHANE #7	Polymer Additives and Plasticizers
7	368	Polyester urethane (MI)	Hummel Polymer and Additives
8	476	Desmacol 406	Coatoss Technology
9	213	Polyester urethane	Hummel Polymer and Additives
10	467	Spensol L-31	Coatoss Technology



UNIVERSIDADE
DE VIGO

C.A.C.T.I.

INFORME ANALÍTICO

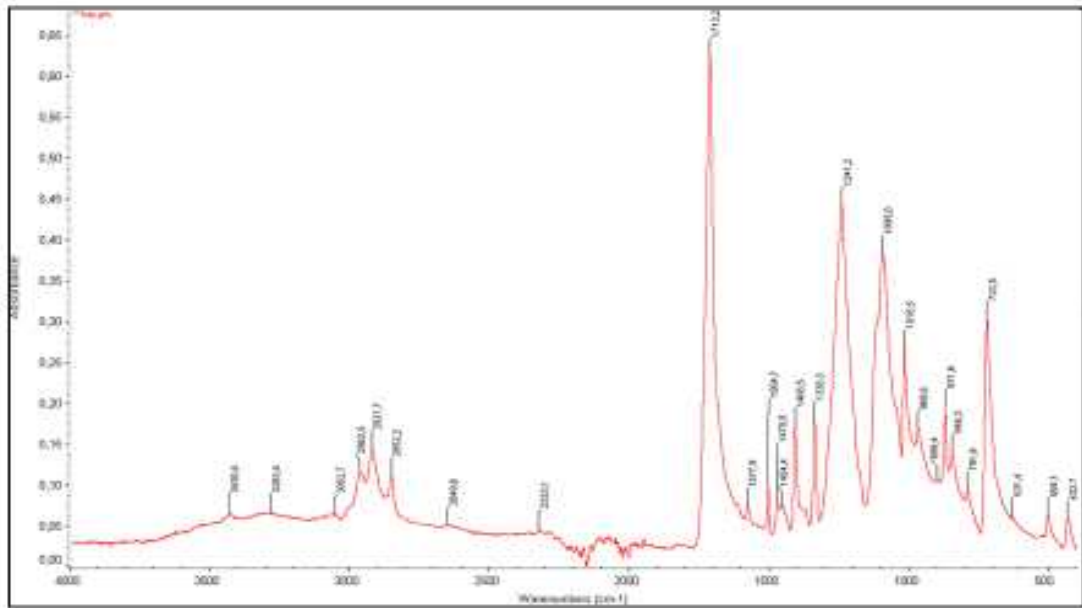
Laboratorio Seguridad Alimentaria y Desarrollo
Sostenible
Tfnos.: 986 812238-986 813885
Fax: 986 812135

Informe Nº 15-0212

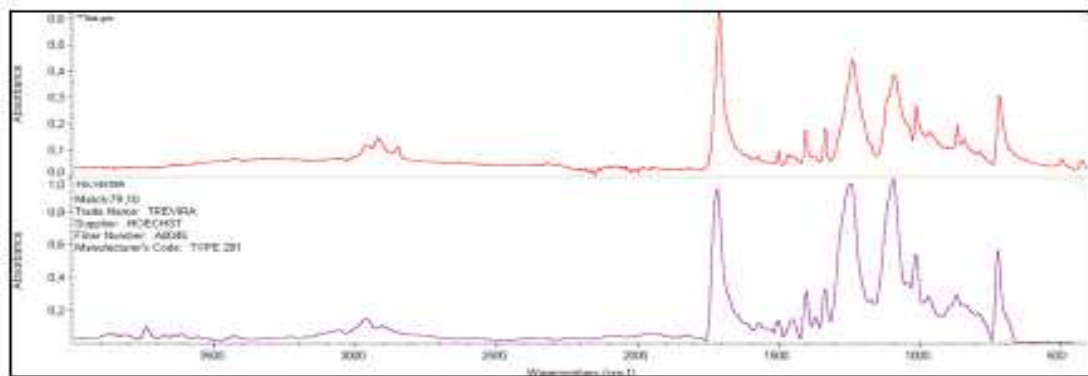
HOJA 3 de 6

FECHA: 20/04/2015

M1: tela gris.



Identificación tela gris



Index	Match	Compound Name	Library Name
1	79.10	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
2	76.66	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
3	74.60	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
4	74.54	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
5	74.54	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
6	74.22	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
7	74.05	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
8	73.80	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
9	73.68	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope
10	73.60	POLYESTER	Synthetic Fibers by Microscope



UNIVERSIDADE
DE VIGO

C.A.C.T.I.

INFORME ANALÍTICO

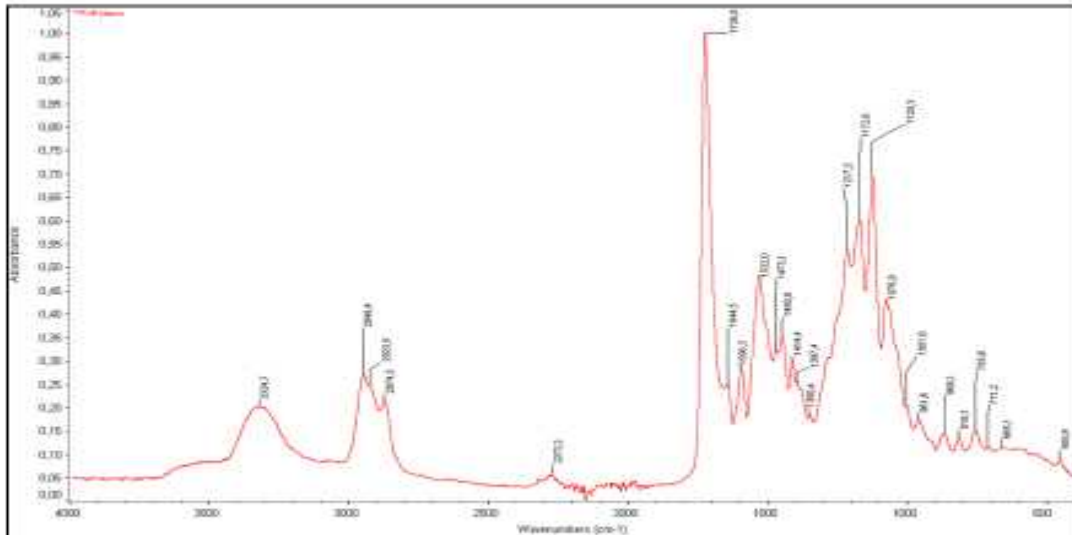
Laboratorio Seguridad Alimentaria y Desarrollo
Sostenible
Tfnos.: 986 812238-986 813885
Fax: 986 812135

Informe N° 15-0212

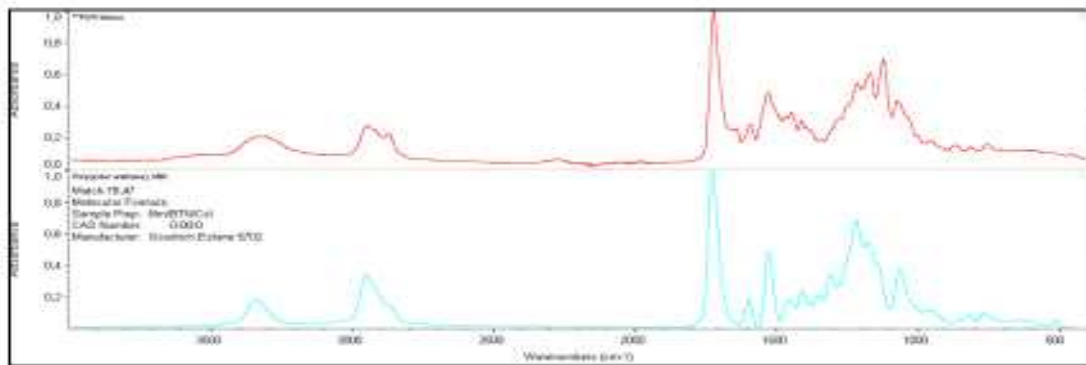
HOJA 4 de 6

FECHA: 20/04/2015

M2: Espuma blanca



Identificación PUR blanco



Index	Match	Compound Name	Library Name
1	104	Arlon 585	Cosinus Technology
2	779	Epoxy Acrylate Poly-Tex 975	Cosinus Technology
3	487	Polyester urethane, MEI	Hummel Polymer and Additives
4	476	Desmocol 406	Cosinus Technology
5	436	Amoco Resin TG-70	Cosinus Technology
6	149	Polystyrene	Hummel Polymer and Additives
7	453	Estane 5700	Cosinus Technology
8	479	Acrylic resin, NCO-crosslinkable	Hummel Polymer and Additives
9	188	Polycarbonate resin	Hummel Polymer and Additives
10	132	Alkyd, resinous, H ₂ O-soluble	Hummel Polymer and Additives



UNIVERSIDADE
DE VIGO

C.A.C.T.I.

INFORME ANALÍTICO

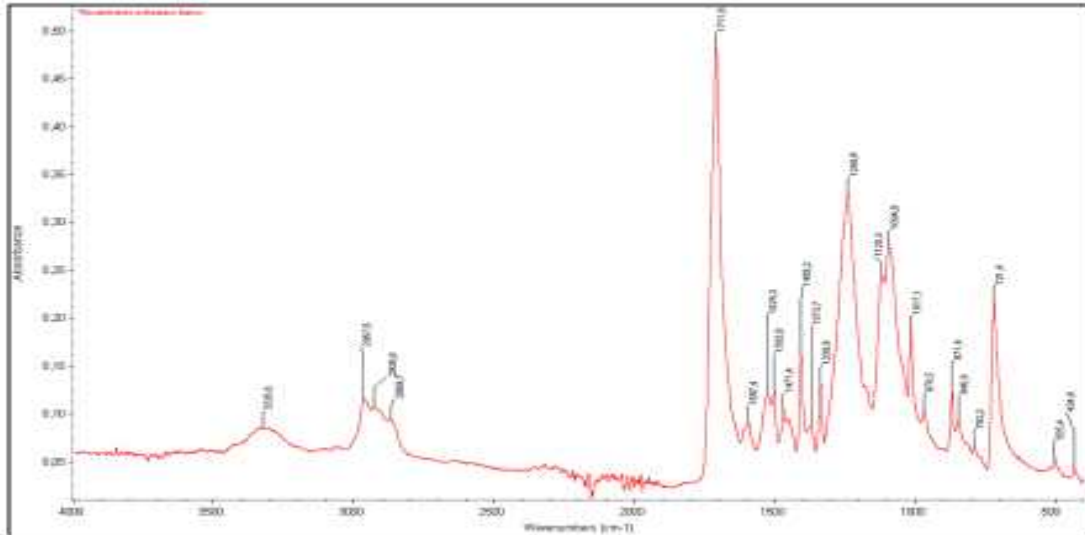
Laboratorio Seguridad Alimentaria y Desarrollo Sostenible
Tfnos.: 986 812238-986 813885
Fax: 986 812135

Informe Nº 15-0212

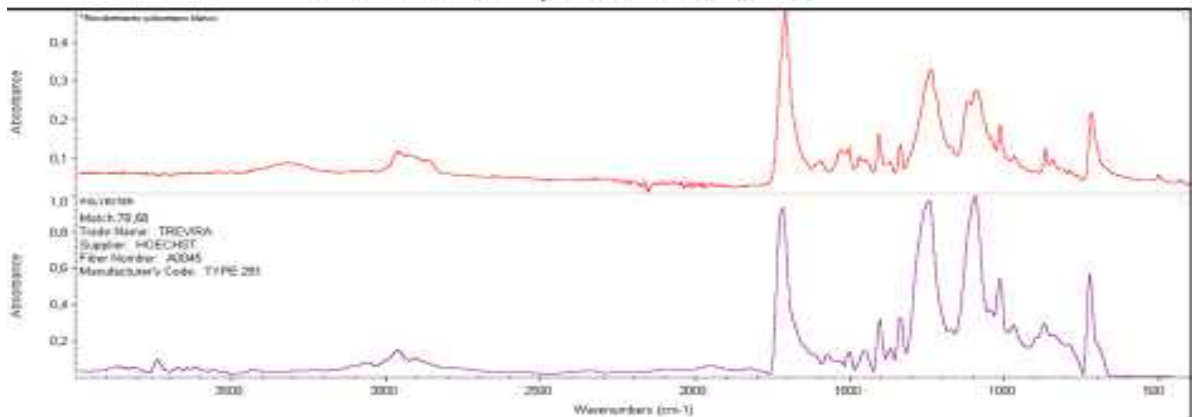
HOJA 5 de 6

FECHA: 20/04/2015

M2: tela blanca



Recubrimiento poliuretano blanco



Index	Match	Compound Name	Library Name	
1	207	78.58	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
2	206	78.20	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
3	277	74.91	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
4	266	74.59	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
5	234	74.55	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
6	232	74.30	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
7	259	74.19	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
8	210	74.10	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
9	211	73.94	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope
10	287	73.38	POLYESTER	Synthetic Fibres by Microscope



UNIVERSIDADE
DE VIGO

C.A.C.T.I.

INFORME ANALÍTICO

Laboratorio Seguridad Alimentaria y Desarrollo
Sostenible
Tfnos.: 986 812238-986 813885
Fax: 986 812135

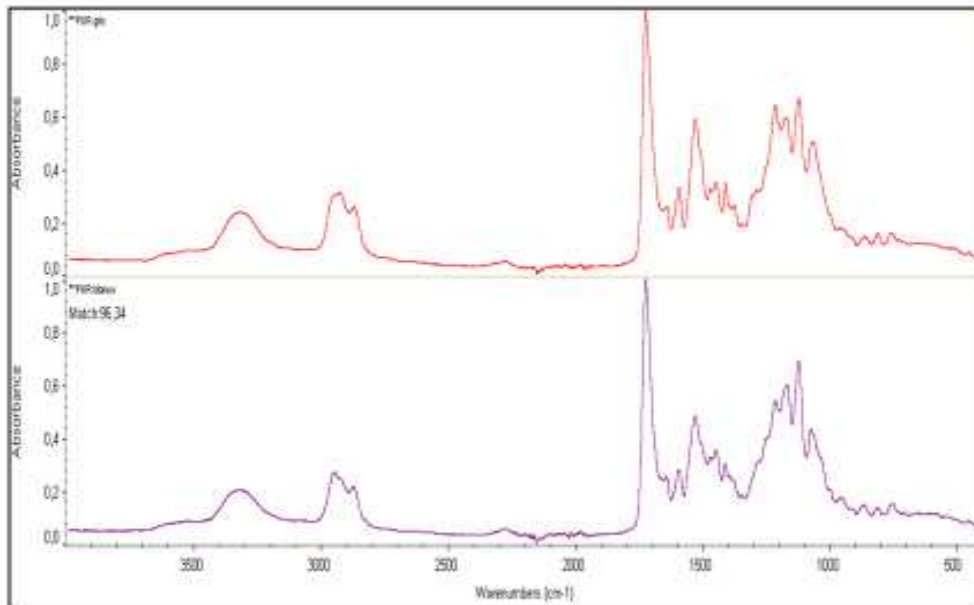
Informe Nº 15-0212

HOJA 6 de 6

FECHA: 20/04/2015

5- Observaciones:

- Ambas espumas son de poliuretano poliéster tipo MDI o MBI (metildiisocianato).
- Ambas telas son de tejido de poliéster.
- Se ha realizado un análisis comparativo tomando como referencia la muestra M1 (gris) .



Como se puede ver el resultado indica una coincidencia del 96 % entre ambas muestras.

- Se ha estimado la densidad de cada espuma mediante gravimetría

M 1	M 2
0,06-0,07 g/cm ³	0,04-0,05 g/cm ³

Trabajo Supervisado por D. Jorge Millos Alfeirán
Responsable Laboratorio A.I.

ELASTOSIL M4601

Silicona de adición para la fabricación de moldes con muchos detalles. Dureza Shore 28

SILICONA DE ADICION ELASTOSIL M-4601

Se procesa la silicona mezclando los componentes A y B. El procesamiento puede efectuarse a temperaturas entre 10 °C y 200 °C. Durante la reticulación no se forman productos de reacción volátiles, por lo que no se produce la reversión de la reacción a temperaturas más altas ni un encogimiento del vulcasinato originado por una pérdida de masa. En otras palabras, esta silicona presenta muy baja contracción, a diferencia de las siliconas de condensación, que sí presentan algo de contracción.

Por lo tanto, esta silicona es ideal para la producción de moldes donde se necesite copiar con mucho detalle el modelo.

Propiedades del caucho vulcanizado:

- Color Rojo
- Elasticidad
- Resistencia mecánica muy elevada

Características físicas y químicas de la silicona de adición 4601

-Proporción de mezcla A : B 9:1 en peso

- Tiempo de procesamiento a 23°C: 90 minutos

-Desmoldeable a 23 °C después de: 12 horas

-Desmoldeable a 70 °C luego de: 20 minutos

-Viscosidad de la mezcla lista para ser aplicada: 20000 mPas

-Resistencia mecánica alta:

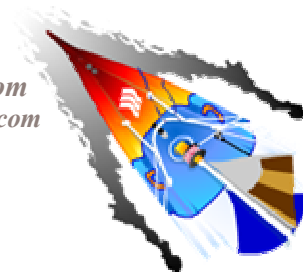
- Resistencia a la tracción: 6,5 N/mm²
- Alargamiento a la rotura: 700 %
- Resistencia al desgarre progresivo: > 30

-No contrae

-Densidad (DIN 53479A): 1,13 g/cm³

*Polígono Industrial A Granxa 3º Paralela, Parcela 190
36400 Porriño (Pontevedra)
Tel. +34 986 342 953
Fax +34 9876 342520*

*www.resinascastro.com
rcastro@resinascastro.com*



ELASTOSIL 4601

-Dureza Shore A (DIN 53505) : 28

-Aditivo tixotrópico “Estabilizador 43”:

* 0,1%-0,2% en peso para capa fina (0,5mm-1mm)

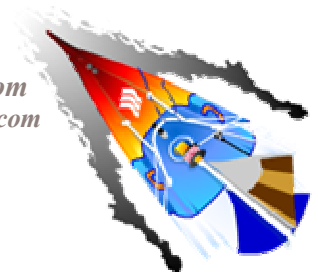
* 0,3%-0,5% en peso para capa gruesa (5-15mm)

La información contenida en este documento es el resultado de nuestras pruebas y es considerada como fiable y exacta. No aceptamos ninguna responsabilidad sobre el mal uso de estos productos y ella se limita estrictamente al valor del producto que proveemos.

*Polígono Industrial A Granxa 3º Paralela, Parcela 190
36400 Porriño (Pontevedra)
Tel. +34 986 342 953
Fax +34 9876 342520*

ELASTOSIL 4601

*www.resinascastro.com
rcaastro@resinascastro.com*



RESINA DE COLADA PU-31

DESCRIPCIÓN

Sistema de dos componentes de poliuretano rígido de alta reactividad, baja viscosidad y sin agentes espumantes, para la elaboración de piezas moldeadas de densidad 1000 – 1300 g/cc., con alta dureza y buenas propiedades físicas y mecánicas.

DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES

Componente A: Mezcla de Polioles, que contiene aditivos estabilizantes.

Componente B: Difenil metano diisocianato (MDI)

APLICACIONES

Los componentes, de la resina de colada PU-31, son fluidos a temperaturas normales, pudiéndose procesar entre 20 a 30 °C, de alta reactividad a temperatura ambiente y apropiados para coladas abiertas, coladas rotacionales y coladas mediante inyección a baja presión, obteniendo productos sometidos a grandes sollicitaciones mecánicas.

Este sistema puede ser fácilmente reforzado con fibras (de vidrio, polietileno, etc.) para aumentar considerablemente sus propiedades estructurales, sobre todo su resistencia a la temperatura de deformación e impacto.

La utilización típica es: figuras, moldeados, barras, tacos, topes, piezas de juguetes, moldes, carcasas, marcos, miniaturas, piezas de automóvil, prototipos, etc.

CONDICIONES DE APLICACIÓN

El sistema puede ser elaborado tanto en máquinas de alta (100 – 150 bar) como de baja presión o manualmente.

La temperatura recomendada de los componentes es de 22 ± 2 °C. La temperatura adecuada de los moldes es de 40 – 45 °C.

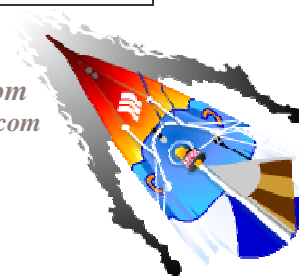
Previamente a su carga en máquina el componente A, debe ser homogeneizado durante 5 – 10 minutos con un agitador adecuado.

CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	COMPONENTE A	COMPONENTE B
Peso específico 25 °C	g/cm ³	1,22	1,1
Viscosidad 25 °C	CPS	100	80
Temperatura inflamación	° C	110	50

Polígono Industrial A Granxa 3º Paralela, Parcela 190
36400 Porriño (Pontevedra)
Tel. +34 986 342 953
Fax +34 9876 342520

www.resinascastro.com
rcastro@resinascastro.com



RESINA DE COLADA PU 31

Contenido NCO	%	-	20
---------------	---	---	----

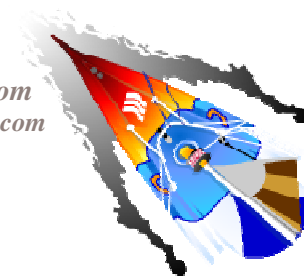
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES

Medidas en recipiente de test a 22 °C, en la relación de mezcla indicada según norma propia (MANS-03)

ESPECIFICACIÓN	UNIDAD	COMPONENTE A (Claro)	COMPONENTE B (Marrón)	CONJUNTO
Relación mezcla en peso	Gr.	100	100	
Relación mezcla en volumen	cc.	100	110	
Tiempo de trabajo	s			90
Tiempo de tacto	s			120
Tiempo de desmolde a 22 °C	min			20
Densidad libre	g/l			1180

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	MEZCLA POLIMERIZADA
Densidad moldeada DIN 53420	Kg/m ³	1150
Dureza shore DIN-53505	SHD	75
Resistencia flexión	Kg/cm ²	500
Flecha DIN 53452	mm	12
Resistencia tracción DIN 53304	Kg/cm ²	350
Elongación	%	9
Rebote DIN 53573	%	60
Contracción molde	%	< 3
Ensayo de curado (GMTZZZ001). Temperatura de ensayo 80 °C.		
Tiempo de exposición, 30 minutos.	mm	<30
(Espesor probeta 3-4 mm) 60 minutos	mm	30
Residuo calcinación DIN 53395	&	0,6



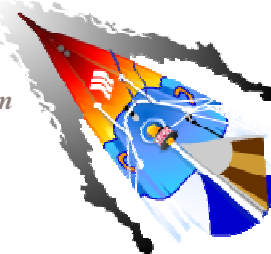
PROPIEDADES DIELECTRICAS

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	MEZCLA POLIMERIZADA
Constante dieléctrica 20 °C 1000 ciclos	-	2,2
Rigidez dieléctrica 23 °C	KV/cm	150-200
Factor de potencia 100 ciclos	%	0,02
Resistividad eléctrica	Ω/cm	$1,8 \cdot 10^{15}$

*Polígono Industrial A Granxa 3º Paralela, Parcela 190
 36400 Porriño (Pontevedra)
 Tel. +34 986 342 953
 Fax +34 9876 342520*

RESINA DE COLADA PU 31

www.resinascastro.com
rcaastro@resinascastro.com



ANEXO 2. Ficha técnica de las resistencias

Einbauhinweise

- Um einen optimalen Wärmeübergang zu gewährleisten, müssen die Heizpatronen spielfrei an der glatten Bohrungswand anliegen.
- Ein Wärmeleitspray erleichtert den Ein- und Ausbau. Die Anschlüsse der Patronen dürfen nicht besprüht werden (Kurzschlussgefahr)!

Die Aufnahmebohrungen für Z 111/... sind gemäß nachstehender Arbeitsfolge herzustellen.

Fitting instructions

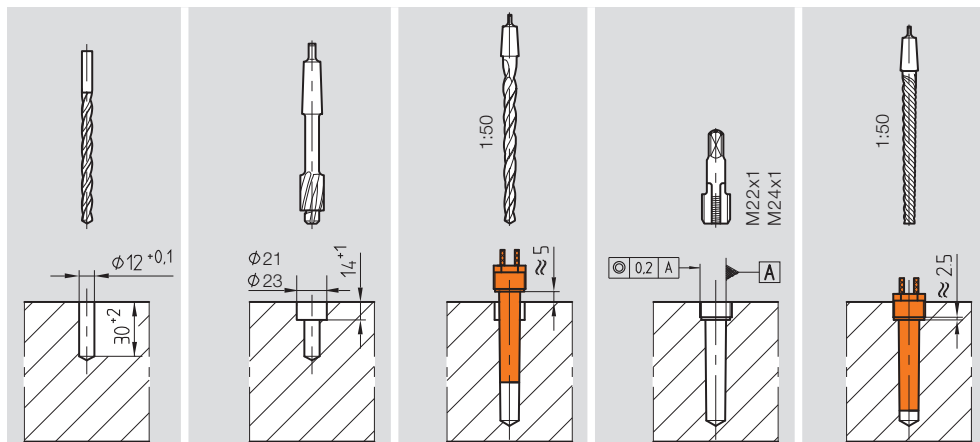
- In order to achieve optimum heat transfer cartridge heater must have solid contact with the smooth bore.
- To ease fitting and dismantling we recommend a heat transfer spray. The cartridge terminals must not be sprayed (danger of short-circuiting)!

The retaining bores for Z 111/... are to be machined in accordance with the steps shown below.

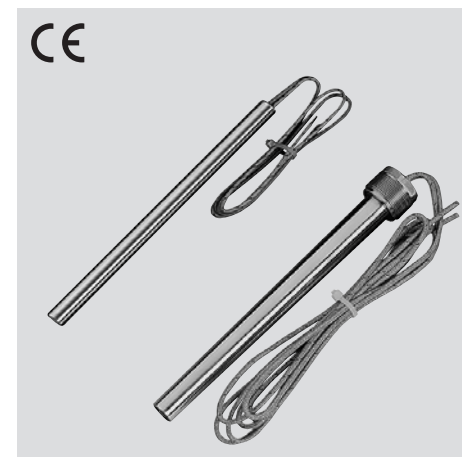
Consignes de montage

- Afin de garantir une transmission thermique optimale, les cartouches chauffantes doivent reposer sans jeu contre la paroi lisse de l'alésage.
- Un aérosol de thermoconductrice facilite le montage et le démontage. Les raccords des cartouches ne doivent pas être enduits (Danger de courts-circuits)!

Les alésages de montage pour Z 111/... doivent être réalisés conformément aux indications ci-dessous.



Einbauhinweise Mounting instructions Instructions d'installation



Z 110 / ... , Z 111/...
Hochleistungs-Heizpatrone
Cartridge heater
Cartouche chauffante
hautes performances

Anordnung der Heizpatronen

Die Heizleistung sollte mit mehreren Heizpatronen mittlerer Oberflächenleistung (Watt /cm², siehe Z-Katalog, Gruppe 6) erreicht werden, die möglichst gleichmäßig verteilt sind.

Zwischen den Heizpatronen ist ein Abstand von min. 1,5 x d einzuhalten.

Anzahl der Heizpatronen

$$\text{Anzahl der Heizpatronen} = \frac{\text{Gesamtheizleistung [W]}}{\text{Heizleistung der Heizpatrone bei 230V [W]}}$$

Gesamtstromaufnahme

Die maximale Betriebstemperatur beträgt 700°C. Bei über 250°C sind die Anschlussleitungen entsprechend zu isolieren.

$$\text{Gesamtstromaufnahme [A]} = \text{Stromaufnahme der Heizpatrone (bei 230V) [A]} \times \text{Anzahl der Heizpatronen}$$

Regelung der Heizpatronen

Die Heizpatronen müssen geregelt werden, um eine konstante Betriebstemperatur zu erreichen. Wir empfehlen hierfür die HASCO-Regelgeräte.

Einbau der Thermofühler

Die Thermofühler Z 1295 / . . . sollten z. B. im Heißkanalblock mit etwa gleichem Abstand von Massekanal und Heizpatrone angeordnet werden.

Weitere Informationen finden Sie im HASCO Infoblatt über Hochleistungsheizpatronen.

Layout of cartridge heaters

The required heating capacity is to be achieved by means of several cartridge heaters of medium surface capacity (Watt /cm², ref. Z-catalogue group 6). It is important to arrange them in an even manner.

A space of min. 1,5 x d is to be maintained between the cartridge heaters.

Number of cartridge heaters

$$\text{Number of cartridges} = \frac{\text{Total heating capacity [W]}}{\text{Heating capacity of cartridge heater at 230V [W]}}$$

Total power consumption

The maximum operating temperature is 700°C. The connecting leads must be appropriately insulated when working at temperatures above 250°C.

$$\text{Total power consumption [A]} = \text{Power consumption of cartridge heater (at 230V) [A]} \times \text{Number of cartridges}$$

Control of cartridge heaters

The cartridge heaters have to be controlled, in order to achieve a constant operating temperature. For this purpose we recommend the HASCO-control units.

Mounting of thermocouples

For controlling of hot runner manifolds the thermocouple (e. g. Z 1295 / . . .) is best located of equal distance between feedingchannel and cartridge heater.

For further details refer to HASCO Info Sheet for high-duty heating cartridges.

Disposition des cartouches chauffantes

La puissance de chauffage devrait être obtenue avec plusieurs cartouches de puissance superficielle moyenne (Watt /cm², cf. Catalogue des standards Z, Groupe 6) réparties de la manière la plus régulière possible.

Les cartouches doivent présenter un écart minimum de 1,5 x d entre elles.

Nombre de cartouches chauffantes

$$\text{Nombre de cartouches} = \frac{\text{Puissance de chauffe totale [W]}}{\text{Puissance de chauffe d'une cartouche à 230V [W]}}$$

Consommation énergétique totale

Le températures de service maximales est 700°C. Si les températures dépassent 250°C, les câbles de raccordement doivent être isolés en conséquence.

$$\text{Consommation d'énergie totale [A]} = \text{Consommation d'énergie pour une cartouche (à 230V) [A]} \times \text{Nombre de cartouches}$$

Régulation des cartouches chauffantes

Les cartouches chauffantes doivent être régulées afin d'obtenir une température de service constante. Pour cela, nous recommandons l'utilisation des régulateurs HASCO.

Montage des thermocouples

Dans les blocs à canal chaud p.ex., les thermocouples Z 1295 / . . . devraient être montés à équidistance du conduit de matière et de la cartouche chauffante.

Vous trouverez des indications supplémentaires sur les cartouches chauffantes de haute puissance dans notre HASCO-Information.

ANEXO 3.Sistema de encaje molde talla 110 talla 1560

ANEXO 4. Ficha técnica cámara termográfica Fluke Ti25

Fluke Ti25, Ti10 and Ti9 Thermal Imagers

Technical Data

The ultimate tools for troubleshooting and maintenance

The perfect tools to add to your problem solving arsenal. Built for tough work environments, these high-performance, fully radiometric imagers are ideal for troubleshooting electrical installations, electro-mechanical equipment, process equipment, HVAC/R equipment and others.

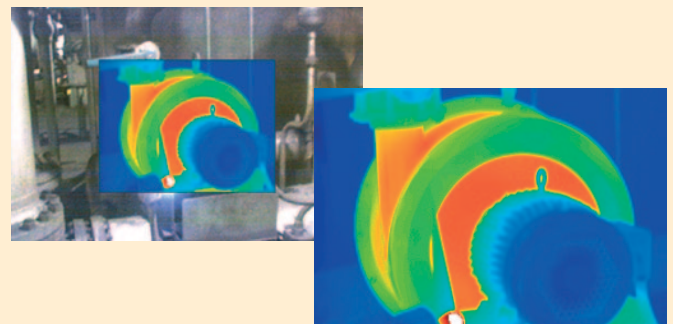
- Fluke Ti25 and Ti10 imagers come with enhanced problem detection and analysis capabilities with IR-Fusion® Technology. Simply scroll through the different viewing modes quickly to better identify trouble areas in Full IR thermal, picture-in-picture, or automatic blend visual and thermal images. Fluke Ti9 imagers can be upgraded to a full Ti10 with IR-Fusion at a later time.
- Optimized for field use in harsh work environments.
- Engineered and tested to withstand a 2 m (6.5 ft) drop—When was the last time you dropped a tool?
- Withstands dust and water—tested to an IP54 rating.
- Delivers the clear, crisp images needed to find problems fast.
- Identify even small temperature differences that could indicate problems with excellent thermal sensitivity (NETD).
- Intuitive, three-button menu is easy to use—simply navigate with the push of a thumb.
- No need to carry pen and paper—record findings by speaking into the camera. Voice annotations can be recorded with every image you take. Voice comments are saved along with individual images for future reference (Ti25 only).
- Everything needed to get started is included.
- Adjustable hand strap for left-or right-handed use.
- Manufactured in the U.S.A.



IR-Fusion® Technology

See things both ways—infrared and visual (visible light) images fused together communicating critical information faster and easier—traditional infrared images are no longer enough.

Fluke led the way in the development and use of IR-Fusion and the industry followed. Both visible and infrared images allow you to communicate exactly where potential savings can be gained. IR-Fusion is standard on Fluke Ti25 and Ti10 models.



Detailed specifications

	Ti25	Ti10	Ti9
Temperature			
Temperature measurement range (not calibrated below -10 °C)	-20 °C to +350 °C (-4 °F to + 662 °F)	-20 °C to +250 °C (-4 °F to + 482 °F)	
Accuracy	± 2 °C or 2 % (whichever is greater)	± 5 °C or 5 % (whichever is greater)	
On-screen emissivity correction	Yes	–	
Imaging performance			
Field of view	23° x 17°		
Spatial resolution (IFOV)	2.5 mRad		
Minimum focus distance	Thermal lens: 15 cm (6 in) Visible (visual) light lens: 46 cm (18 in)	Thermal lens only: 15 cm (6 in)	
Focus	Manual, one-handed focus		
Image frequency	9 Hz refresh rate		
Detector type	160 X 120 focal plane array, uncooled microbolometer		
Infrared lens type	20 mm F = 0.8 lens		
Thermal sensitivity (NETD)	≤ 0.1 °C at 30 °C (100 mK)	≤ 0.2 °C at 30 °C (200 mK)	
Infrared spectral band	7.5 µm to 14 µm		
Visual camera	640 x 480 resolution		
Image presentation			
Palettes	Ironbow, blue-red, high contrast, amber, hot metal, grey	Ironbow, blue-red, high contrast, grey	
Level and span	Smooth auto-scaling and manual scaling of level and span		
Minimum span (in manual mode)	2.5 °C (4.5 °F)	5 °C (9 °F)	
Minimum span (in auto mode)	5 °C (9 °F)	10 °C (18 °F)	
IR-Fusion® information	Full infrared with MAX, MID, or MIN automatic blending; and picture-in-picture with MAX, MID, or MIN automatic blending (Visual and IR blending)	Full infrared or picture-in-picture	No IR-Fusion. Full Infrared only. Ti9 models are upgradable to a full Ti10 for an additional fee.*
Picture-In-Picture (PIP)	Three levels of on-screen IR blending displayed in center 320 x 240 pixels	100 % IR displayed in center 320 x 240 pixels	–
Full screen (PIP off)	Three levels of on-screen IR blending displayed in center 640 x 480 LCD	100 % IR displayed in center 640 x 480 LCD	
Voice annotation			
Voice annotation	60 seconds maximum recording time per image	–	
Image and data storage			
Storage medium	SD memory card (2 GB memory card will store at least 1200 fully radiometric (.is2) IR and linked visual images each with 60 seconds voice annotations or 3000 basic (.bmp) IR images)		
File formats	Non-radiometric (.bmp) or fully-radiometric (.is2). No analysis software required for .bmp files.		
Export file formats w/SmartView® software	JPEG, BMP, GIF, PNG, TIFF		

*Contact your Fluke sales representative for more information about upgrade options.

General specifications

Temperature	Operating: -10 °C to 50 °C (14 °F to 122 °F) Storage: -20 °C to +50 °C (-4 °F to 122 °F) without batteries
Relative humidity	10 % to 90 % non-condensing
Display	9.1 cm (3.6 in) diagonal landscape color VGA (640 x 480) LCD with backlight (selectable bright or auto)
Controls and adjustments	User selectable temperature scale (°C/°F) Language selection Time/Date set Emissivity selection and Reflected Background Temperature Compensation (Ti25 only) User selectable Hot Spot and Cold Spot on the image (Ti25 only) Ti25 allows user to adjust palette, alpha blend, level, span, PIP, and emissivity on a captured image before it is stored.
Software	SmartView® full analysis and reporting software included
Power	Battery: Internal rechargeable battery pack (included) Battery life: Three to four hours continuous use (assumes 50 % brightness of LCD) Battery charge time using ac adapter/charger and dc car charger: Two hours for full charge
AC operation/charging	AC adapter/charger (110 Vac to 220 Vac, 50 Hz to 60 Hz). Charges battery while imager is operating. Universal ac mains adapters included.
Power saving	Sleep mode activated after 5 minutes of inactivity, automatic power off after 20 minutes of inactivity
Safety standards	CE Directive: IEC/EN 61010-1 2nd Edition Pollution Degree 2
Electromagnetic compatibility	EMC directive: EN61326-1 C-Tick: IEC/EN 61326 US FCC: CFR 47, Part 15 Class A
Vibration	2 G, IEC 68-2-29
Shock	25 G, IEC 68-2-29 (2 m or 6.5 ft drop, 6 sides)
Dimensions (HxWxL)	0.27 m x 0.13 m x 0.15 m (10.5 in x 5 in x 6 in)
Weight	1.2 kg (2.65 lb)
IP rating	IP54
Warranty	Two-years
Calibration cycle	Two-years (assumes normal operation and normal aging)
Supported languages	English, Italian, German, Spanish, French, Russian, Portuguese, Swedish, Turkish, Czech, Polish, Finnish, Simplified Chinese, Traditional Chinese, Korean, and Japanese

Ordering information

FLK-Ti25 9HZ	Thermal Imager
FLK-Ti10 9HZ	Thermal Imager
FLK-Ti9 9HZ	Thermal Imager

Not all models available in all areas.

Included with product

Thermal imaging camera w/20 mm lens, ac power supply/battery charger (including mains adapters), SD memory card, SD card reader (USB) for downloading images into your computer, SmartView® software with free software upgrades for life, rugged hard, carrying case, soft transport bag, hand strap, users manual, warranty registration card, interactive training DVD.

Optional accessories

FLK-TI-CHARGER	Thermal Imager Car Charger
FLK-TI-VISOR	Thermal Imager Visor



Fluke. *Not just infrared.
Infrared you can use.™*

Fluke Corporation
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

Fluke Europe B.V.
PO Box 1186, 5602 BD
Eindhoven, The Netherlands

For more information call:
In the U.S.A. (800) 443-5853 or
Fax (425) 446-5116
In Europe/M-East/Africa +31 (0) 40 2675 200 or
Fax +31 (0) 40 2675 222
In Canada (800)-36-FLUKE or
Fax (905) 890-6866
From other countries +1 (425) 446-5500 or
Fax +1 (425) 446-5116
Web access: <http://www.fluke.com>

©2007-2009 Fluke Corporation.
Specifications subject to change without notice.
Printed in U.S.A. 1/2009 3035356 D-EN-N Rev D

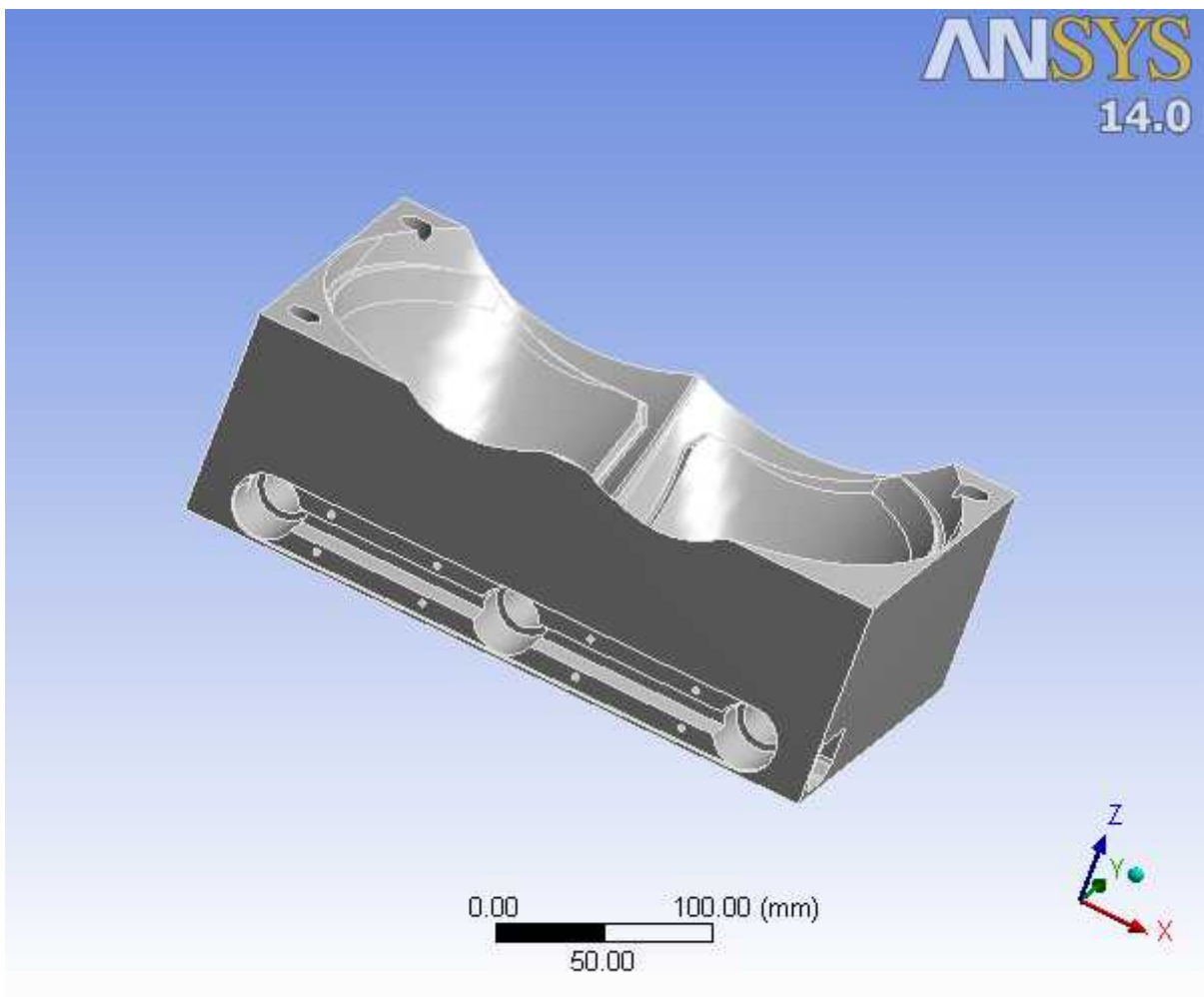
**Modification of this document is not permitted
without written permission from Fluke Corporation.**

ANEXO 5. Estudio ANSYS para talla 105, molde hembra
Estudio ANSYS para talla 105, molde macho



Project

First Saved	Monday, April 13, 2015
Last Saved	Monday, April 13, 2015
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [molde_1413_talla105.v07_aluminio](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Mesh](#)
 - [Transient Thermal \(A5\)](#)
 - [Initial Temperature](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Result Charts](#)
 - [Temperature](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\pc\AppData\Local\Temp\WB_PC-PC_5020_2\unsaved_project_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	320. mm
Length Y	200. mm
Length Z	104. mm
Properties	
Volume	3.3211e+006 mm ³
Mass	26.071 kg
Scale Factor Value	1.

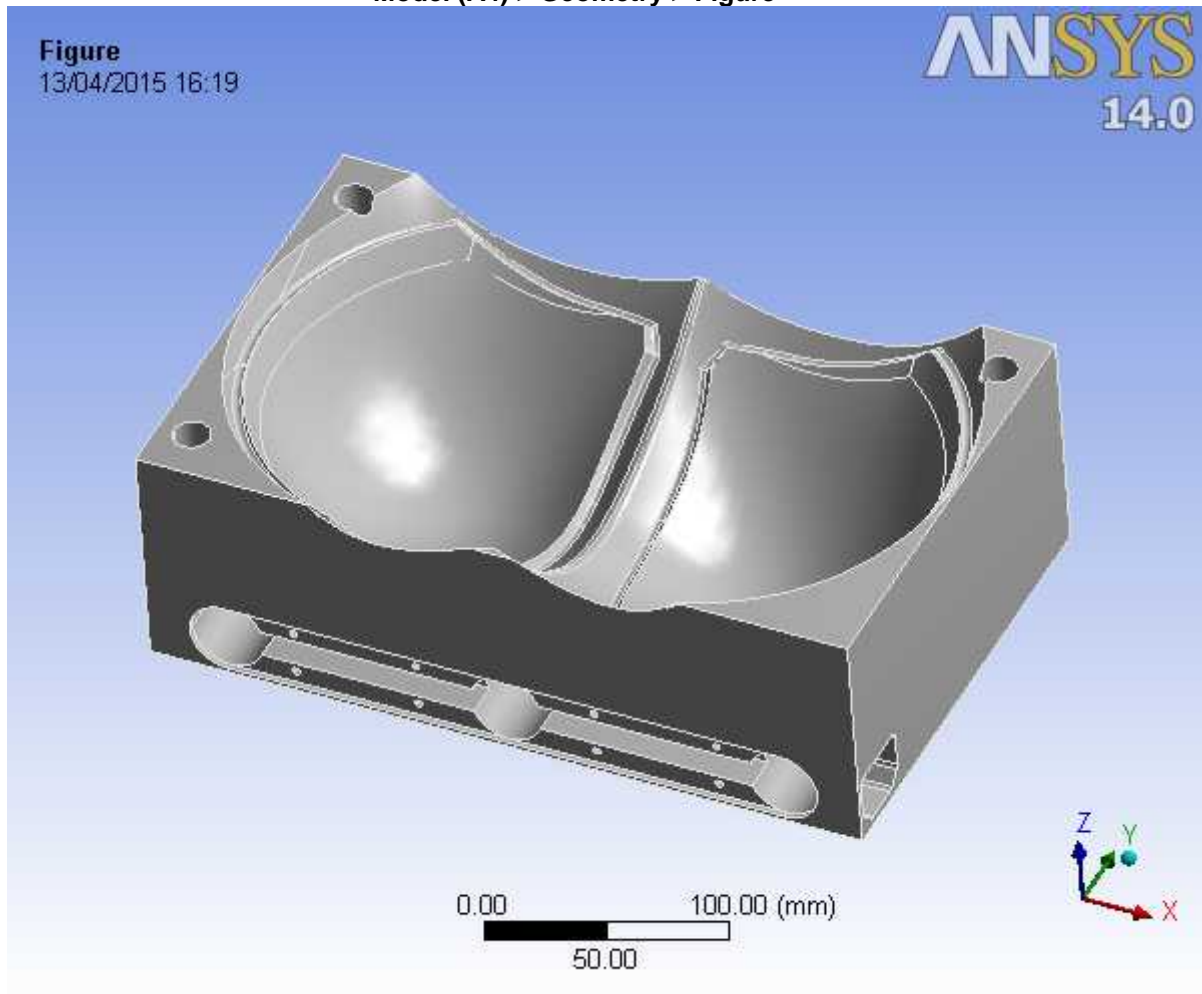
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	494186
Elements	332325
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\pc\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Faces	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>molde_1413_talla105.v07_aluminio</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	320. mm
Length Y	200. mm
Length Z	104. mm
Properties	
Volume	3.3211e+006 mm ³
Mass	26.071 kg
Centroid X	3.5495 mm

Centroid Y	98.412 mm
Centroid Z	-51.349 mm
Moment of Inertia Ip1	1.302e+005 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	3.0535e+005 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	4.0047e+005 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	494186
Elements	332325
Mesh Metric	None

FIGURE 1
Model (A4) > Geometry > Figure



Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. mm

Origin Y	0. mm
Origin Z	0. mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

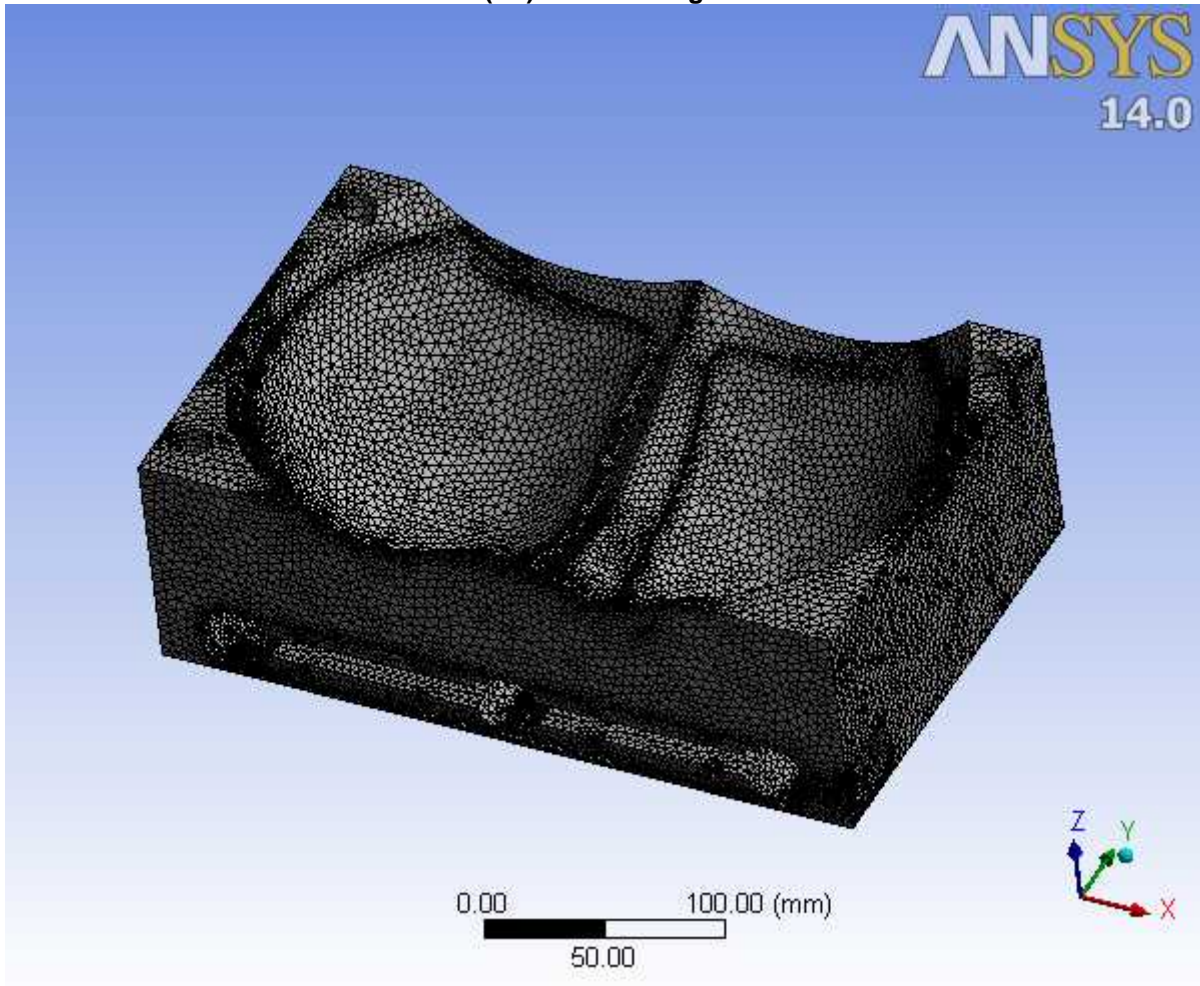
Mesh

TABLE 5
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Proximity Accuracy	0.5
Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Min Size	2.0 mm
Max Face Size	5.0 mm
Max Size	5.0 mm
Growth Rate	Default (1.850)
Minimum Edge Length	0.113970 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Default (1.80 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On

Defeating Tolerance	Default (1.0 mm)
Statistics	
Nodes	494186
Elements	332325
Mesh Metric	None

FIGURE 2
Model (A4) > Mesh > Figure



Transient Thermal (A5)

TABLE 6
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Transient Thermal (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Thermal
Analysis Type	Transient
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Initial Condition

Object Name	<i>Initial Temperature</i>
State	Fully Defined
Definition	
Initial Temperature	Uniform Temperature
Initial Temperature Value	22. °C

FIGURE 3
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Initial Temperature > Figure

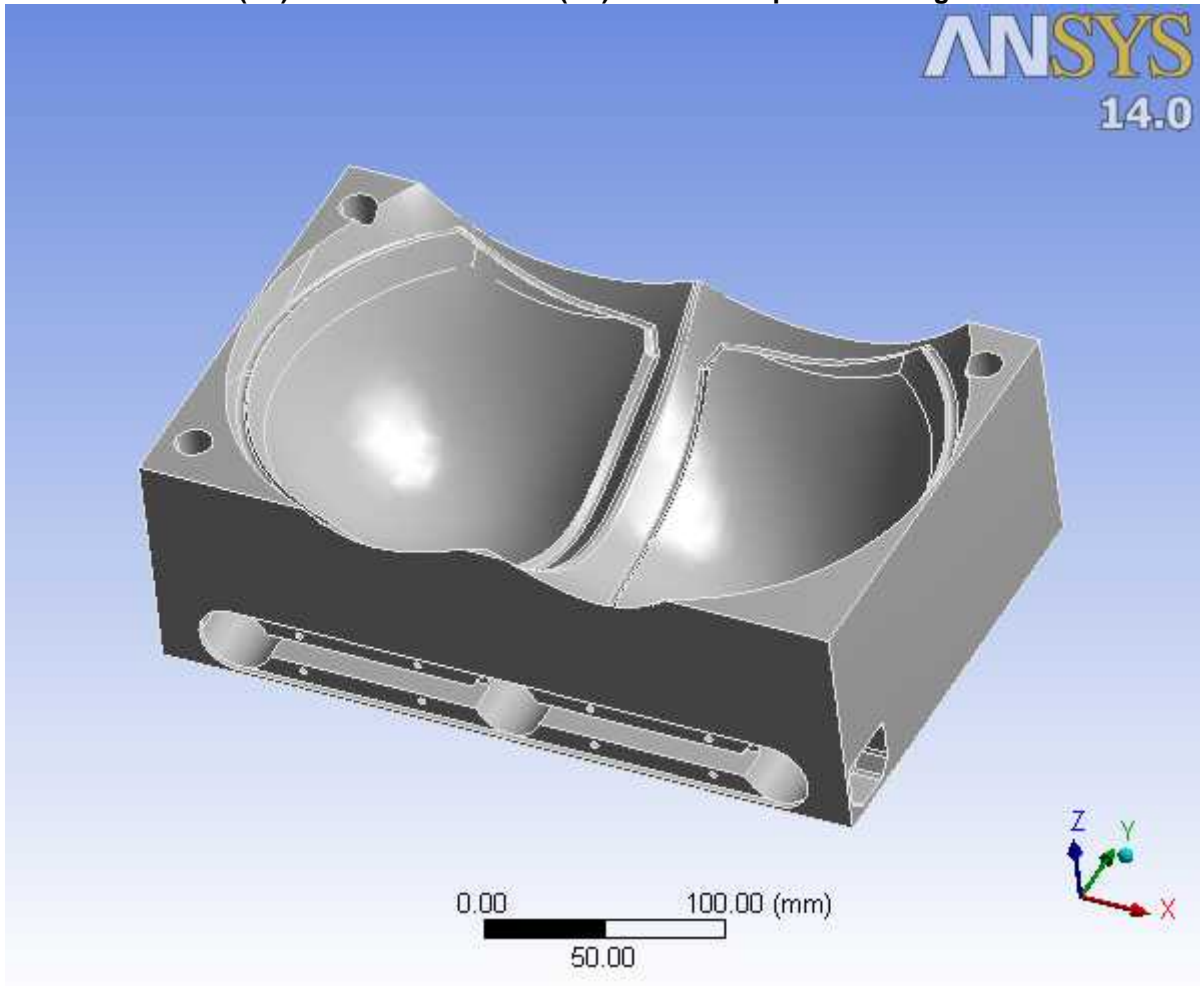


TABLE 8
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	7800. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Initial Time Step	78. s
Minimum Time Step	7.8 s
Maximum Time Step	780. s
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled

Radiosity Controls	
Flux Convergence	1.e-004
Maximum Iteration	1000.
Solver Tolerance	0.1
Over Relaxation	0.1
Hemicube Resolution	10.
Nonlinear Controls	
Heat Convergence	Program Controlled
Temperature Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Nonlinear Formulation	Program Controlled
Output Controls	
Calculate Thermal Flux	Yes
General Miscellaneous	No
Calculate Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\Desktop\prueba-ANSYS_molde hembra_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 9
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Loads

Object Name	<i>Convection</i>	<i>Heat Flow</i>	<i>Convection 2</i>
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	5 Faces	27 Faces	10 Faces
Definition			
Type	Convection	Heat Flow	Convection
Film Coefficient	1.e-005 W/mm ² .°C (step applied)		3.e-006 W/mm ² .°C (step applied)
Ambient Temperature	22. °C (step applied)		22. °C (step applied)
Suppressed	No		
Define As		Heat Flow	
Magnitude		500. W (step applied)	

FIGURE 4
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection

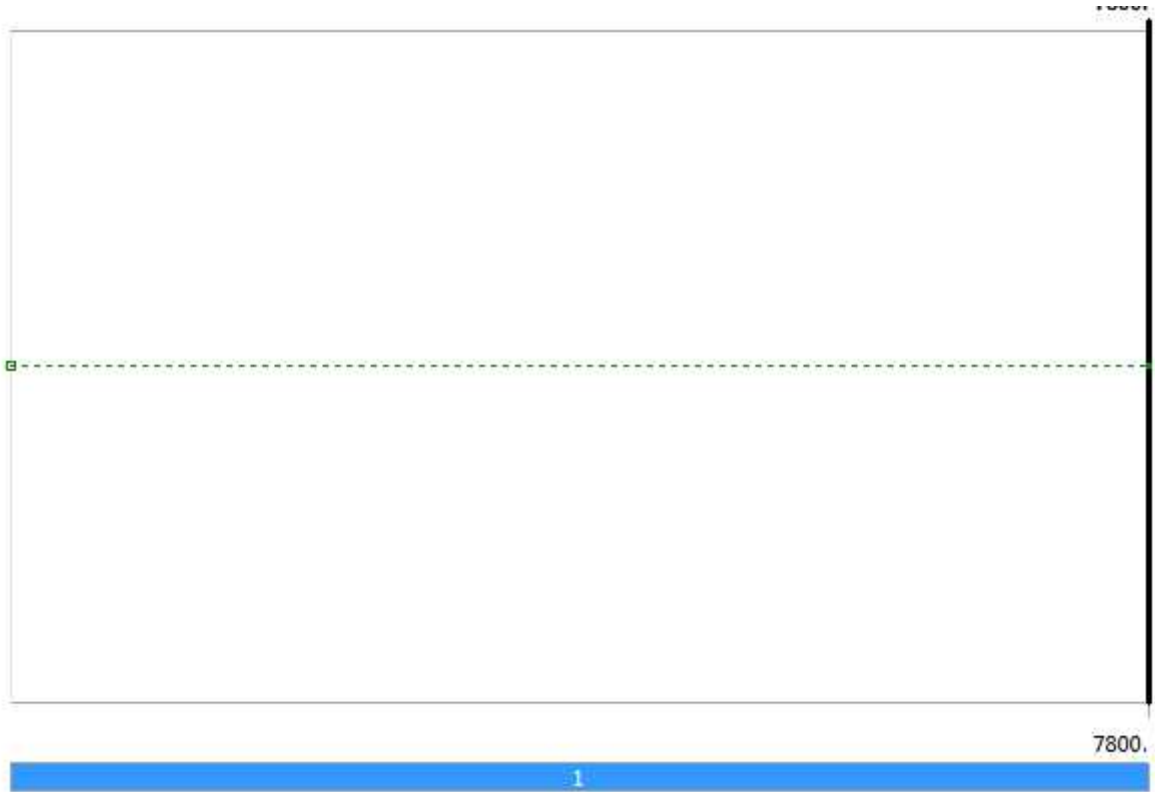


TABLE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection

Steps	Time [s]	Convection Coefficient [W/mm ² ·°C]	Temperature [°C]
1	0.	= 1.e-005	= 22.
	7800.	1.e-005	22.

FIGURE 5
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection > Figure

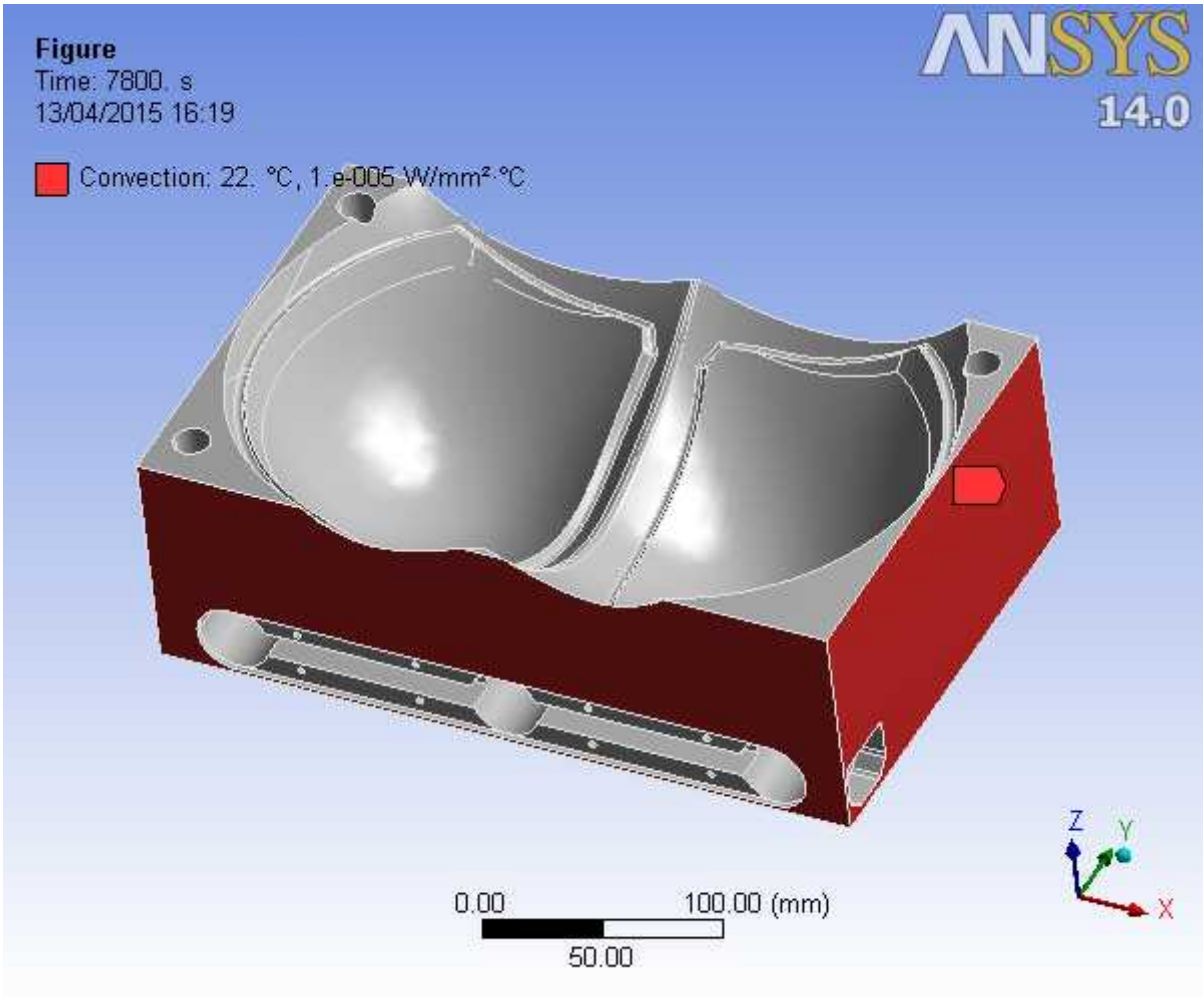


FIGURE 6
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow

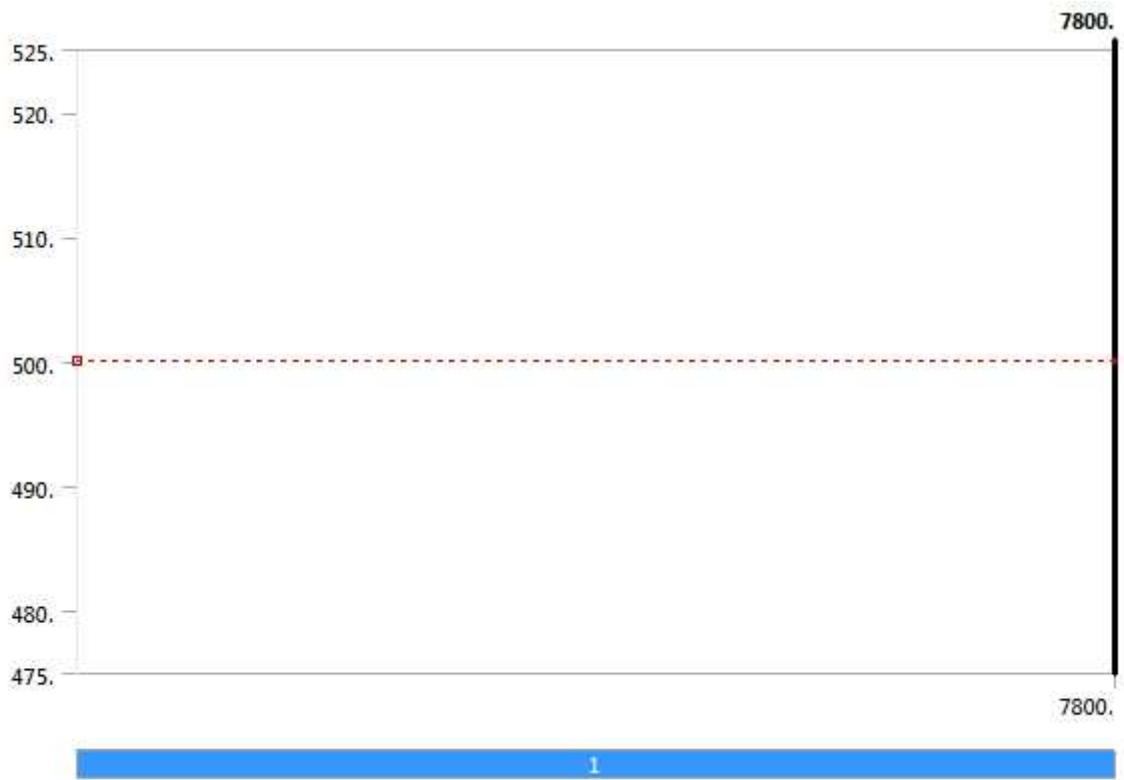


FIGURE 7
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow > Figure

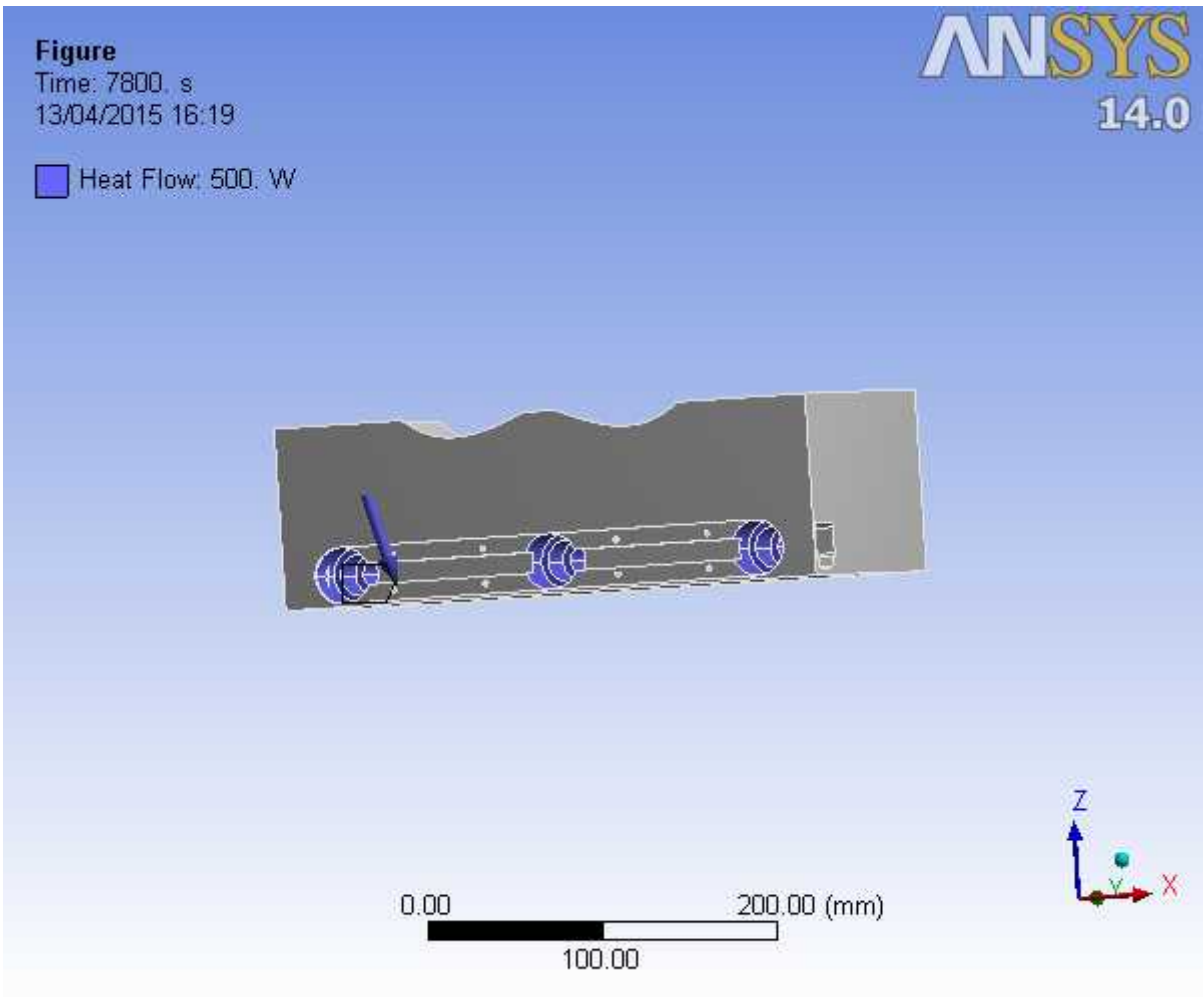


FIGURE 8
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2

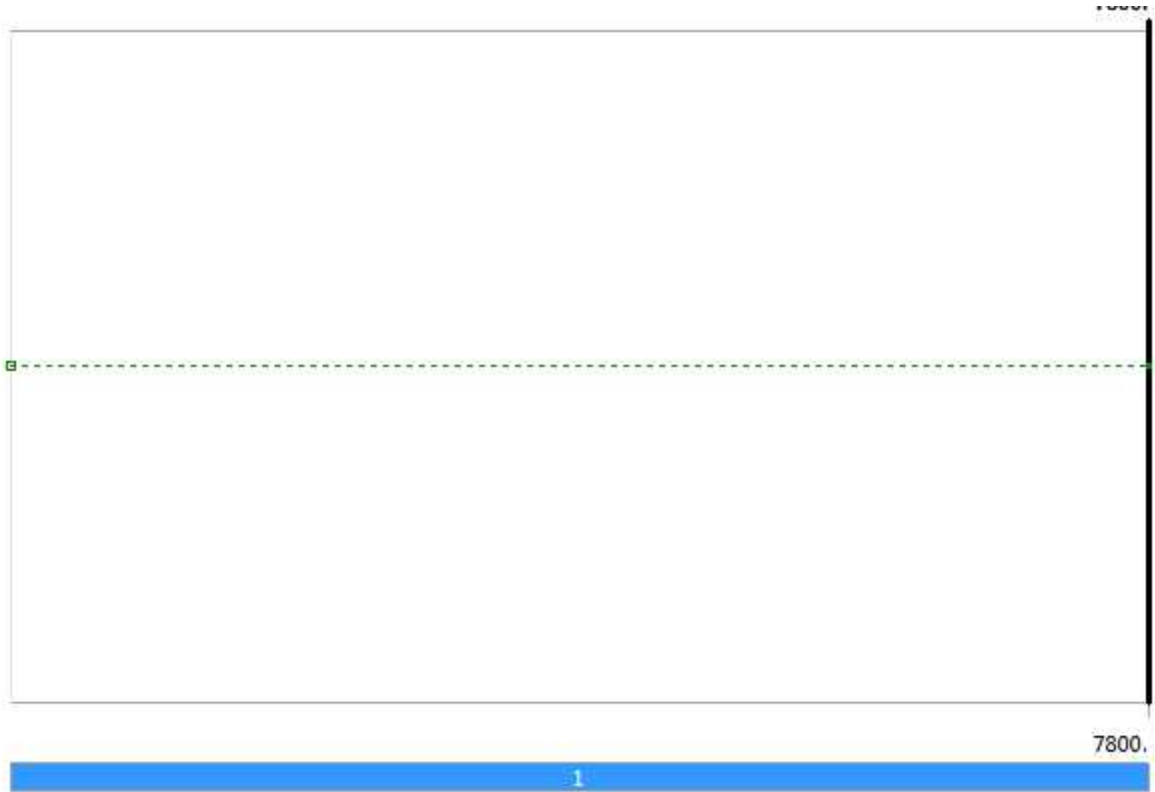
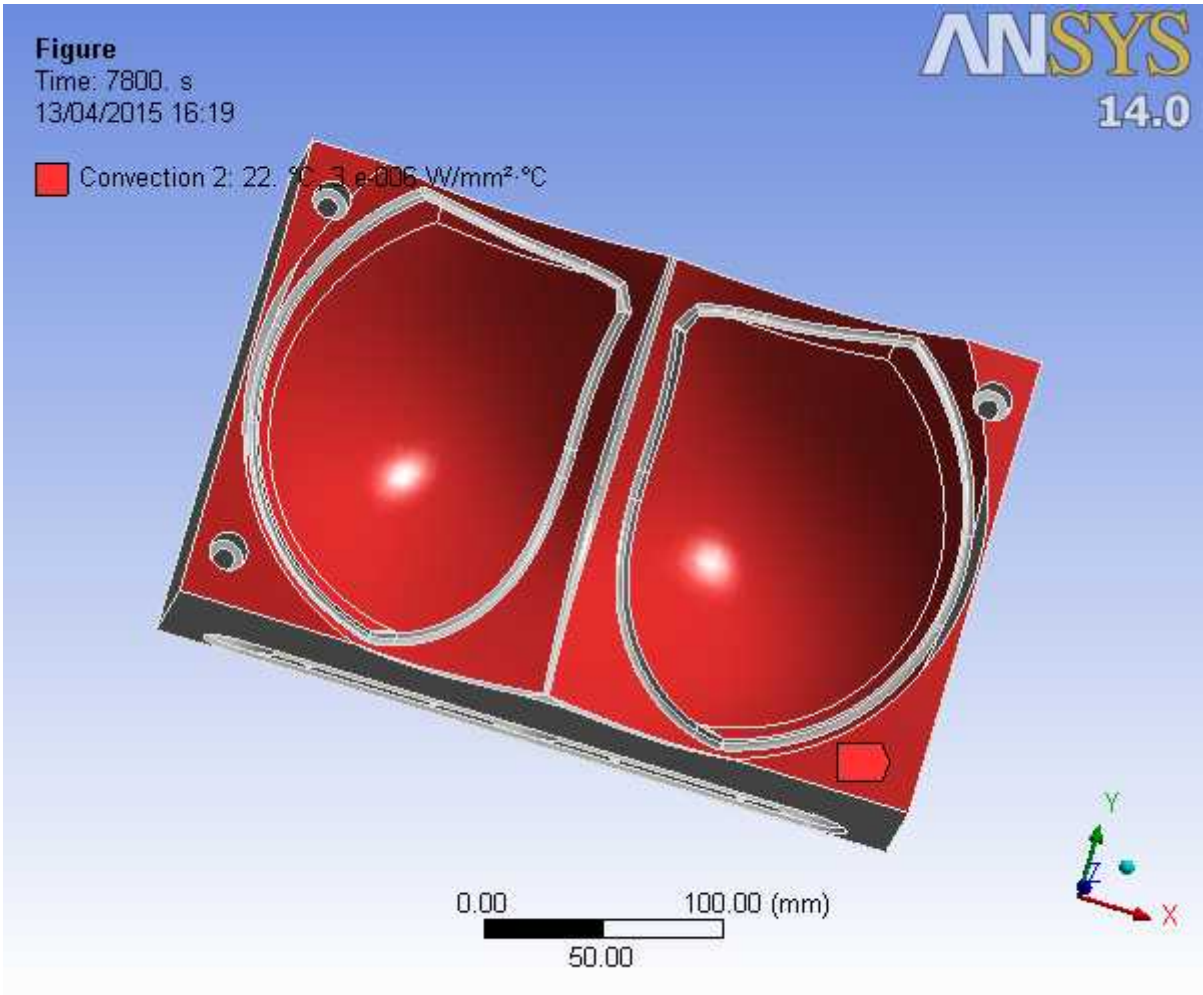


TABLE 11
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2

Steps	Time [s]	Convection Coefficient [W/mm ² ·°C]	Temperature [°C]
1	0.	= 3.e-006	= 22.
	7800.	3.e-006	22.

FIGURE 9
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2 > Figure



Solution (A6)

TABLE 12
 Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 13
 Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors

Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 14
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Result Charts

Object Name	<i>Temperature - Global Maximum</i>	<i>Temperature - Global Minimum</i>
State	Solved	
Definition		
Type	Temperature	
Suppressed	No	
Scope		
Scoping Method	Global Maximum	Global Minimum
Results		
Minimum	37.876 °C	22.934 °C
Maximum	231.25 °C	202.6 °C

FIGURE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Maximum

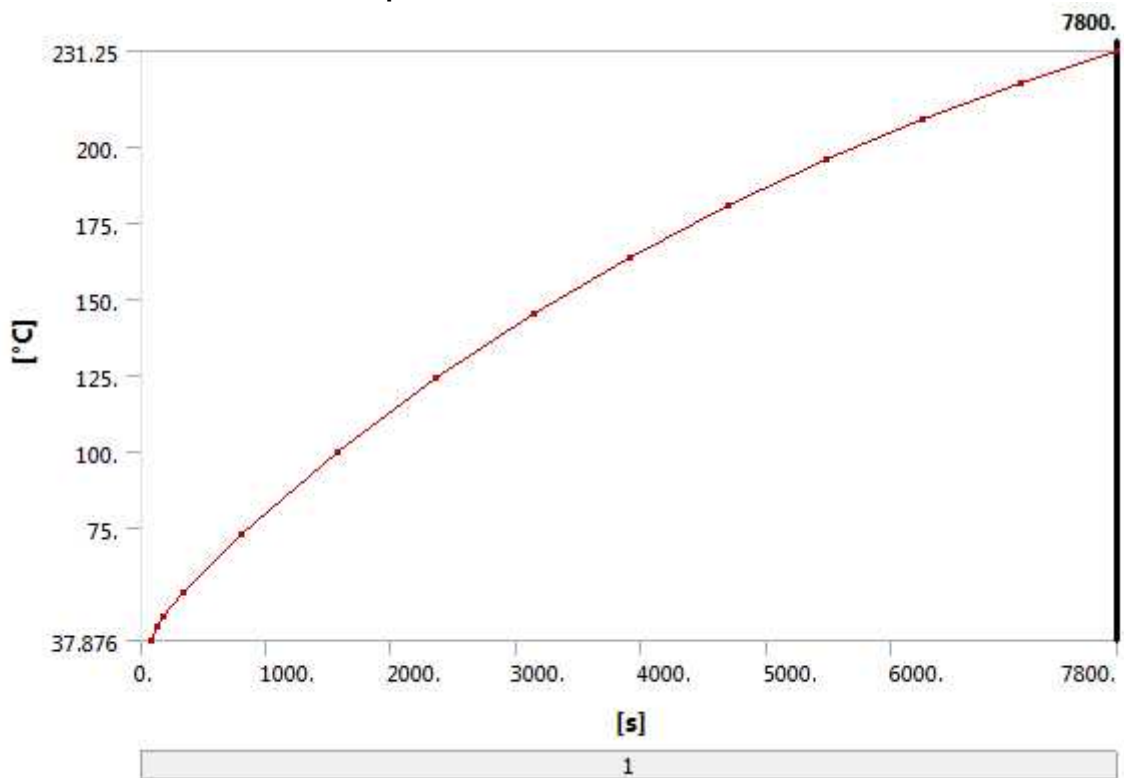


FIGURE 11
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Minimum

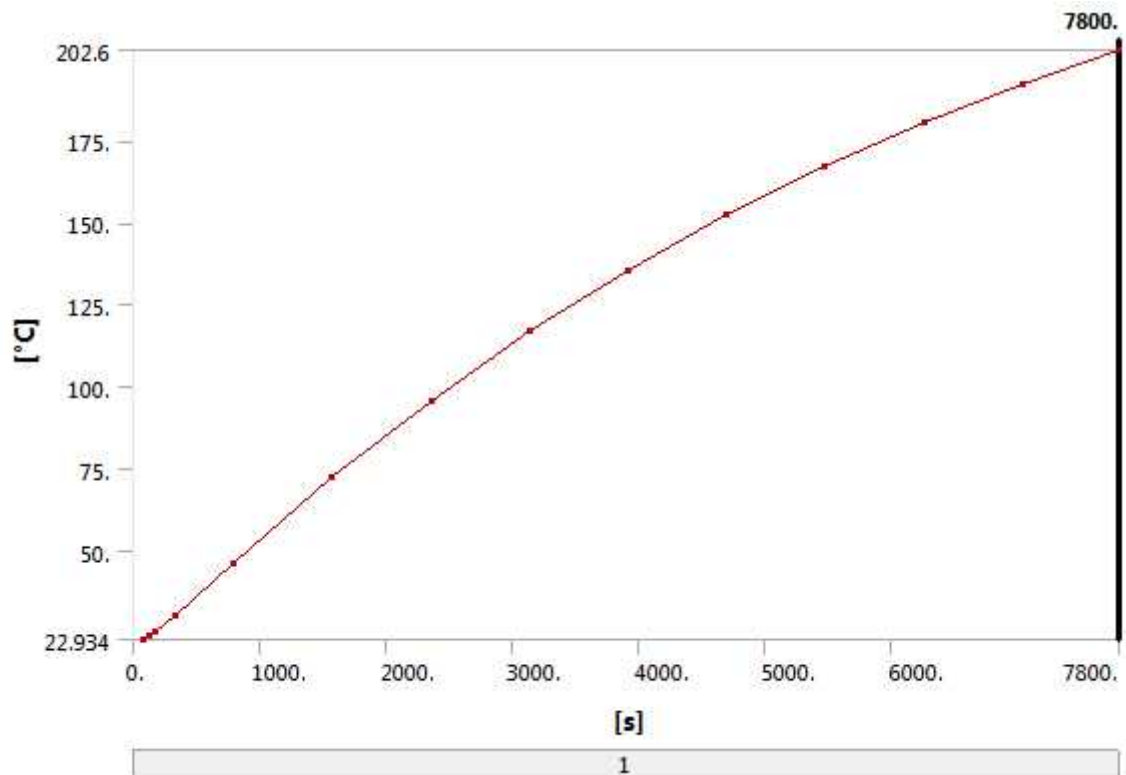


TABLE 15
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Temperature</i>
State	Solved
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Temperature
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
Minimum	202.6 °C
Maximum	231.25 °C
Minimum Value Over Time	
Minimum	22.934 °C
Maximum	202.6 °C
Maximum Value Over Time	
Minimum	37.876 °C
Maximum	231.25 °C
Information	
Time	7800. s
Load Step	1
Substep	14
Iteration Number	14

FIGURE 12
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

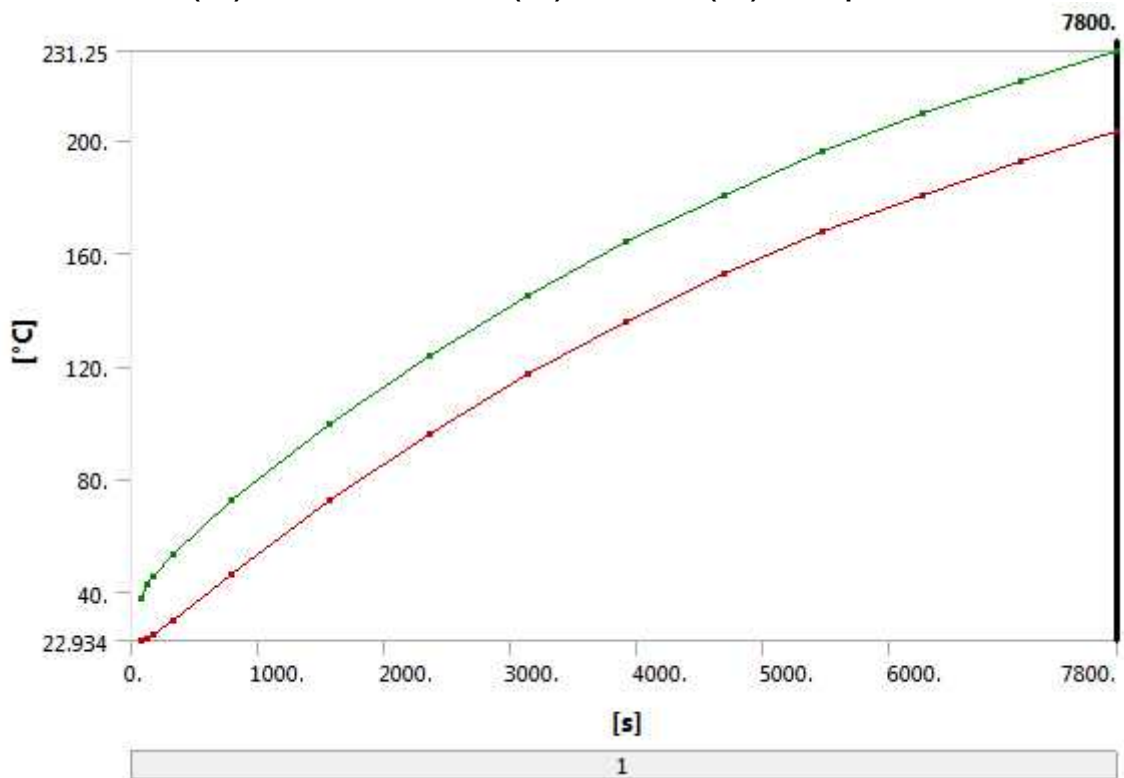


TABLE 16
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
78.	22.934	37.876
129.17	23.946	42.597
180.34	25.251	45.94
333.85	30.191	53.538
794.39	46.369	72.427
1574.4	72.29	99.748
2354.4	95.808	123.72
3134.4	116.88	144.94
3914.4	135.67	163.79
4694.4	152.39	180.54
5474.4	167.28	195.58
6254.4	180.52	208.95
7034.4	192.3	220.85
7800.	202.6	231.25

FIGURE 13
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature > Figure

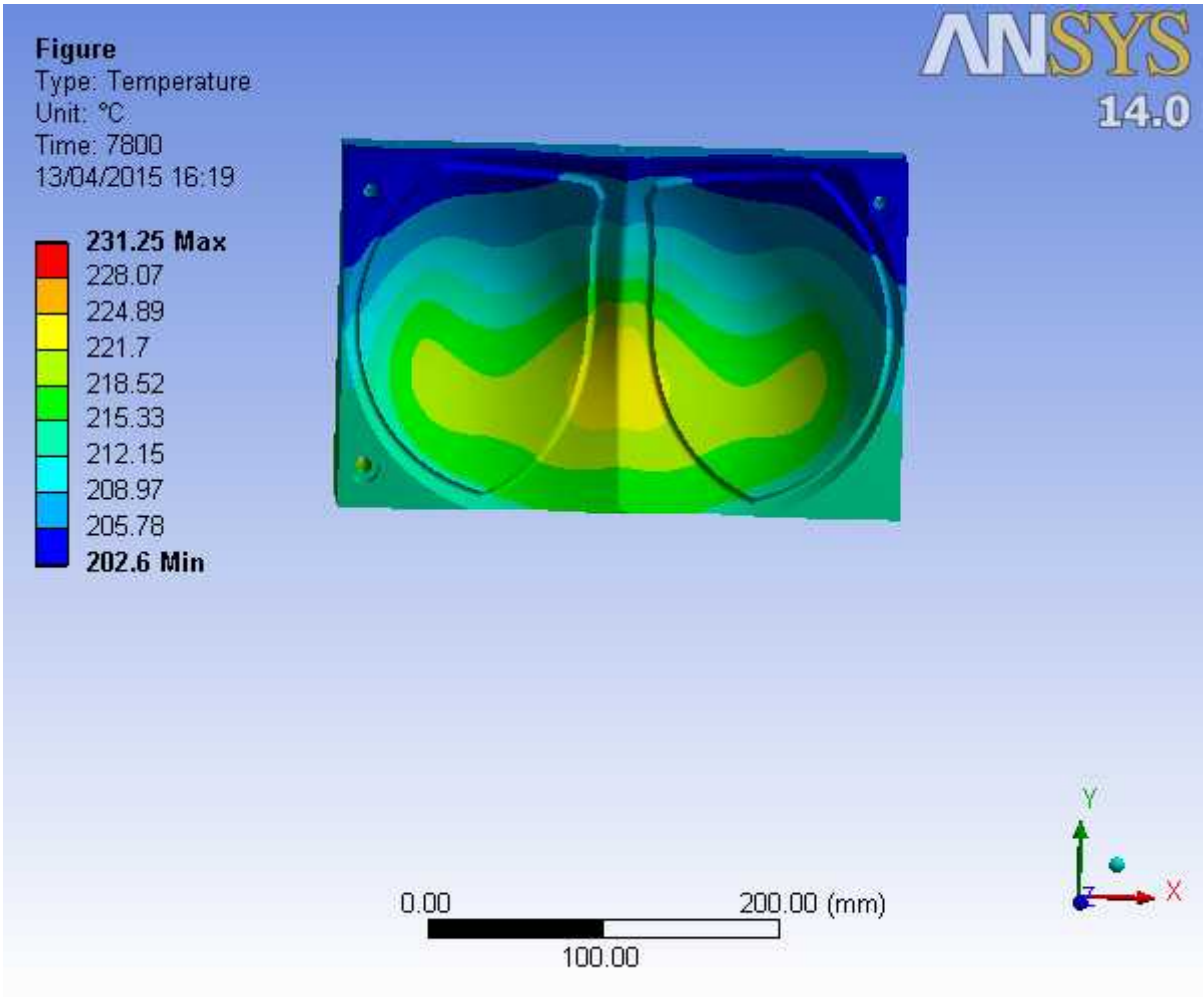
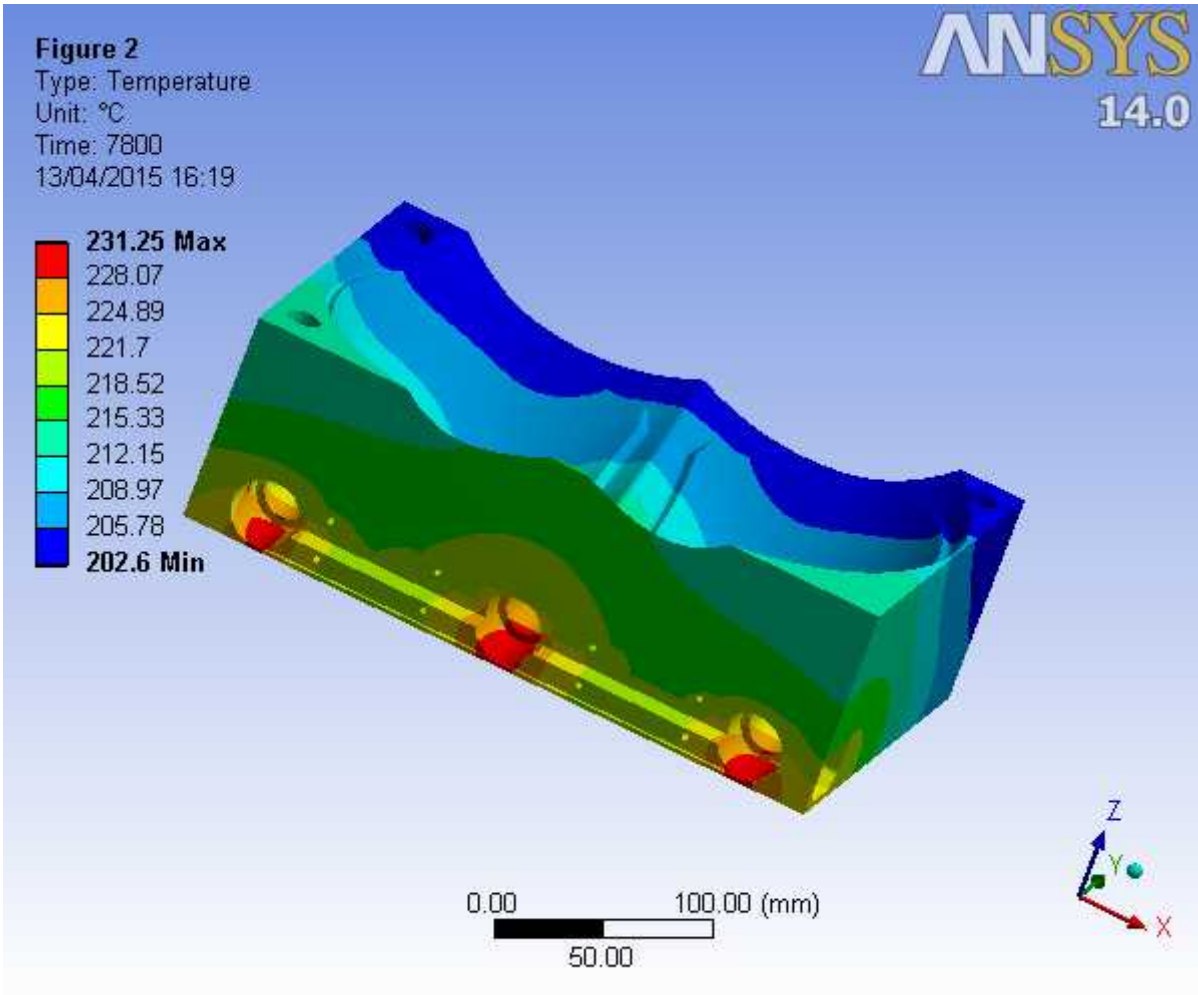


FIGURE 14
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature > Figure 2



Material Data

Structural Steel

TABLE 17
Structural Steel > Constants

Density	7.85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

TABLE 18
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa	0
-----------------------------------	---

TABLE 19
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa	250
--------------------------------	-----

TABLE 20
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250

TABLE 21
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460

TABLE 22
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 23
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

TABLE 24
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

TABLE 25
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923

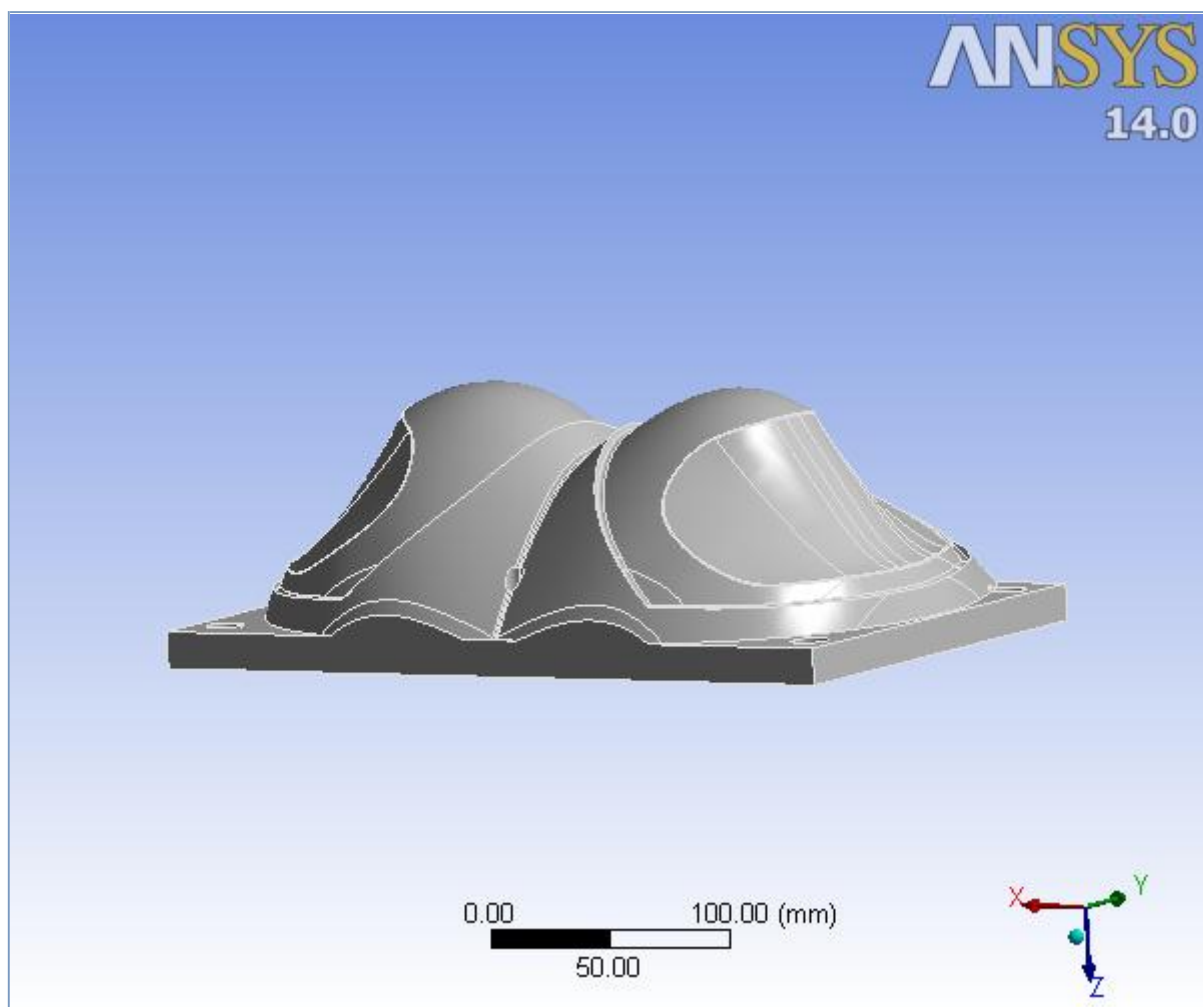
TABLE 26
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000



Project

First Saved	Friday, April 10, 2015
Last Saved	Friday, April 10, 2015
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [molde_1413_talla105.v08_aluminio](#)
 - » [Coordinate Systems](#)
 - » [Mesh](#)
 - » [Transient Thermal \(A5\)](#)
 - [Initial Temperature](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Result Charts](#)
 - [Temperature](#)
- } [Material Data](#)
 - » [Aluminum](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)	Degrees rad/s Celsius
Angle		Degrees
Rotational Velocity		rad/s
Temperature		Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\Desktop\ANSYS_105_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	320. mm
Length Y	200. mm
Length Z	109.03 mm
Properties	
Volume	3.6225e+006 mm ³
Mass	9.7409 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1

Nodes	554568
Elements	381994
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\pc\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Faces	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

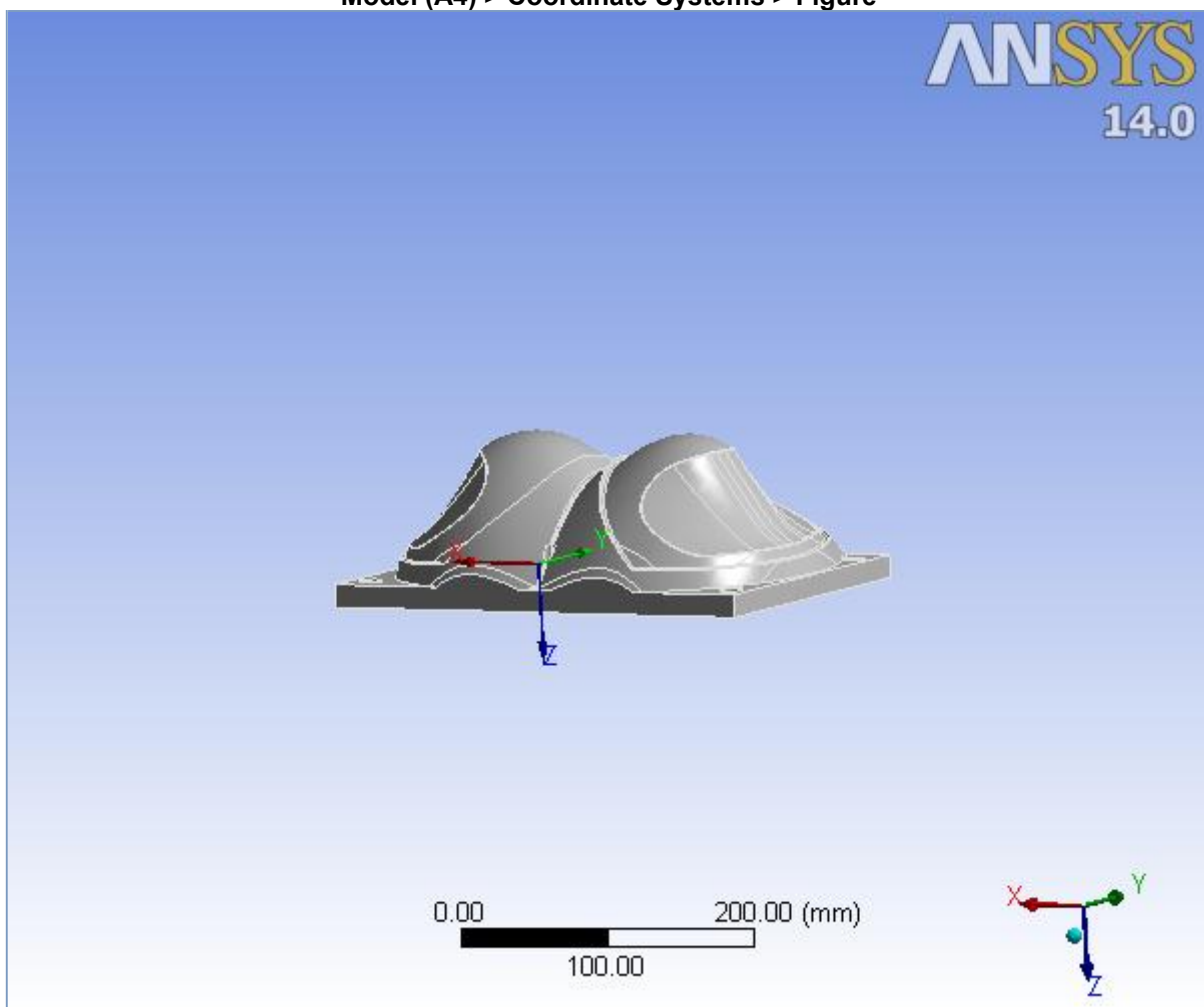
Object Name	<i>molde_1413_talla105.v08_aluminio</i>
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Aluminum
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	320. mm
Length Y	200. mm
Length Z	109.03 mm
Properties	
Volume	3.6225e+006 mm ³
Mass	9.7409 kg
Centroid X	3.3166 mm
Centroid Y	101.17 mm
Centroid Z	-3.4558 mm
Moment of Inertia Ip1	30463 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	64983 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	82785 kg·mm ²
Statistics	
Nodes	554568
Elements	381994
Mesh Metric	None

Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. mm
Origin Y	0. mm
Origin Z	0. mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

FIGURE 1
Model (A4) > Coordinate Systems > Figure



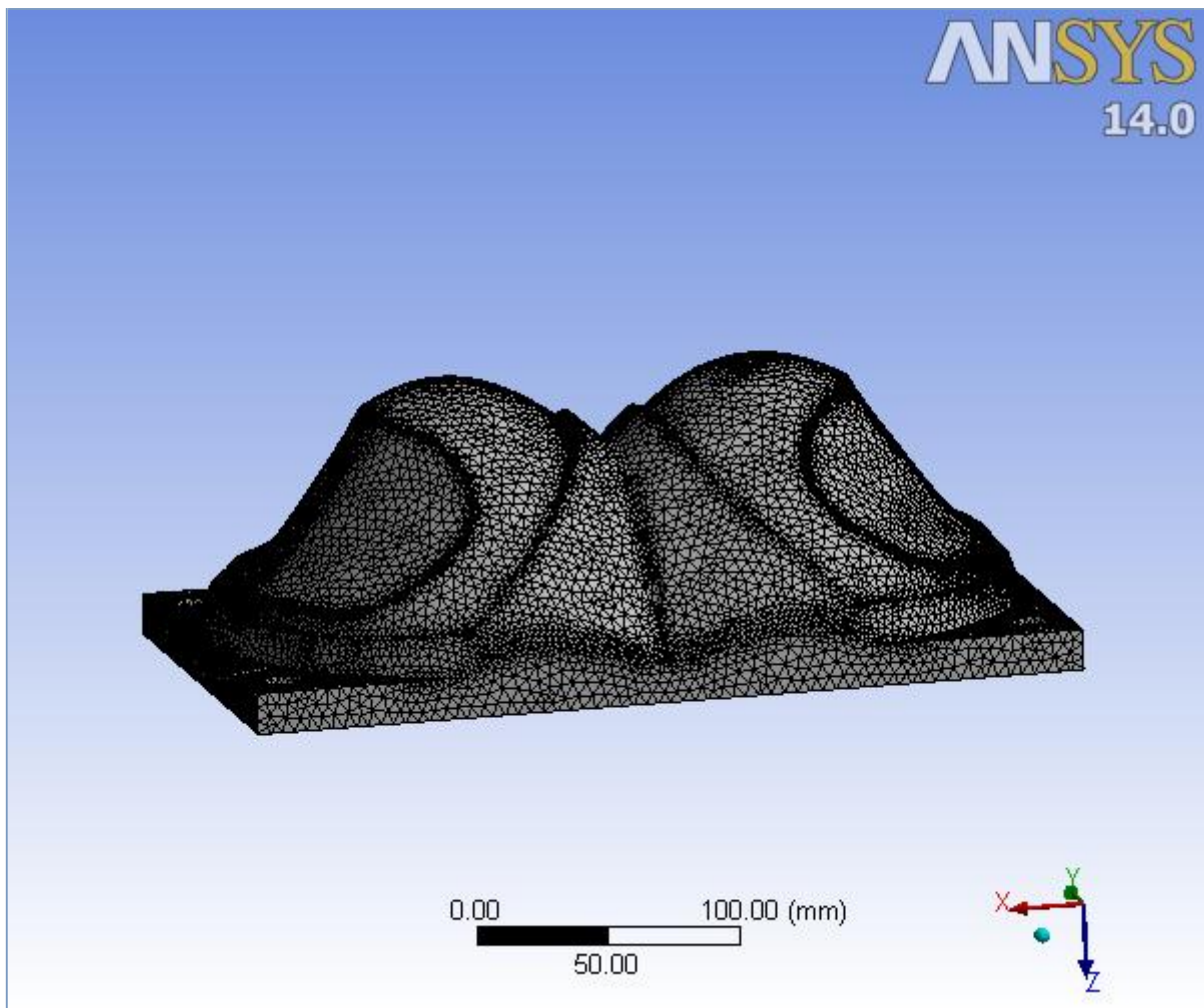
Mesh

TABLE 5
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical

Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity and Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Curvature Normal Angle	Default (70.3950 °)
Proximity Accuracy	0.5
Num Cells Across Gap	Default (3)
Min Size	Default (0.195780 mm)
Proximity Min Size	2.0 mm
Max Face Size	5.0 mm
Max Size	5.0 mm
Growth Rate	Default (1.850)
Minimum Edge Length	1.9449e-002 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Default (0.17620 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default (9.7892e-002 mm)
Statistics	
Nodes	554568
Elements	381994
Mesh Metric	None

FIGURE 2
Model (A4) > Mesh > Figure



Transient Thermal (A5)

TABLE 6
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Transient Thermal (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Thermal
Analysis Type	Transient
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Generate Input Only	No

TABLE 7
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Initial Condition

Object Name	<i>Initial Temperature</i>
State	Fully Defined
Definition	
Initial Temperature	Uniform Temperature
Initial Temperature Value	22. °C

TABLE 8
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	

Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	7800. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Initial Time Step	78. s
Minimum Time Step	7.8 s
Maximum Time Step	780. s
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Radiosity Controls	
Flux Convergence	1.e-004
Maximum Iteration	1000.
Solver Tolerance	0.1
Over Relaxation	0.1
Hemicube Resolution	10.
Nonlinear Controls	
Heat Convergence	Program Controlled
Temperature Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Nonlinear Formulation	Program Controlled
Output Controls	
Calculate Thermal Flux	Yes
General Miscellaneous	No
Calculate Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\Desktop\ANSYS_105_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 9
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Loads

Object Name	<i>Convection 2</i>	<i>Heat Flow</i>	<i>Heat Flow 2</i>	<i>Convection</i>
State	Fully Defined			
Scope				
Scoping Method	Geometry Selection			
Geometry	5 Faces	9 Faces	76 Faces	
Definition				
Type	Convection	Heat Flow	Convection	
Film Coefficient	1.e-005 W/mm ² .°C (step applied)		3.7e-005 W/mm ² .°C (step applied)	
Ambient Temperature	22. °C (step applied)		22. °C (step applied)	
Suppressed	No			
Define As		Heat Flow		
Magnitude		400. W (step applied)		

FIGURE 3
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2



TABLE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2

Steps	Time [s]	Convection Coefficient [W/mm ² .°C]	Temperature [°C]
1	0.	= 1.e-005	= 22.
	7800.	1.e-005	22.

FIGURE 4
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2 > Figure

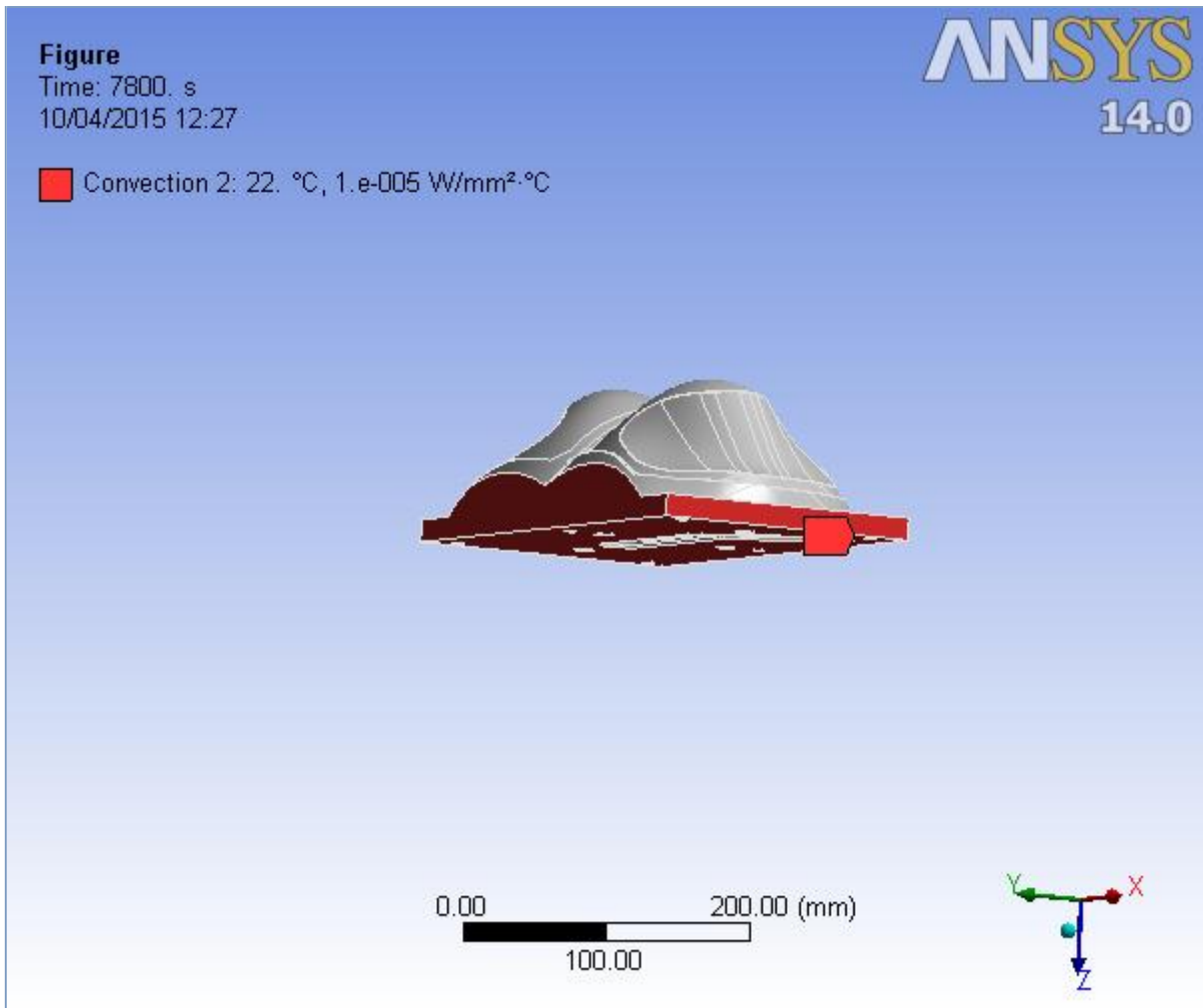


FIGURE 5
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow

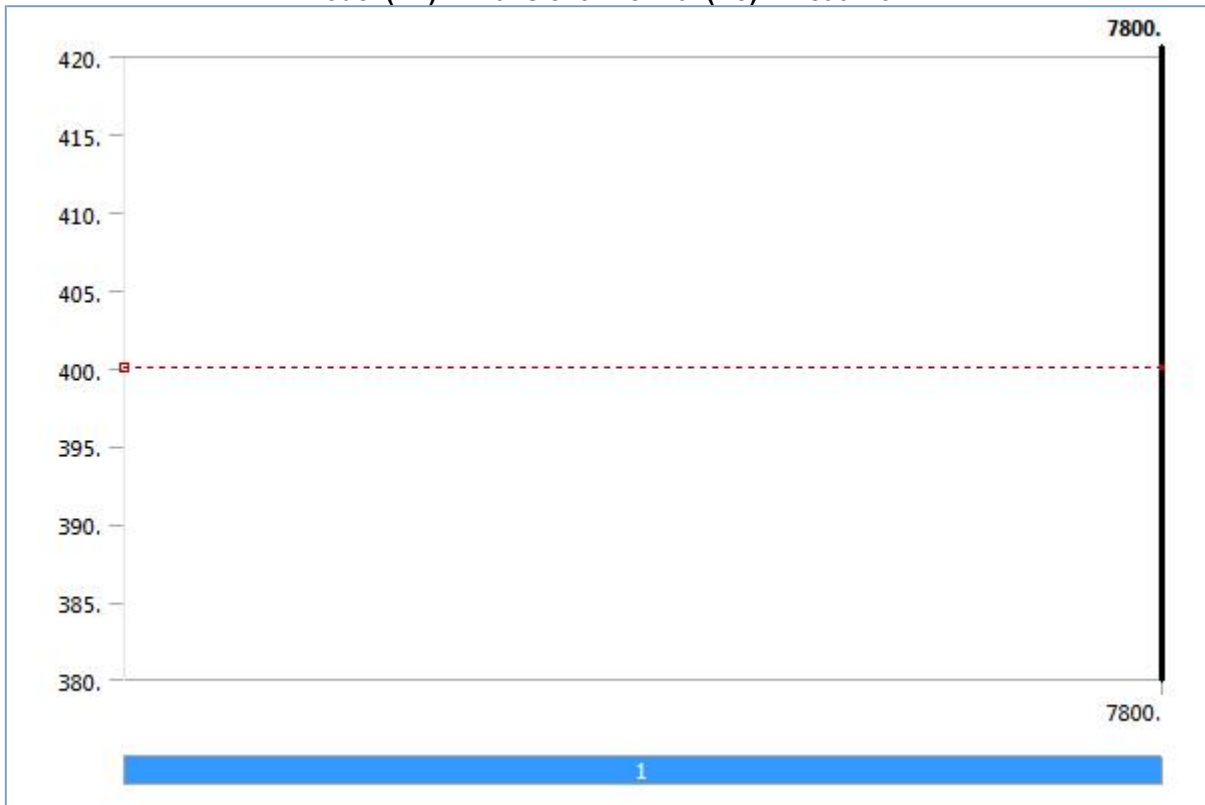


FIGURE 6
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow > Figure 2

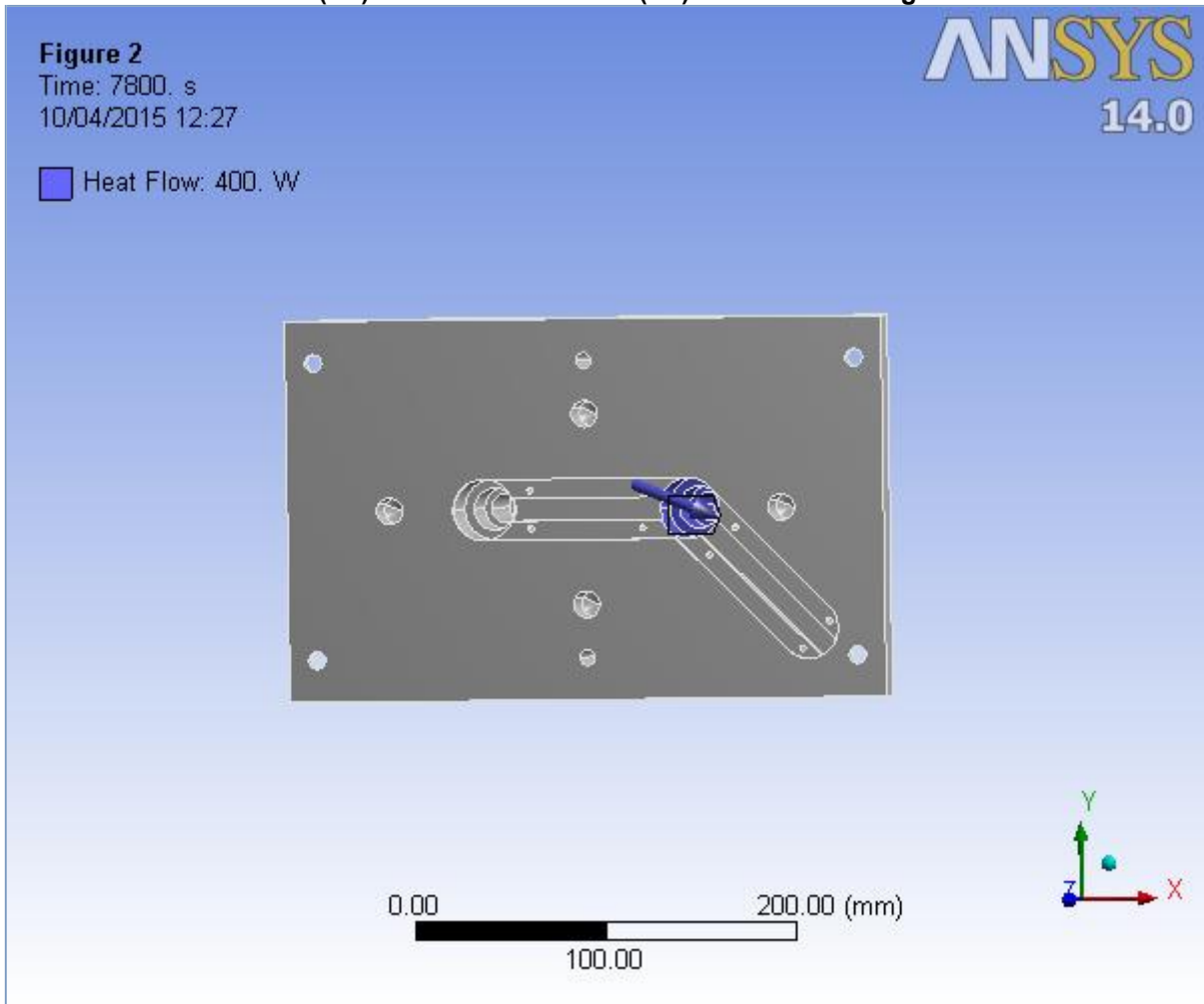


FIGURE 7
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow 2

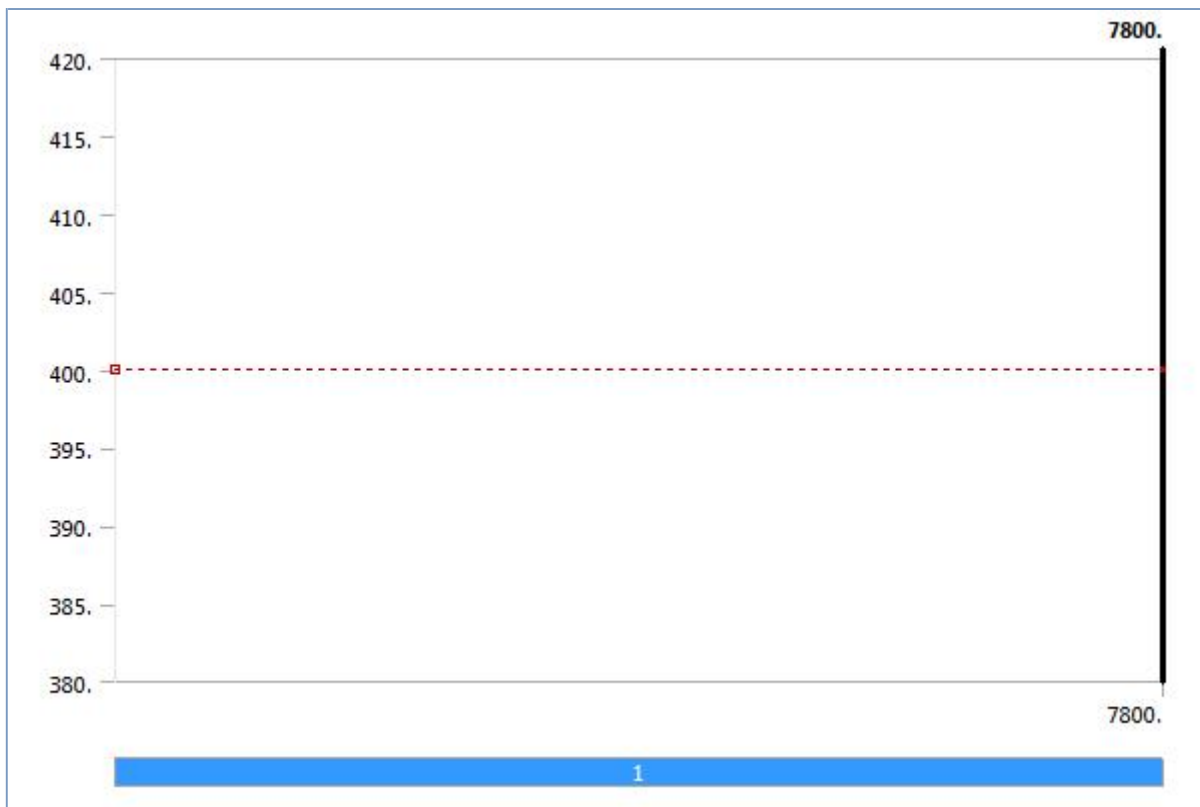


FIGURE 8
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow 2 > Figure

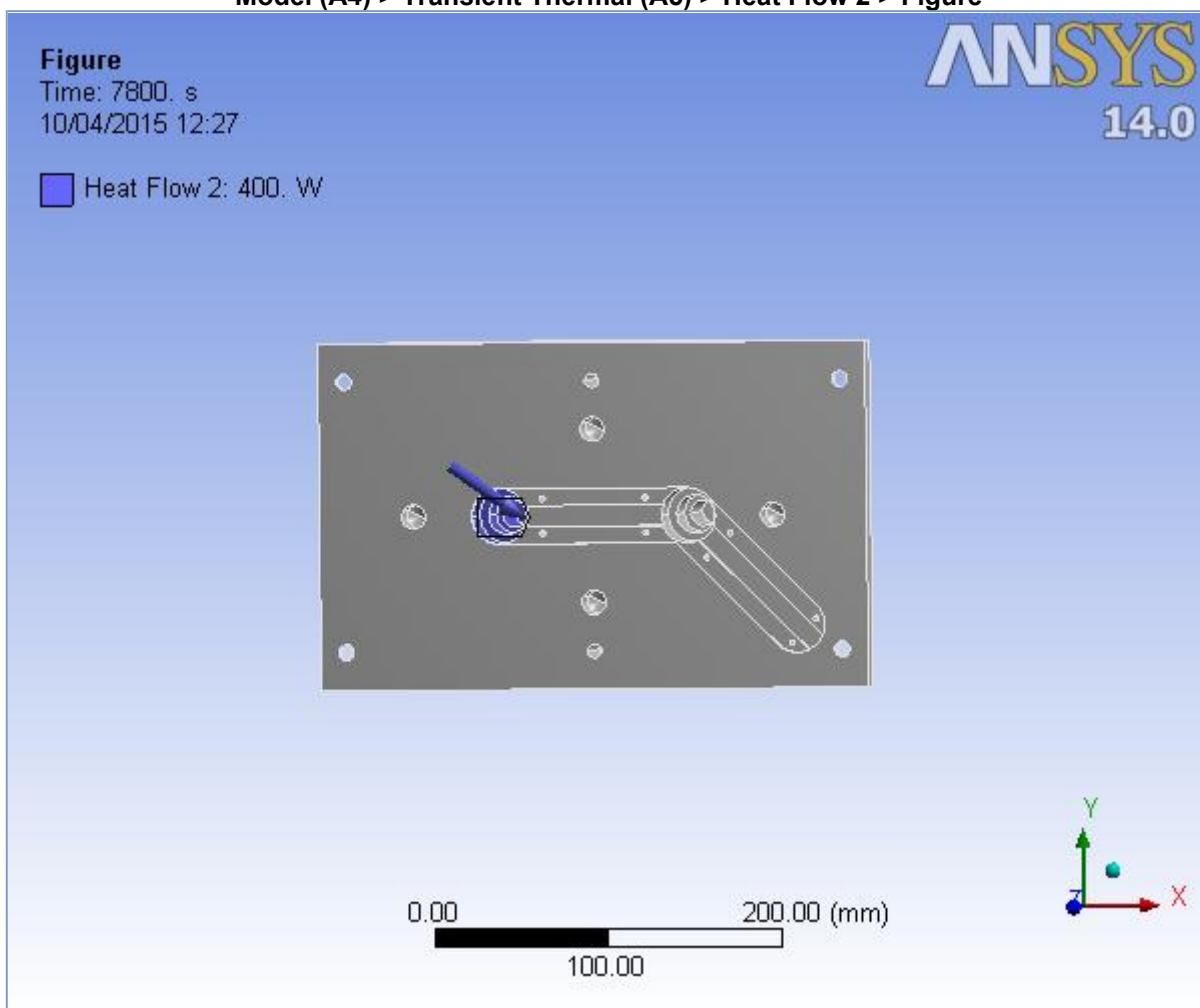


FIGURE 9
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection

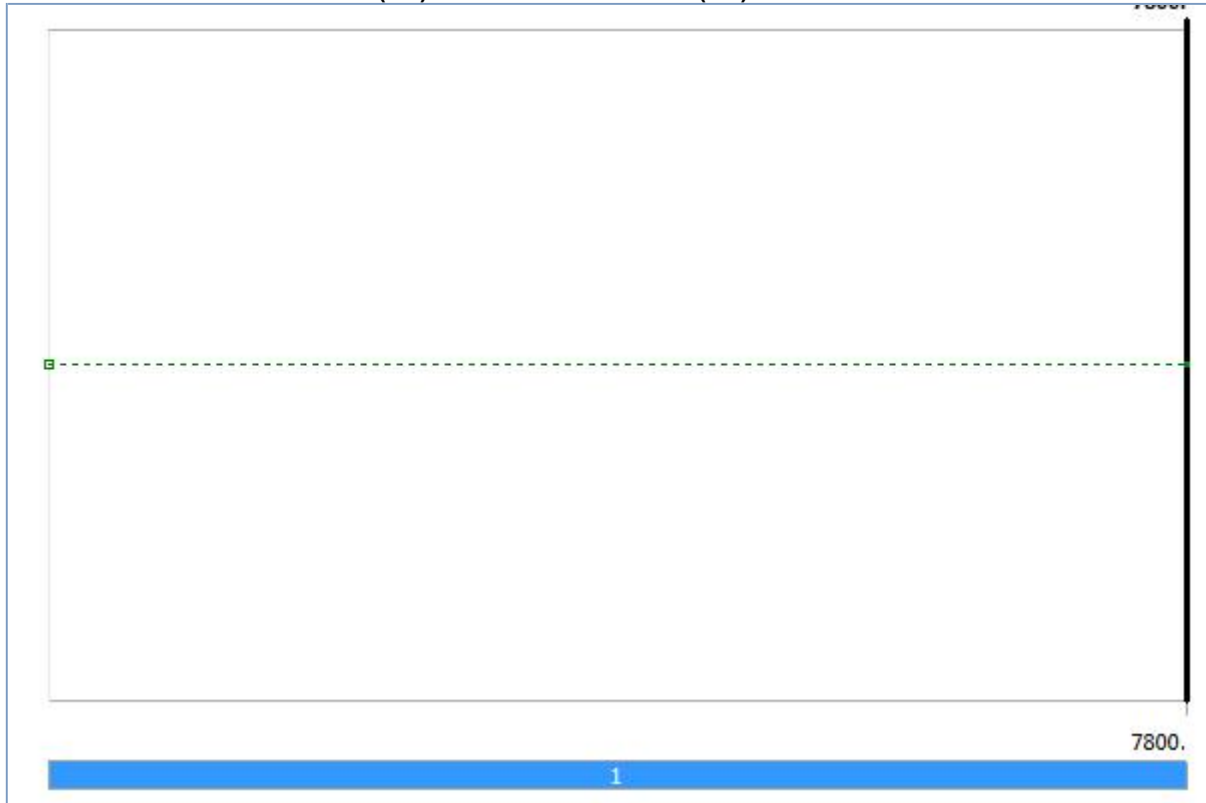
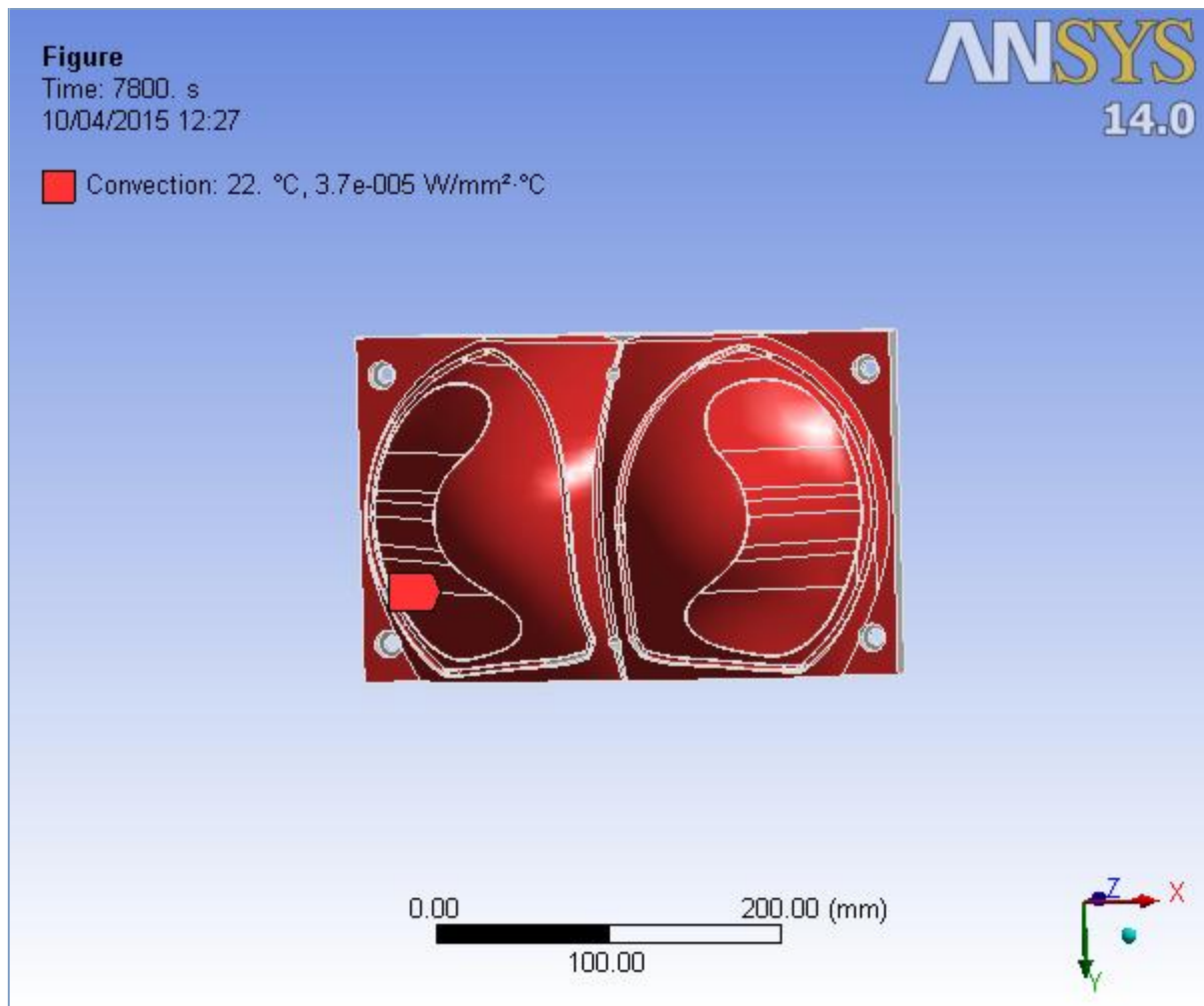


TABLE 11
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection

Steps	Time [s]	Convection Coefficient [W/mm ² ·°C]	Temperature [°C]
1	0.	= 3.7e-005	= 22.
	7800.	3.7e-005	22.

FIGURE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection > Figure



Solution (A6)

TABLE 12
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 13
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No

Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 14

Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Result Charts

Object Name	<i>Temperature - Global Maximum</i>	<i>Temperature - Global Minimum</i>
State	Solved	
Definition		
Type	Temperature	
Suppressed	No	
Scope		
Scoping Method	Global Maximum	Global Minimum
Results		
Minimum	34.073 °C	26.423 °C
Maximum	217.03 °C	204.42 °C

FIGURE 11

Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Maximum

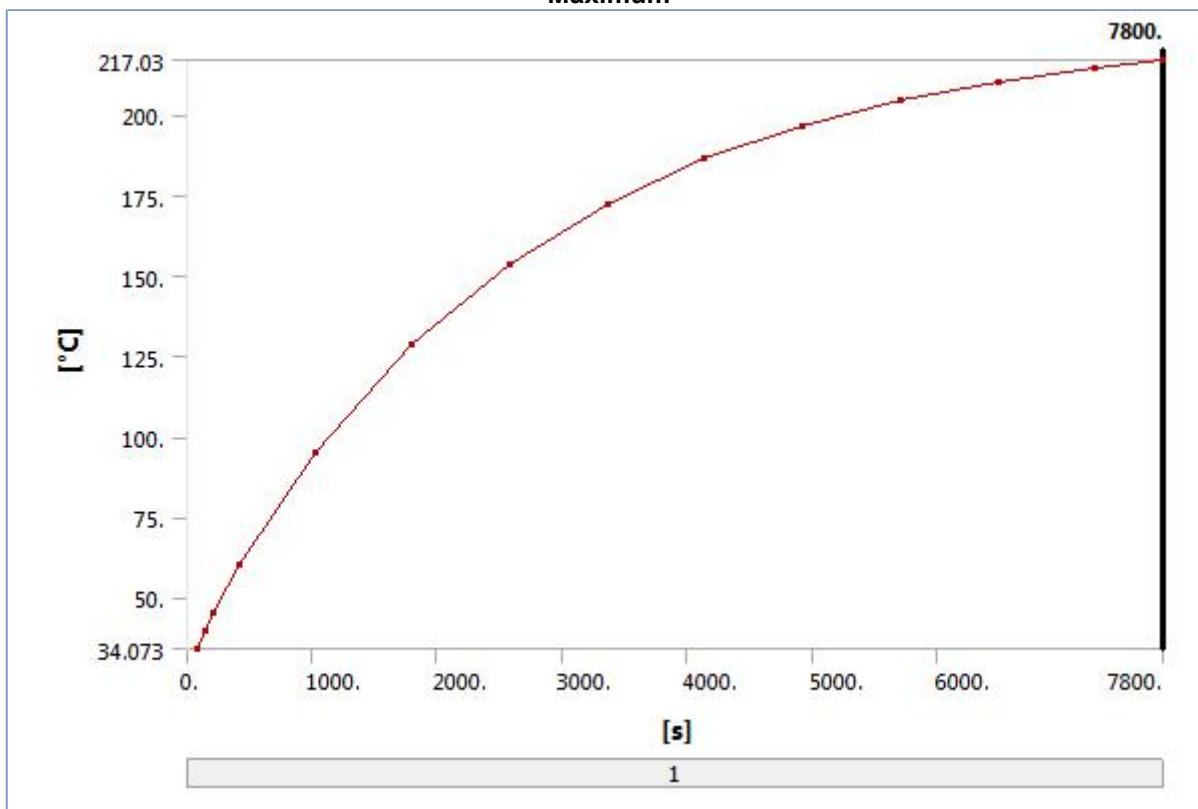


FIGURE 12

Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Minimum

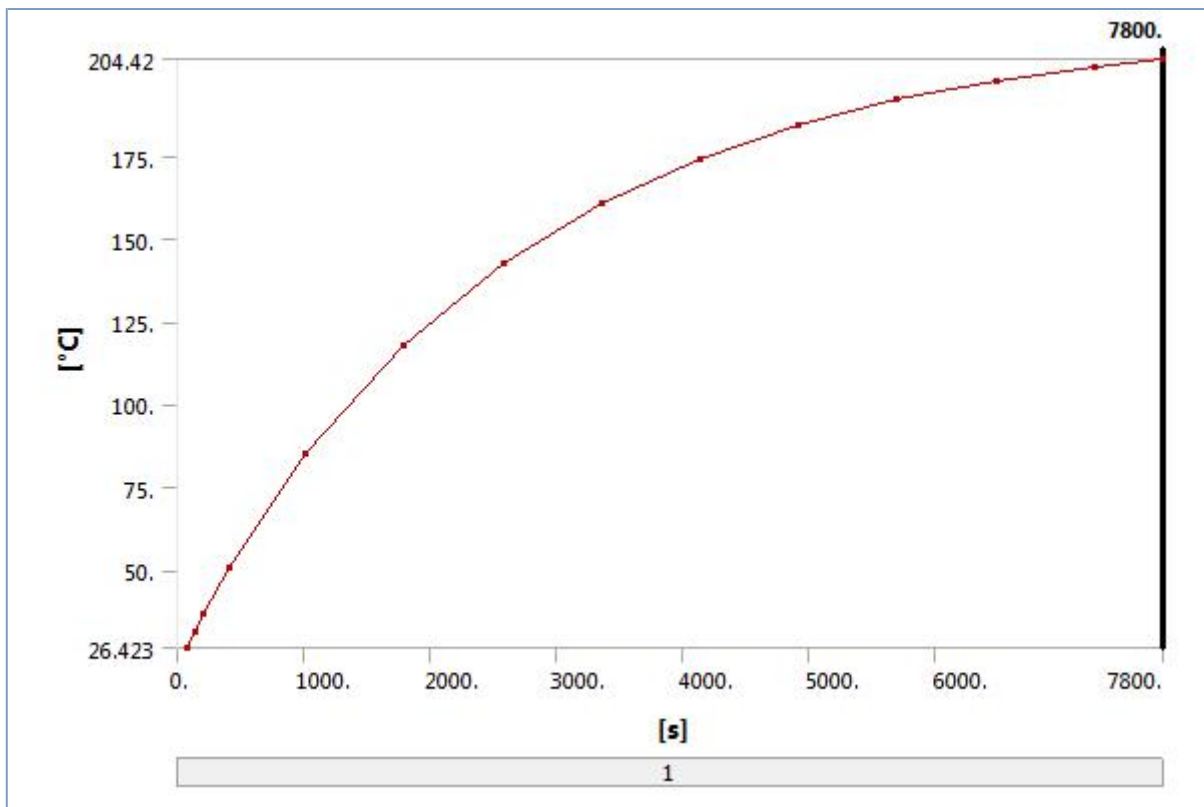


TABLE 15
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Temperature</i>
State	Solved
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Temperature
By	Time
Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
Minimum	204.42 °C
Maximum	217.03 °C
Minimum Value Over Time	
Minimum	26.423 °C
Maximum	204.42 °C
Maximum Value Over Time	
Minimum	34.073 °C
Maximum	217.03 °C
Information	
Time	7800. s
Load Step	1
Substep	14
Iteration Number	14

FIGURE 13
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

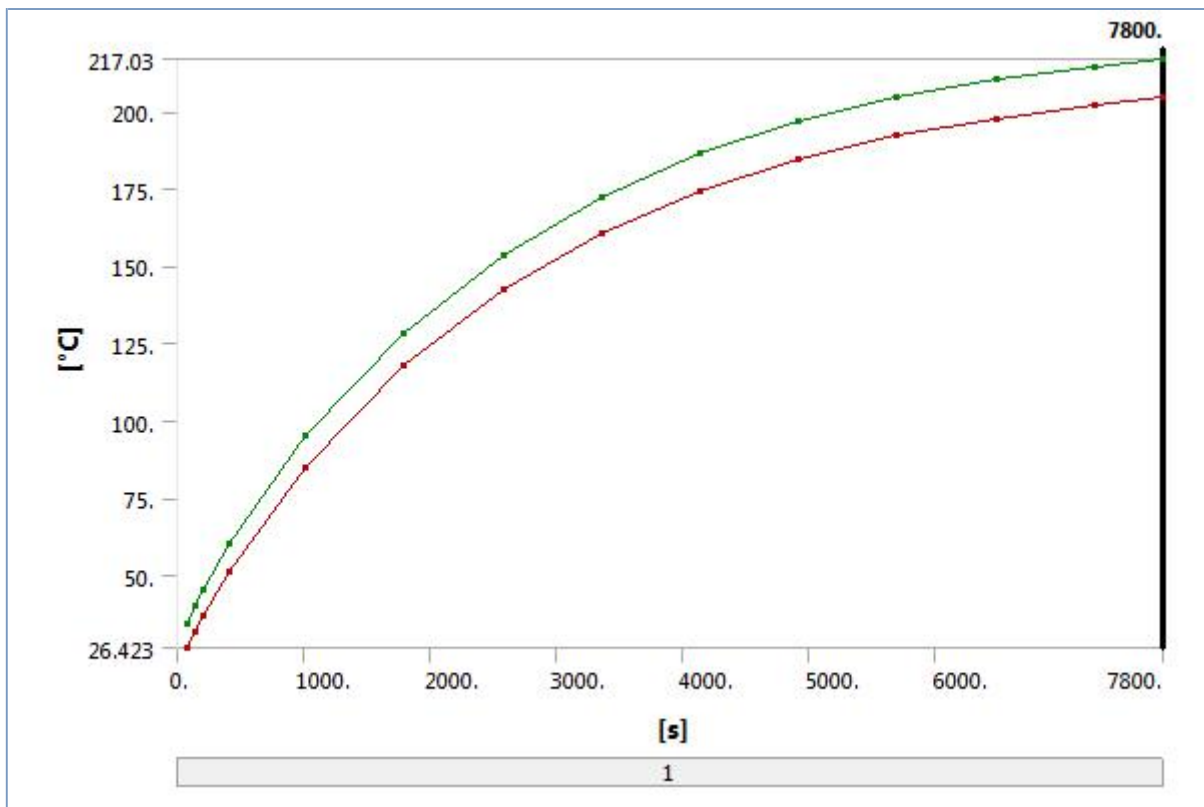


TABLE 16
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
78.	26.423	34.073
145.24	31.369	39.818
212.47	36.503	45.202
414.19	50.925	59.939
1019.3	85.079	94.892
1799.3	117.93	128.51
2579.3	142.44	153.59
3359.3	160.73	172.31
4139.3	174.37	186.27
4919.3	184.55	196.69
5699.3	192.15	204.47
6479.3	197.82	210.27
7259.3	202.05	214.6
7800.	204.42	217.03

FIGURE 14
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature > Figure

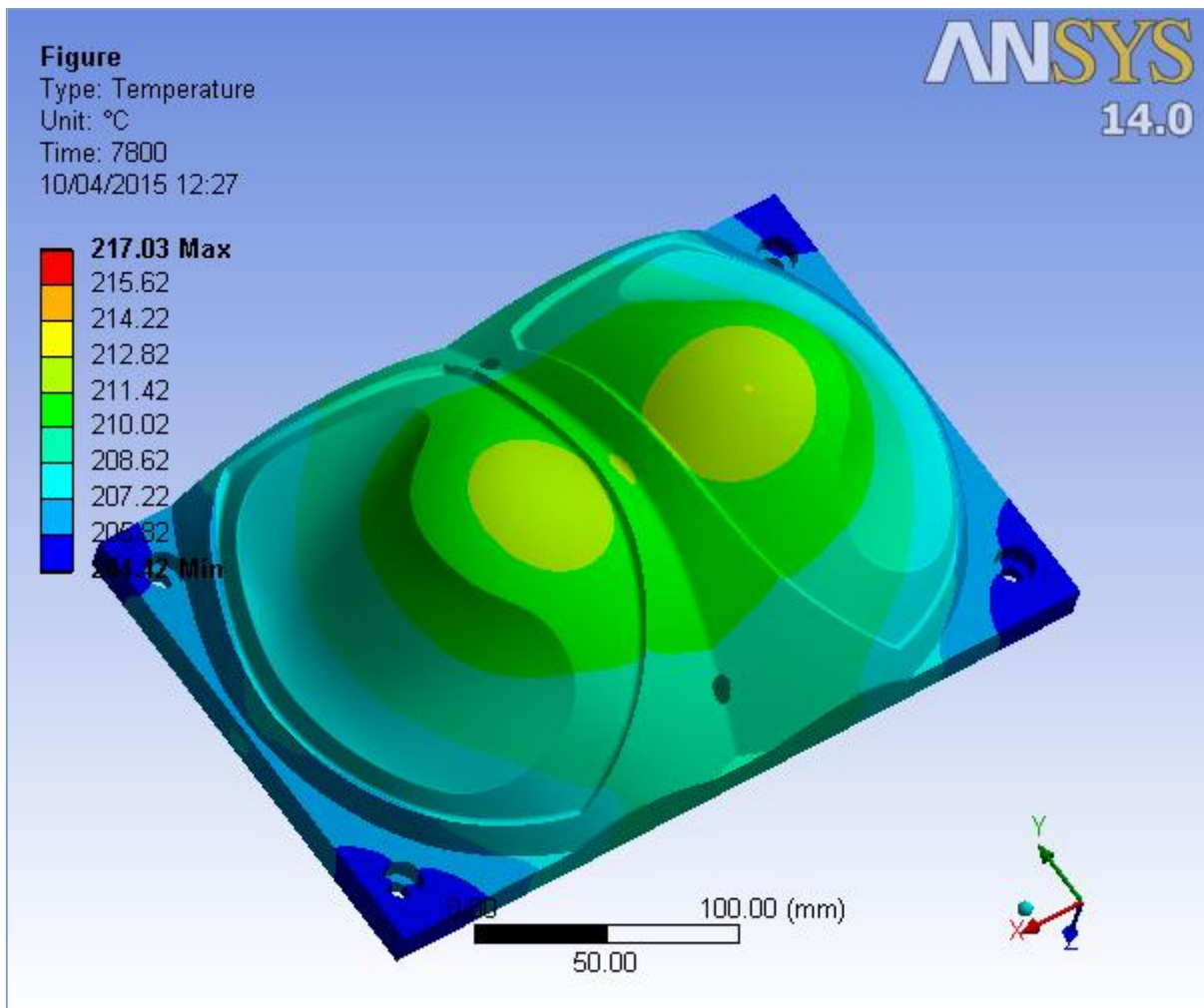


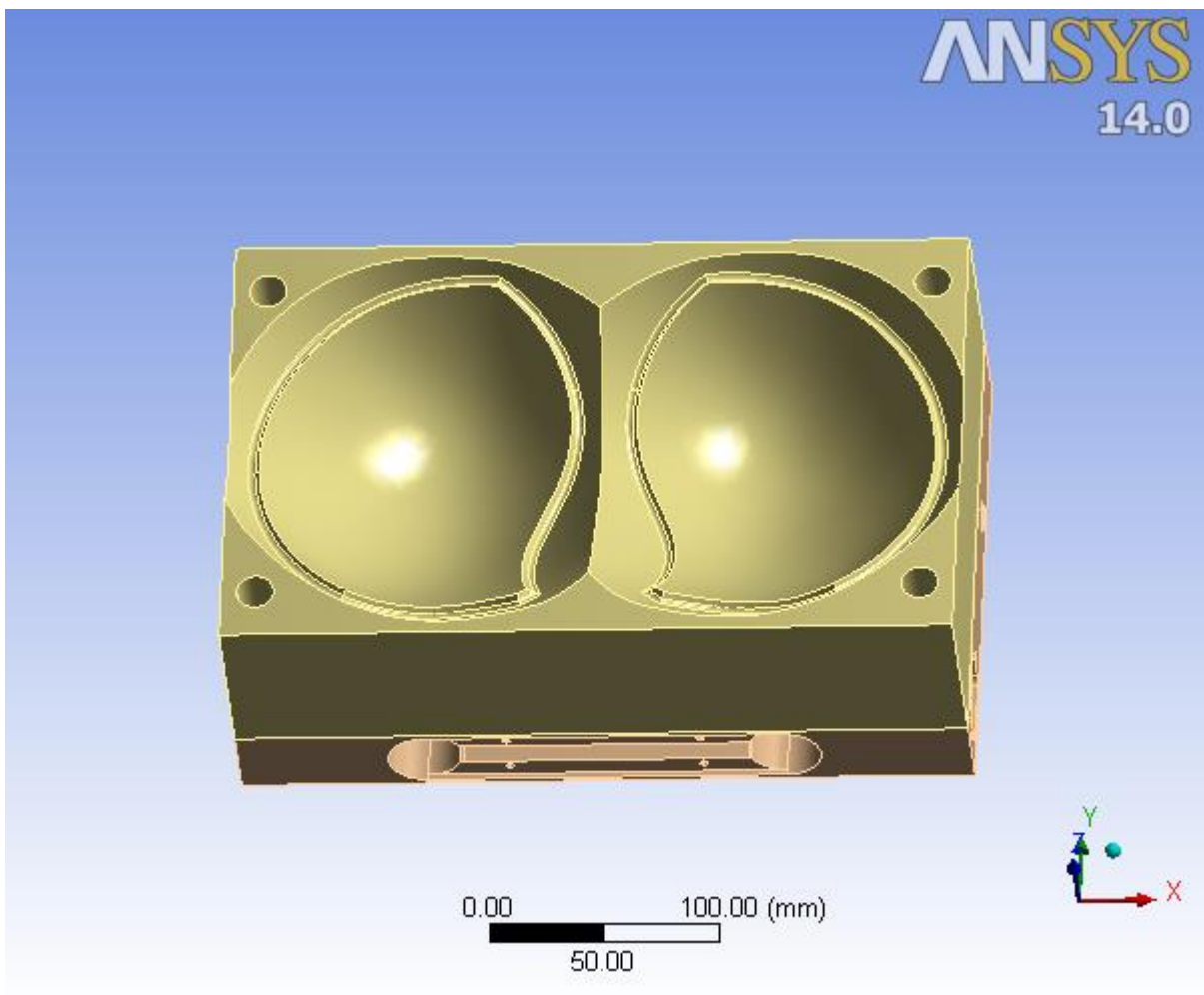
FIGURE 15
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature > Figure 2

ANEXO 6. Estudio ANSYS para talla 100, molde hembra
Estudio ANSYS para talla 100, molde macho



Project

First Saved	Wednesday, April 15, 2015
Last Saved	Wednesday, April 15, 2015
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
 - [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Region](#)
 - [Mesh](#)
 - [Transient Thermal \(A5\)](#)
 - [Initial Temperature](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Result Charts](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Aluminum](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\Desktop\ANSYS_MARÍA\ANSYS_MARIA_100\ANSYS_100_molde hembra_files\dp0\SYSDM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	320. mm
Length Y	200. mm
Length Z	174. mm
Properties	

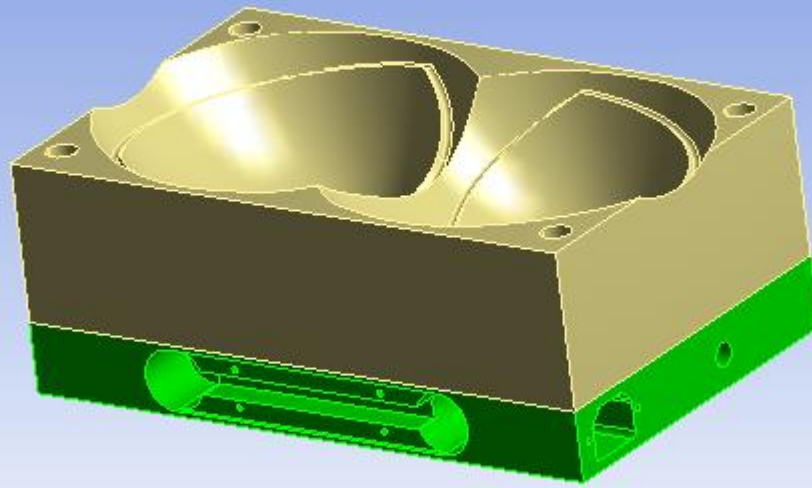
Volume	5.3973e+006 mm ³
Mass	14.513 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	3
Active Bodies	2
Nodes	703821
Elements	480157
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\pc\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Faces	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>placa_portamoldes_macho.v03</i>	<i>placa_portamoldes_macho.v03</i>	<i>molde_1560_talla100.131117</i>
State	Meshed	Suppressed	Meshed
Graphics Properties			
Visible	Yes	No	Yes
Transparency	1		1
Definition			
Suppressed	No	Yes	No
Stiffness Behavior	Flexible		
Coordinate System	Default Coordinate System		

Reference Temperature	By Environment		
Material			
Assignment	Aluminum	Structural Steel	Aluminum
Nonlinear Effects	Yes		
Thermal Strain Effects	Yes		
Bounding Box			
Length X	320. mm		
Length Y	200. mm		
Length Z	37. mm		83.001 mm
Properties			
Volume	2.1704e+006 mm ³		3.2269e+006 mm ³
Mass	5.8361 kg	17.037 kg	8.6771 kg
Centroid X	-3.0599 mm		-4.2844e-003 mm
Centroid Y	0.14974 mm		-8.6215 mm
Centroid Z	7.5121 mm	144.51 mm	57.263 mm
Moment of Inertia Ip1	18947 kg·mm ²	55312 kg·mm ²	42136 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	50571 kg·mm ²	1.4763e+005 kg·mm ²	89345 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	68112 kg·mm ²	1.9884e+005 kg·mm ²	1.2339e+005 kg·mm ²
Statistics			
Nodes	299168	0	404653
Elements	202624	0	277533
Mesh Metric	None		

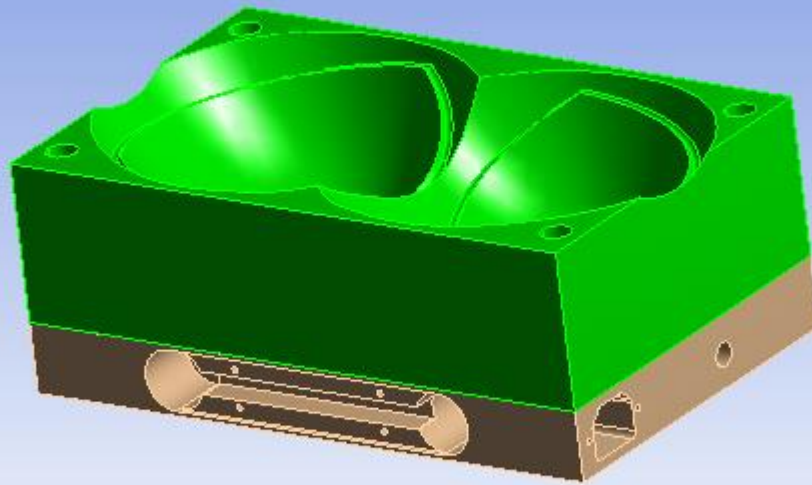
FIGURE 1
Model (A4) > Geometry > placa_portamoldes_macho.v03 > Figure



0.00 100.00 (mm)
50.00

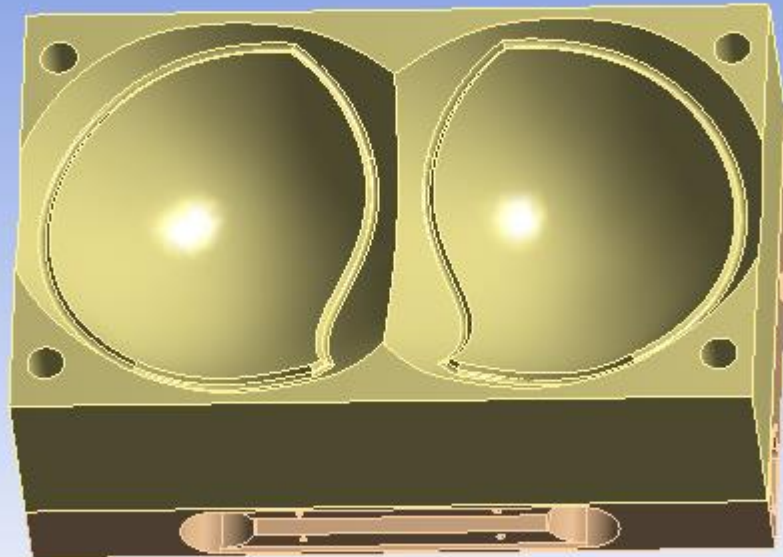


FIGURE 2
Model (A4) > Geometry > molde_1560_talla100.131117 > Figure



0.00 100.00 (mm)
50.00

FIGURE 3
Model (A4) > Geometry > Figure



Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. mm
Origin Y	0. mm
Origin Z	0. mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

Connections

TABLE 5
Model (A4) > Connections

Object Name	Connections
-------------	-------------

State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	1.0389 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 7
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region</i>
State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Contact	1 Face
Target	1 Face
Contact Bodies	placa_portamoldes_macho.v03
Target Bodies	molde_1560_talla100.131117
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Thermal Conductance	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled

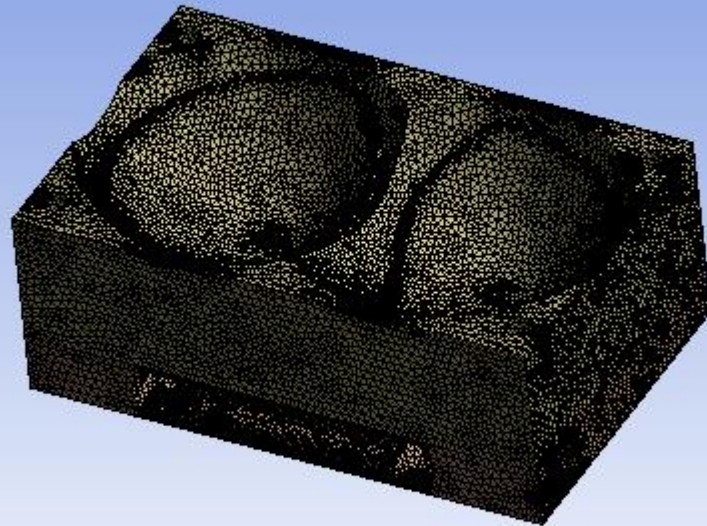
Mesh

TABLE 8
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
-------------	-------------

State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Proximity Accuracy	0.5
Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Min Size	2.0 mm
Max Face Size	5.0 mm
Max Size	5.0 mm
Growth Rate	Default (1.850)
Minimum Edge Length	8.0082e-003 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Default (1.80 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default (1.0 mm)
Statistics	
Nodes	703821
Elements	480157
Mesh Metric	None

FIGURE 4
Model (A4) > Mesh > Figure



0.00 100.00 200.00 (mm)



Transient Thermal (A5)

TABLE 9
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Transient Thermal (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Thermal
Analysis Type	Transient
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Initial Condition

Object Name	<i>Initial Temperature</i>
State	Fully Defined
Definition	
Initial Temperature	Uniform Temperature
Initial Temperature Value	22. °C

TABLE 11
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Analysis Settings

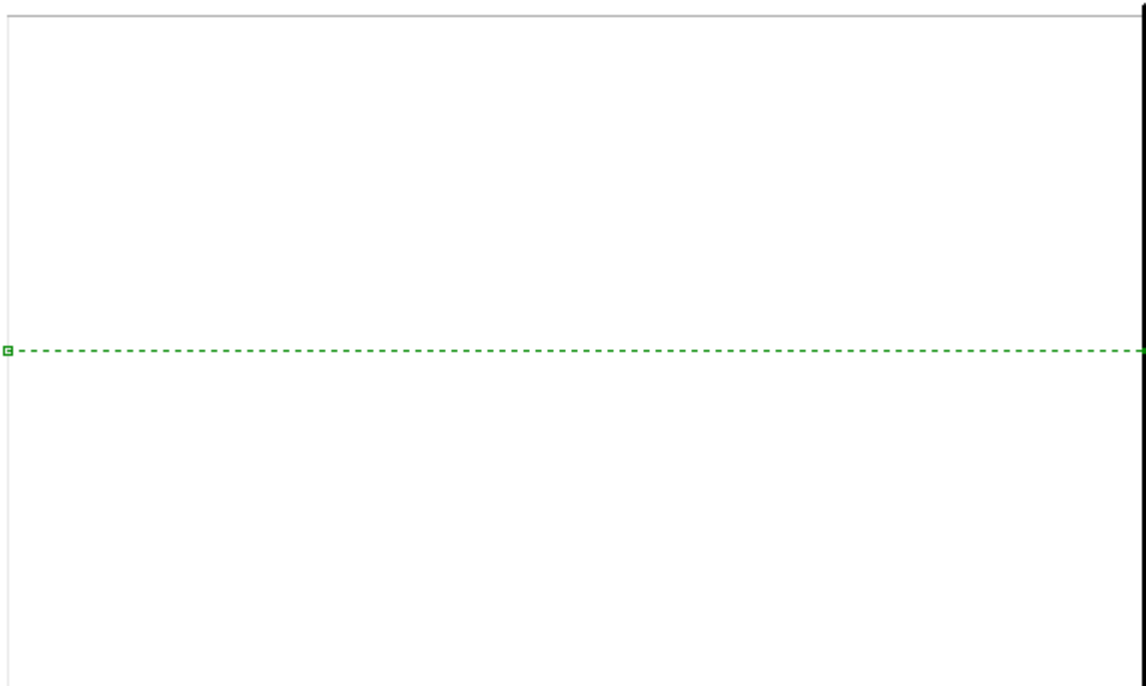
Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	6600. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Initial Time Step	66. s
Minimum Time Step	6.6 s
Maximum Time Step	660. s
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Radiosity Controls	
Flux Convergence	1.e-004
Maximum Iteration	1000.
Solver Tolerance	0.1
Over Relaxation	0.1
Hemicube Resolution	10.
Nonlinear Controls	
Heat Convergence	Program Controlled
Temperature Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Nonlinear Formulation	Program Controlled
Output Controls	
Calculate Thermal Flux	Yes
General Miscellaneous	No
Calculate Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\Desktop\ANSYS_MARÍA\ANSYS_MARIA_100\ANSYS_100_molde_hembra_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System

Solver Unit System	nmm
--------------------	-----

TABLE 12
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Loads

Object Name	<i>Convection</i>	<i>Heat Flow</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	8 Faces	27 Faces
Definition		
Type	Convection	Heat Flow
Film Coefficient	1.e-005 W/mm ² ·°C (step applied)	
Ambient Temperature	22. °C (step applied)	
Suppressed	No	
Define As		Heat Flow
Magnitude		500. W (step applied)

FIGURE 5
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection



6600.

1

TABLE 13
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection

Steps	Time [s]	Convection Coefficient [W/mm ² ·°C]	Temperature [°C]
1	0.	= 1.e-005	= 22.
	6600.	1.e-005	22.

FIGURE 6
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection > Figure

A: Transient Thermal

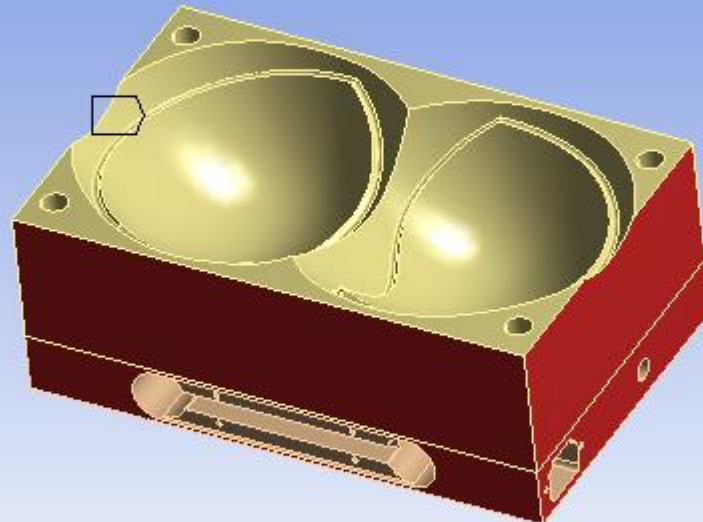
Figure

Time: 6600. s

15/04/2015 12:16

ANSYS
14.0

Convection: 22. °C, 1.e-005 W/mm².°C



0.00 100.00 200.00 (mm)



FIGURE 7
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow

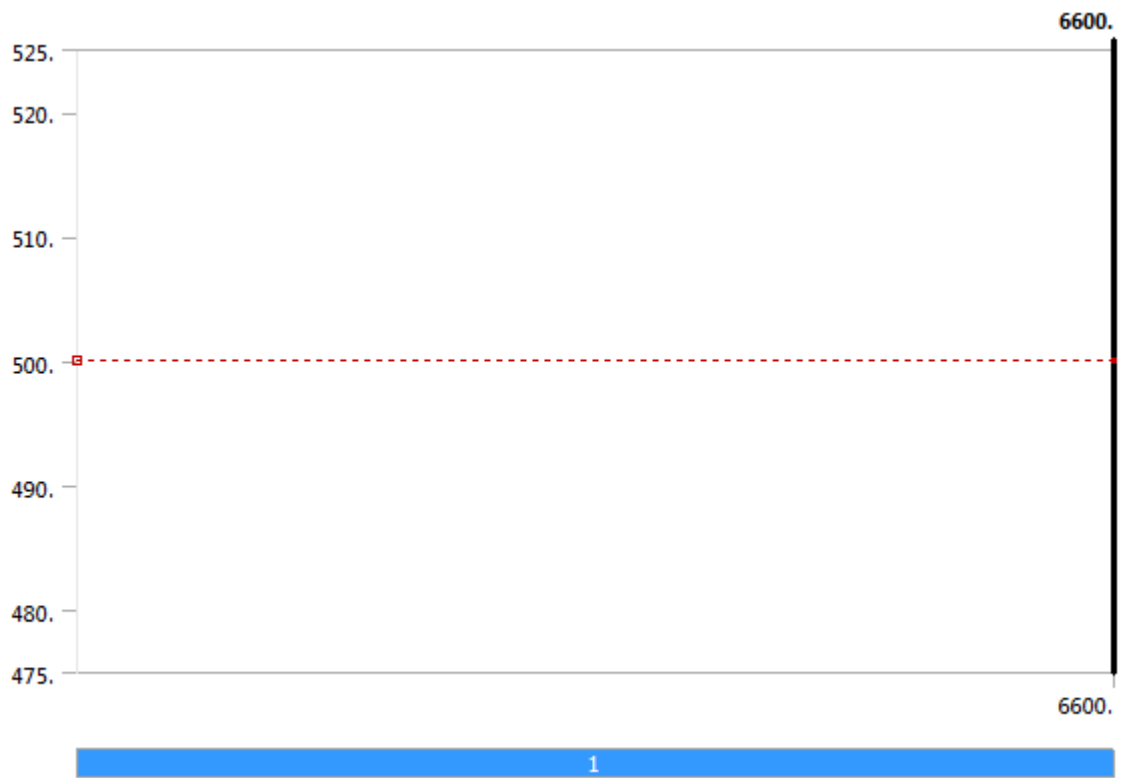


FIGURE 8
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow > Figure

A: Transient Thermal

Figure
Time: 6600. s
15/04/2015 12:16

Heat Flow: 500. W



Solution (A6)

TABLE 14
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 15
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors

Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 16
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Result Charts

Object Name	<i>Temperature - Global Maximum</i>	<i>Temperature - Global Minimum</i>
State	Solved	
Definition		
Type	Temperature	
Suppressed	No	
Scope		
Scoping Method	Global Maximum	Global Minimum
Results		
Minimum	30.417 °C	23.298 °C
Maximum	208.94 °C	199.11 °C

FIGURE 9
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Maximum

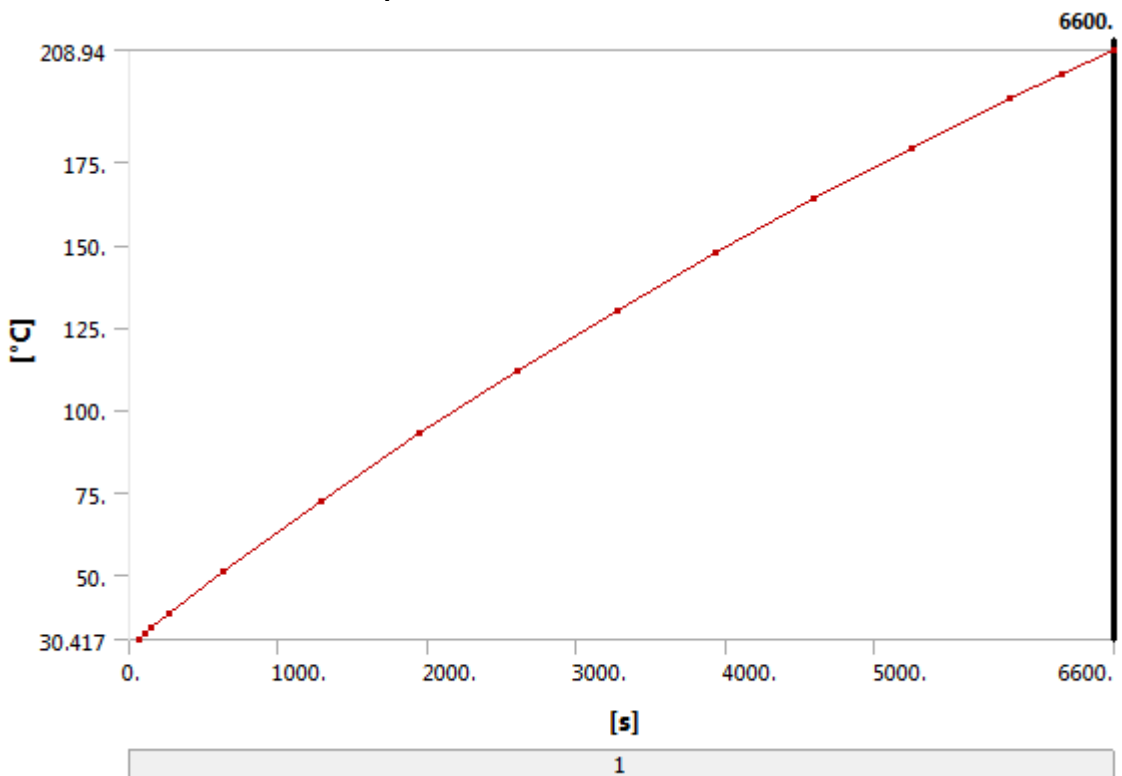


FIGURE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Minimum

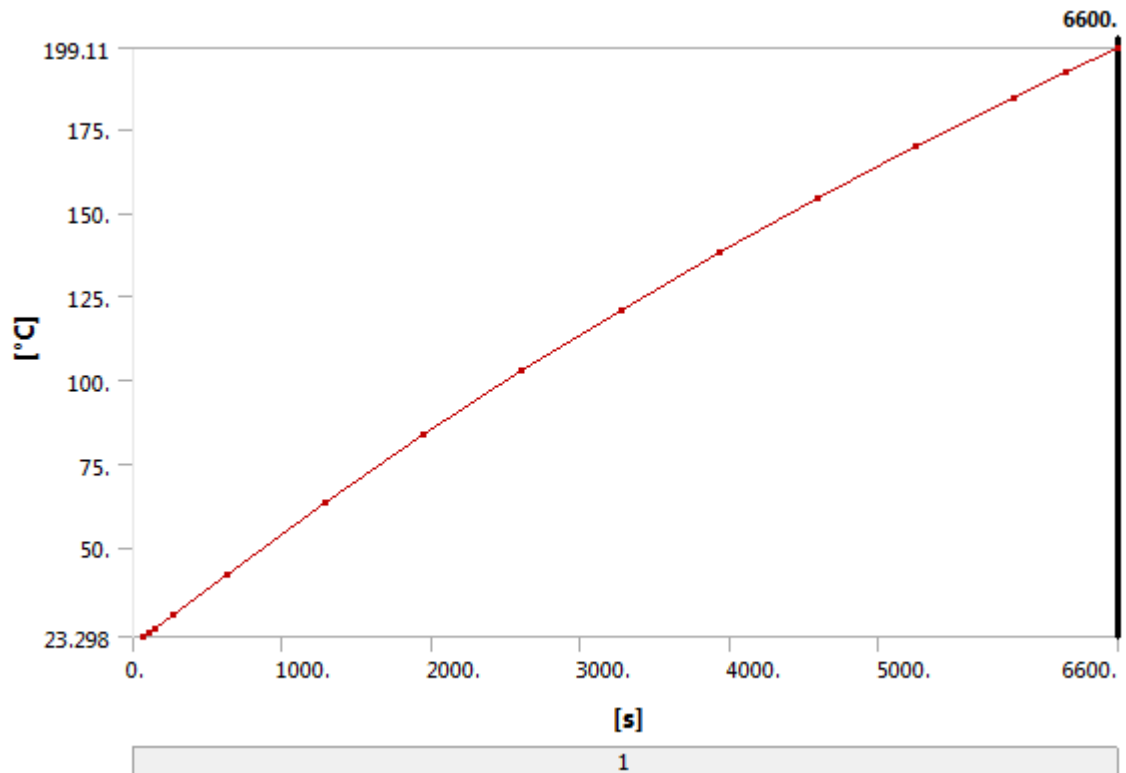


TABLE 17
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	Temperature	Temperature 2
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Temperature	
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	199.11 °C	
Maximum	208.94 °C	
Minimum Occurs On	molde_1560_talla100.131117	
Maximum Occurs On	placa_portamoldes_macho.v03	
Minimum Value Over Time		
Minimum	23.298 °C	
Maximum	199.11 °C	
Maximum Value Over Time		
Minimum	30.417 °C	
Maximum	208.94 °C	
Information		
Time	6600. s	
Load Step	1	
Substep	15	

Iteration Number	15
------------------	----

FIGURE 11
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

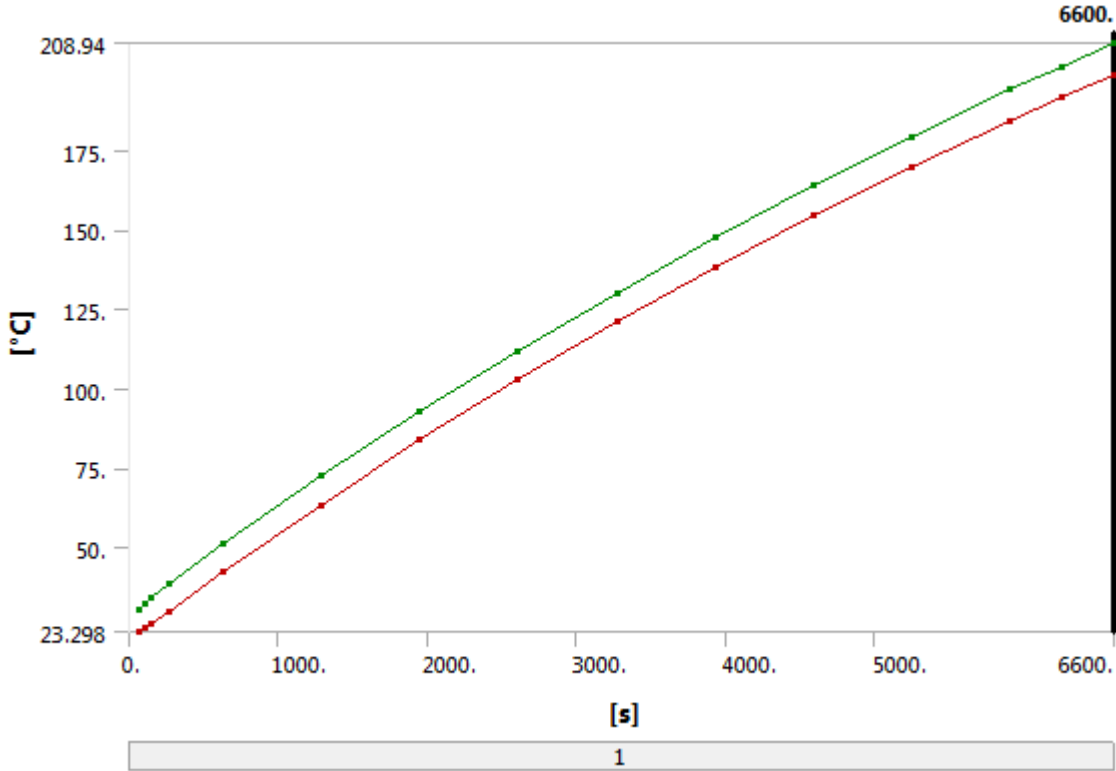


TABLE 18
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
66.	23.298	30.417
106.1	24.395	32.372
146.19	25.646	33.967
266.48	29.726	38.352
627.34	42.003	50.821
1287.3	63.374	72.344
1947.3	83.62	92.719
2607.3	102.79	112.01
3267.3	120.95	130.28
3927.3	138.14	147.59
4587.3	154.42	163.97
5247.3	169.84	179.48
5907.3	184.44	194.18
6253.7	191.88	201.66
6600.	199.11	208.94

FIGURE 12
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature > Figure

A: Transient Thermal

Figure
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 6600
15/04/2015 12:16

ANSYS
14.0

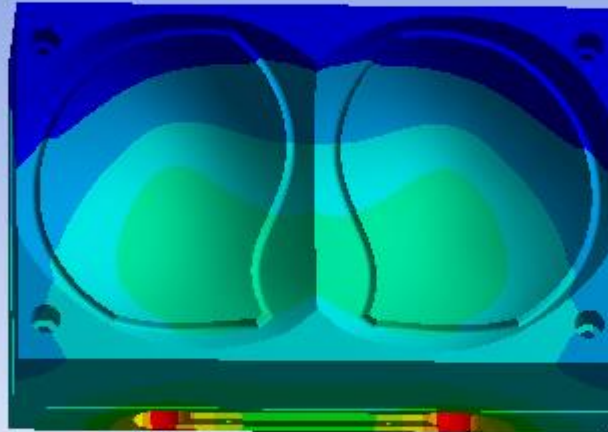
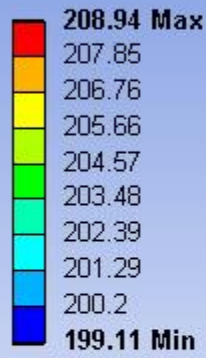


FIGURE 13
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature 2

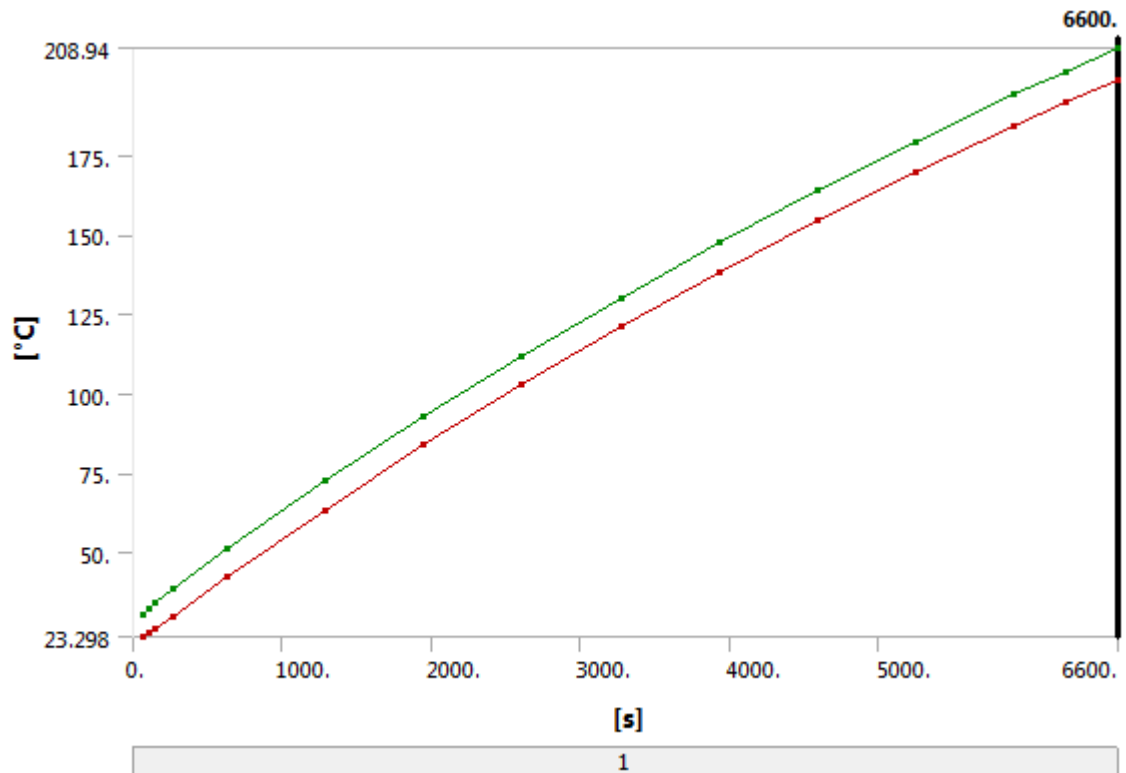
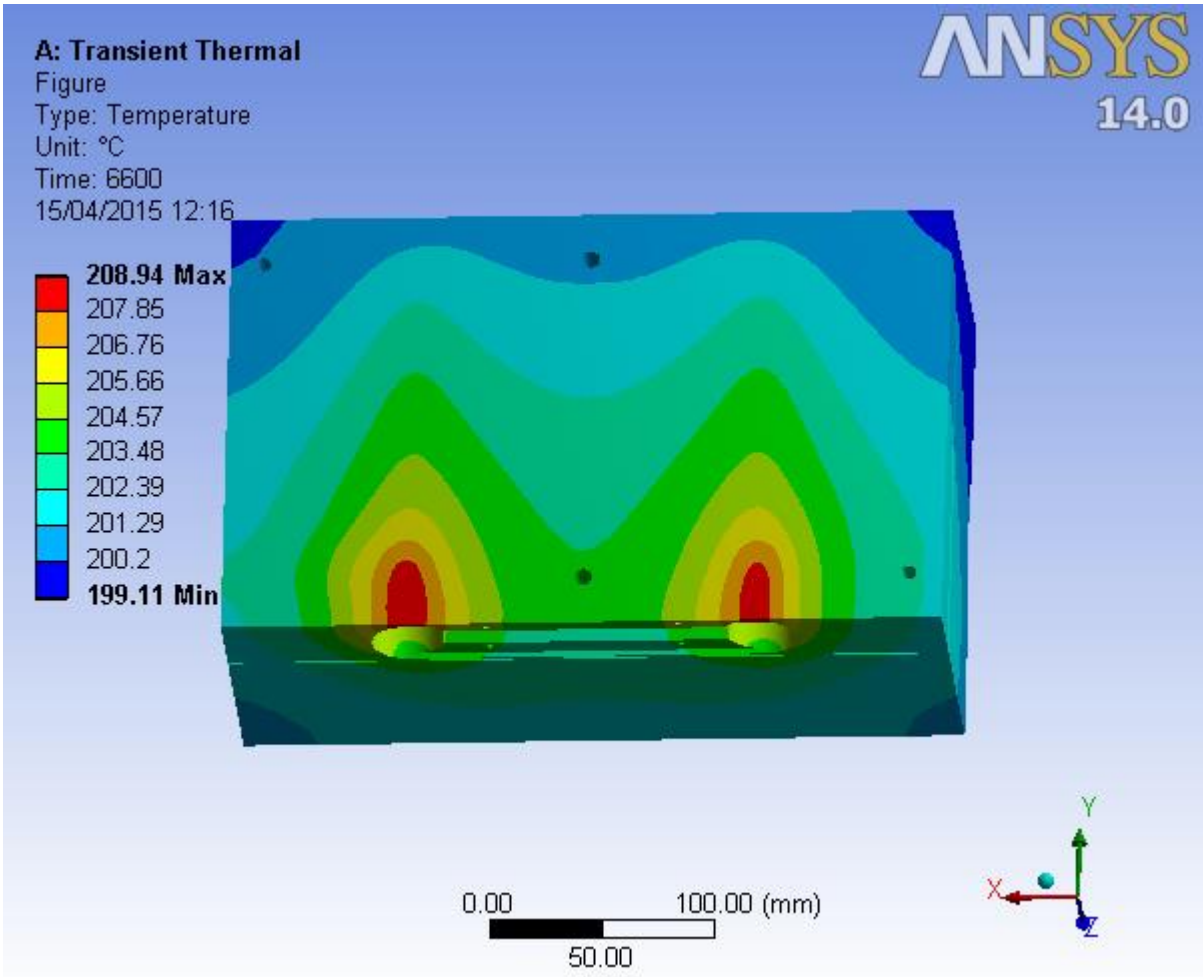


TABLE 19
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature 2

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
66.	23.298	30.417
106.1	24.395	32.372
146.19	25.646	33.967
266.48	29.726	38.352
627.34	42.003	50.821
1287.3	63.374	72.344
1947.3	83.62	92.719
2607.3	102.79	112.01
3267.3	120.95	130.28
3927.3	138.14	147.59
4587.3	154.42	163.97
5247.3	169.84	179.48
5907.3	184.44	194.18
6253.7	191.88	201.66
6600.	199.11	208.94

FIGURE 14
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature 2 > Figure



Material Data

Aluminum

TABLE 20
Aluminum > Constants

Thermal Conductivity	0.2375 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Density	2.689e-006 kg mm ⁻³
Specific Heat	9.51e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹

Structural Steel

TABLE 21
Structural Steel > Constants

Density	7.85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

TABLE 22
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0

TABLE 23
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
250

TABLE 24
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250

TABLE 25
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460

TABLE 26
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 27
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

TABLE 28
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

TABLE 29
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923

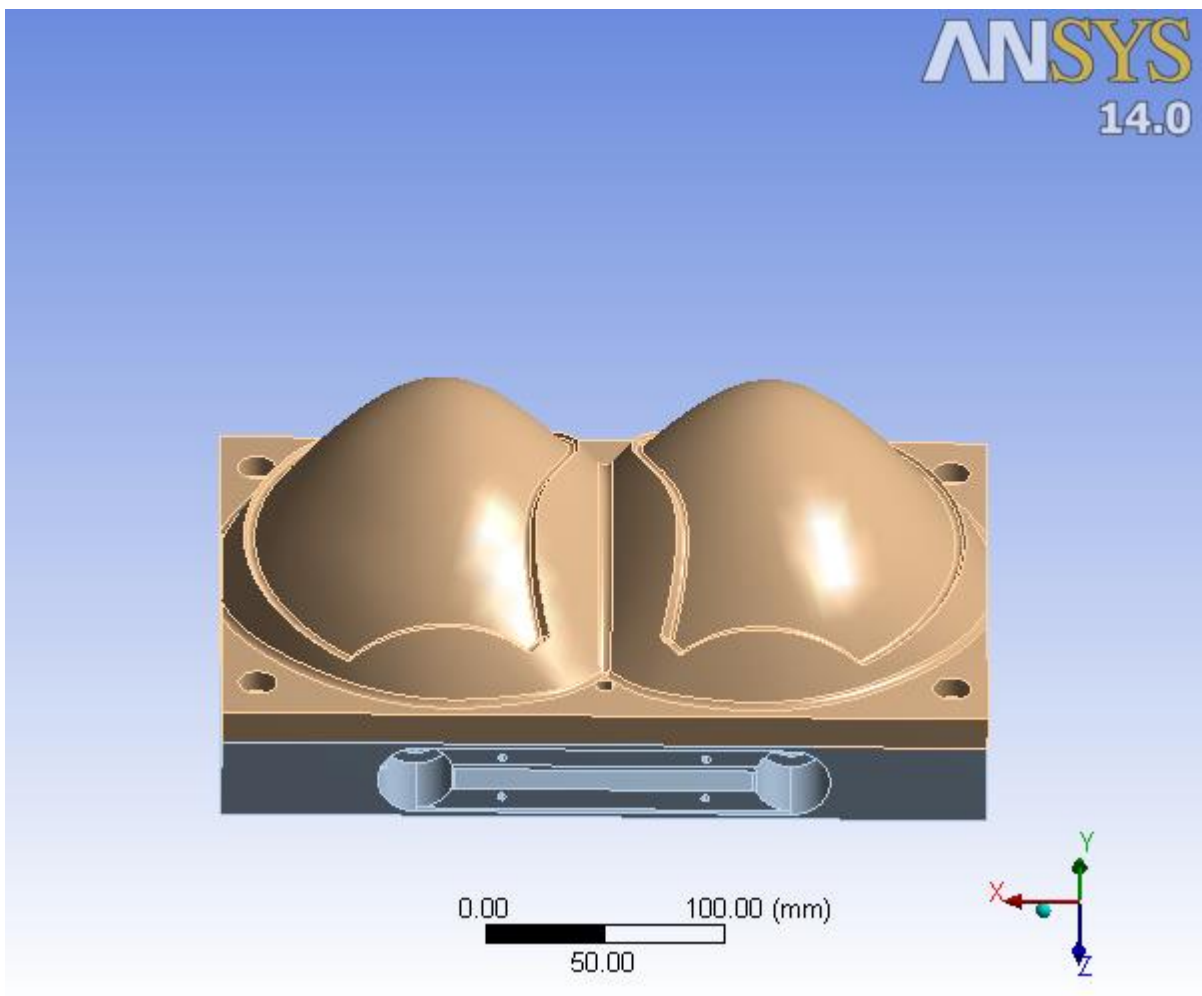
TABLE 30
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability



Project

First Saved	Wednesday, April 15, 2015
Last Saved	Wednesday, April 15, 2015
Product Version	14.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Transient Thermal \(A5\)](#)
 - [Initial Temperature](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(A6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Result Charts](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Aluminum](#)
 - [Structural Steel](#)

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (A4)

Geometry

TABLE 2
Model (A4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
Definition	
Source	D:\Desktop\ANSYS_MARÍA\ANSYS_MARIA_100\ANSYS_100_MOLDE_MACHO_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	320. mm
Length Y	200. mm
Length Z	174. mm

Properties	
Volume	7.2467e+006 mm ³
Mass	30.688 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	4
Active Bodies	3
Nodes	957637
Elements	654634
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\pc\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Faces	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>placa_portamoldes_macho.v03</i>	<i>placa_portamoldes_macho.v03</i>	<i>molde_1560_talla10.0.131117-1</i>	<i>molde_1560_talla100.131117</i>
State	Hidden	Meshed	Suppressed	Meshed
Graphics Properties				
Visible	No	Yes	No	Yes
Transparency		1		1
Definition				
Suppressed	No		Yes	No
Stiffness Behavior	Flexible			

Coordinate System	Default Coordinate System			
Reference Temperature	By Environment			
Material				
Assignment	Aluminum	Structural Steel		Aluminum
Nonlinear Effects	Yes			
Thermal Strain Effects	Yes			
Bounding Box				
Length X	320. mm			
Length Y	200. mm			
Length Z	37. mm	83.001 mm	89.319 mm	
Properties				
Volume	2.1704e+006 mm ³		3.2269e+006 mm ³	2.9059e+006 mm ³
Mass	5.8361 kg	17.037 kg	25.331 kg	7.814 kg
Centroid X	-3.0599 mm		-4.2844e-003 mm	-3.6879e-003 mm
Centroid Y	0.14974 mm		-8.6215 mm	-1.4058 mm
Centroid Z	7.5121 mm	144.51 mm	57.263 mm	96.844 mm
Moment of Inertia Ip1	18947 kg·mm ²	55312 kg·mm ²	1.2301e+005 kg·mm ²	19927 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip2	50571 kg·mm ²	1.4763e+005 kg·mm ²	2.6083e+005 kg·mm ²	57558 kg·mm ²
Moment of Inertia Ip3	68112 kg·mm ²	1.9884e+005 kg·mm ²	3.6022e+005 kg·mm ²	70722 kg·mm ²
Statistics				
Nodes	298490	298875	0	360272
Elements	202148	202388	0	250098
Mesh Metric	None			

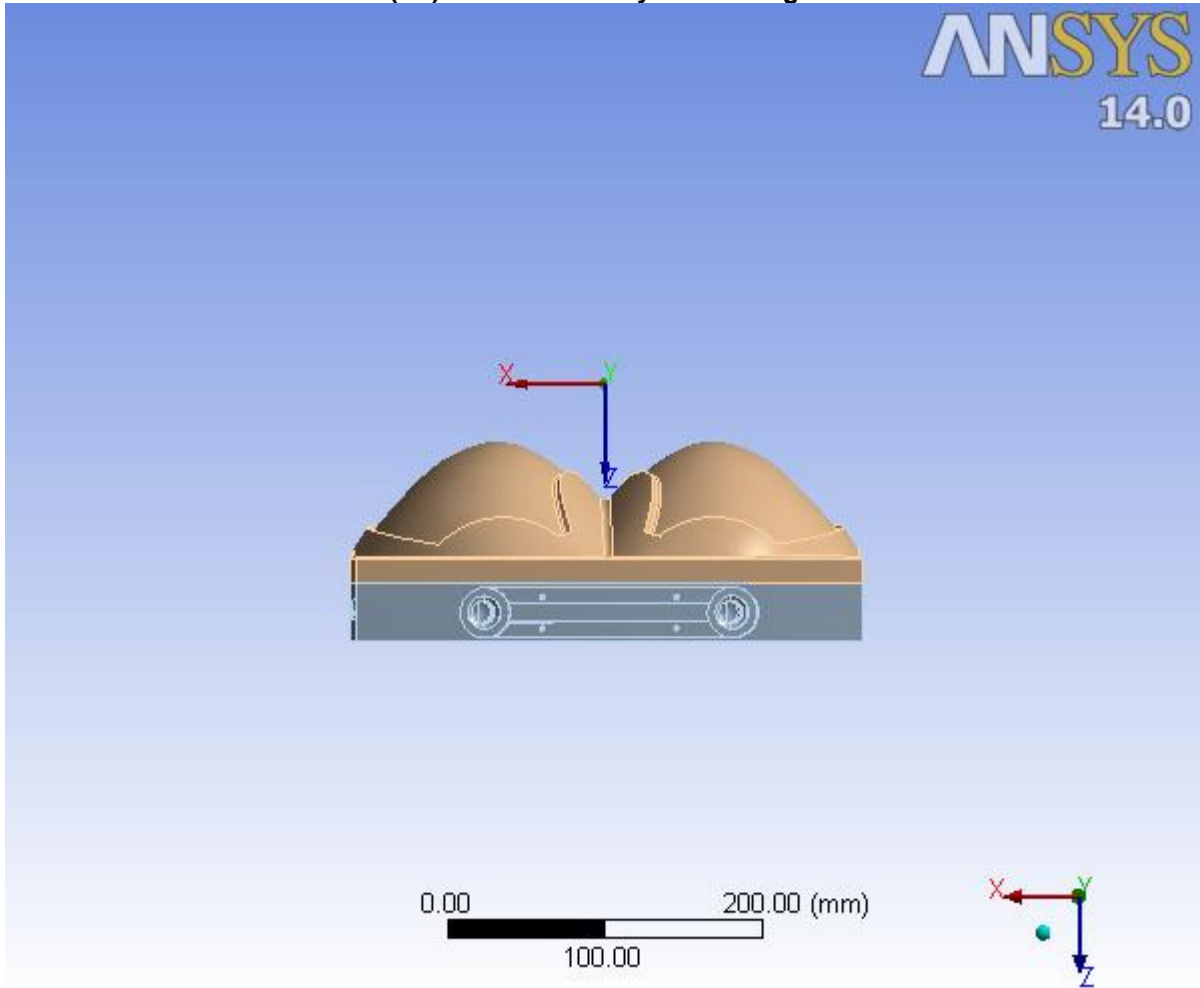
Coordinate Systems

TABLE 4
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. mm

Origin Y	0. mm
Origin Z	0. mm
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

FIGURE 1
Model (A4) > Coordinate Systems > Figure



Connections

TABLE 5
Model (A4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6
Model (A4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
-------------	-----------------

State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	1.0389 mm
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies

TABLE 7
Model (A4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	<i>Contact Region</i>	<i>Contact Region 2</i>
State	Suppressed	Fully Defined
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Contact	1 Face	
Target	No Selection	1 Face
Contact Bodies	placa_portamoldes_macho.v03	
Target Bodies	molde_1560_talla100.131117-1	molde_1560_talla100.131117
Definition		
Type	Bonded	
Scope Mode	Automatic	
Behavior	Program Controlled	
Suppressed	No	
Advanced		
Formulation	Program Controlled	
Detection Method	Program Controlled	
Thermal Conductance	Program Controlled	
Pinball Region	Program Controlled	

Mesh

TABLE 8
Model (A4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Sizing	
Use Advanced Size Function	On: Proximity
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly

Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Proximity Accuracy	0.5
Num Cells Across Gap	Default (3)
Proximity Min Size	2.0 mm
Max Face Size	5.0 mm
Max Size	5.0 mm
Growth Rate	Default (1.850)
Minimum Edge Length	8.0082e-003 mm
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Advanced	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Default (1.80 mm)
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default (1.0 mm)
Statistics	
Nodes	957637
Elements	654634
Mesh Metric	None

FIGURE 2
Model (A4) > Mesh > Figure

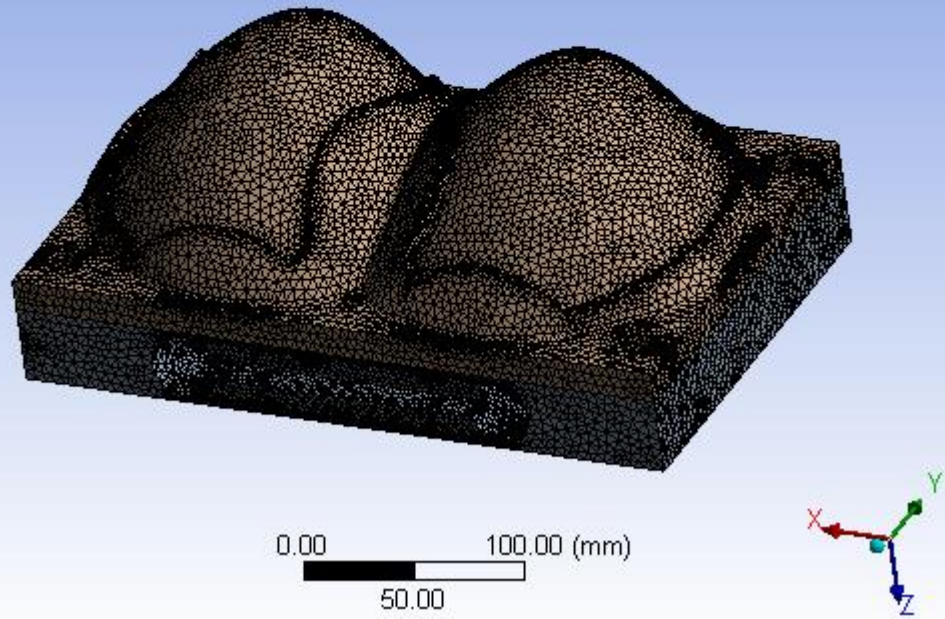
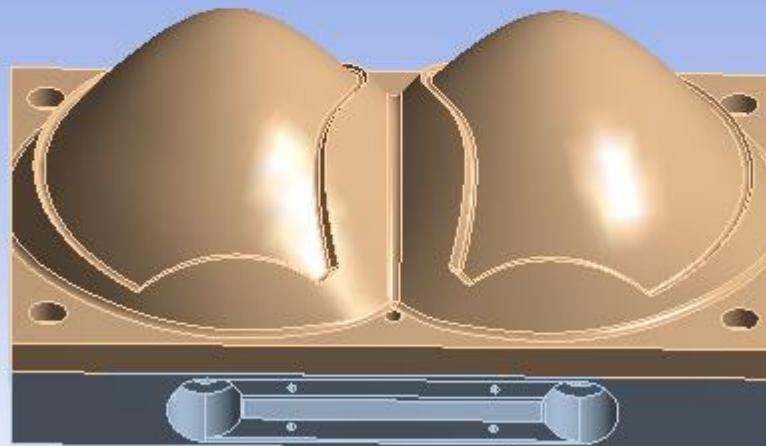
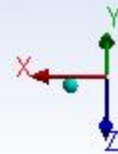


FIGURE 3
Model (A4) > Figure



0.00 100.00 (mm)
50.00



Transient Thermal (A5)

TABLE 9
Model (A4) > Analysis

Object Name	<i>Transient Thermal (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Thermal
Analysis Type	Transient
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Generate Input Only	No

TABLE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Initial Condition

Object Name	<i>Initial Temperature</i>
State	Fully Defined
Definition	
Initial Temperature	Uniform Temperature
Initial Temperature Value	22. °C

TABLE 11
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Analysis Settings

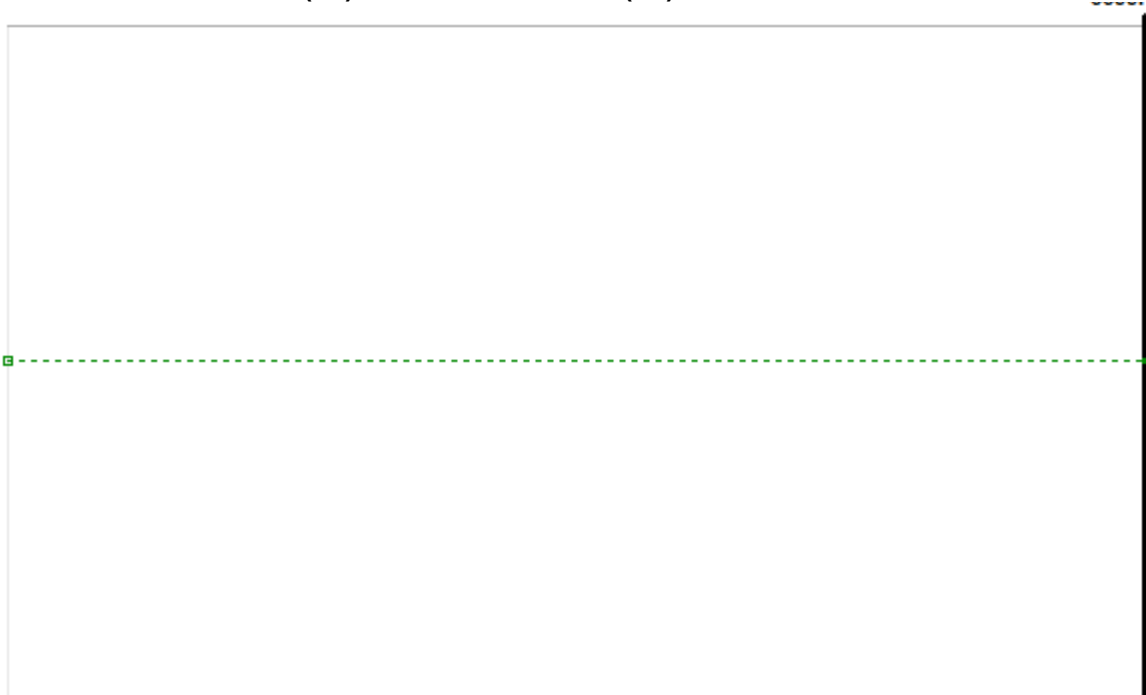
Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	6600. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Initial Time Step	66. s
Minimum Time Step	6.6 s
Maximum Time Step	660. s
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Radiosity Controls	
Flux Convergence	1.e-004
Maximum Iteration	1000.
Solver Tolerance	0.1
Over Relaxation	0.1
Hemicube Resolution	10.
Nonlinear Controls	
Heat Convergence	Program Controlled
Temperature Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Nonlinear Formulation	Program Controlled
Output Controls	
Calculate Thermal Flux	Yes
General Miscellaneous	No
Calculate Results At	All Time Points
Max Number of Result Sets	Program Controlled
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\Desktop\ANSYS_MARÍA\ANSYS_MARIA_100\ANSYS_100_MOLDE_MACHO_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes

Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

TABLE 12
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Loads

Object Name	<i>Convection</i>	<i>Heat Flow</i>	<i>Convection 2</i>
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	8 Faces	26 Faces	6 Faces
Definition			
Type	Convection	Heat Flow	Convection
Film Coefficient	1.e-005 W/mm ² .°C (step applied)		2.e-006 W/mm ² .°C (step applied)
Ambient Temperature	22. °C (step applied)		22. °C (step applied)
Suppressed	No		
Define As		Heat Flow	
Magnitude		500. W (step applied)	

FIGURE 4
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection



6600.

TABLE 13
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection

Steps	Time [s]	Convection Coefficient [W/mm ² .°C]	Temperature [°C]
1	0.	= 1.e-005	= 22.

6600.	1.e-005	22.
-------	---------	-----

FIGURE 5
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection > Figure

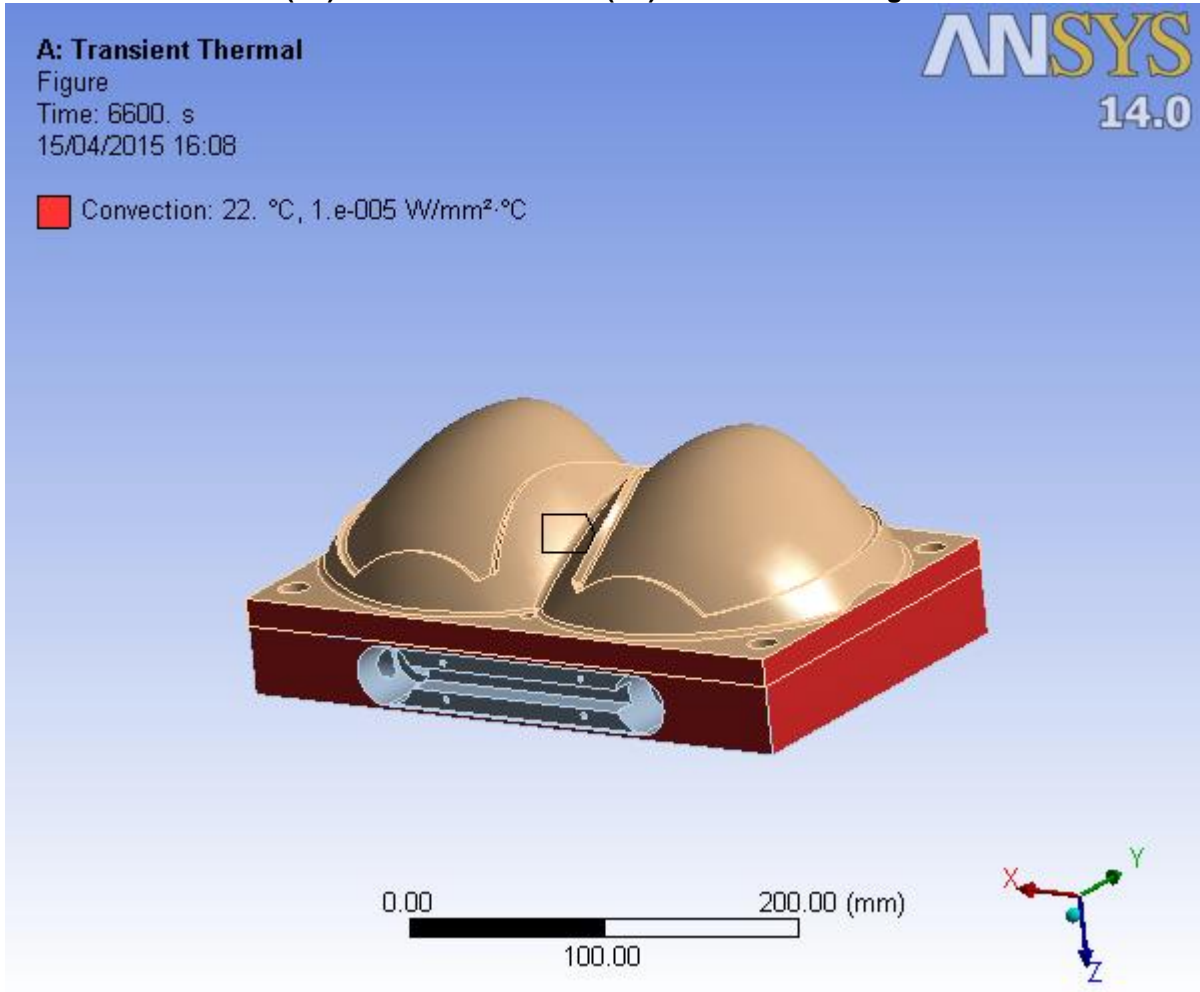


FIGURE 6
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow

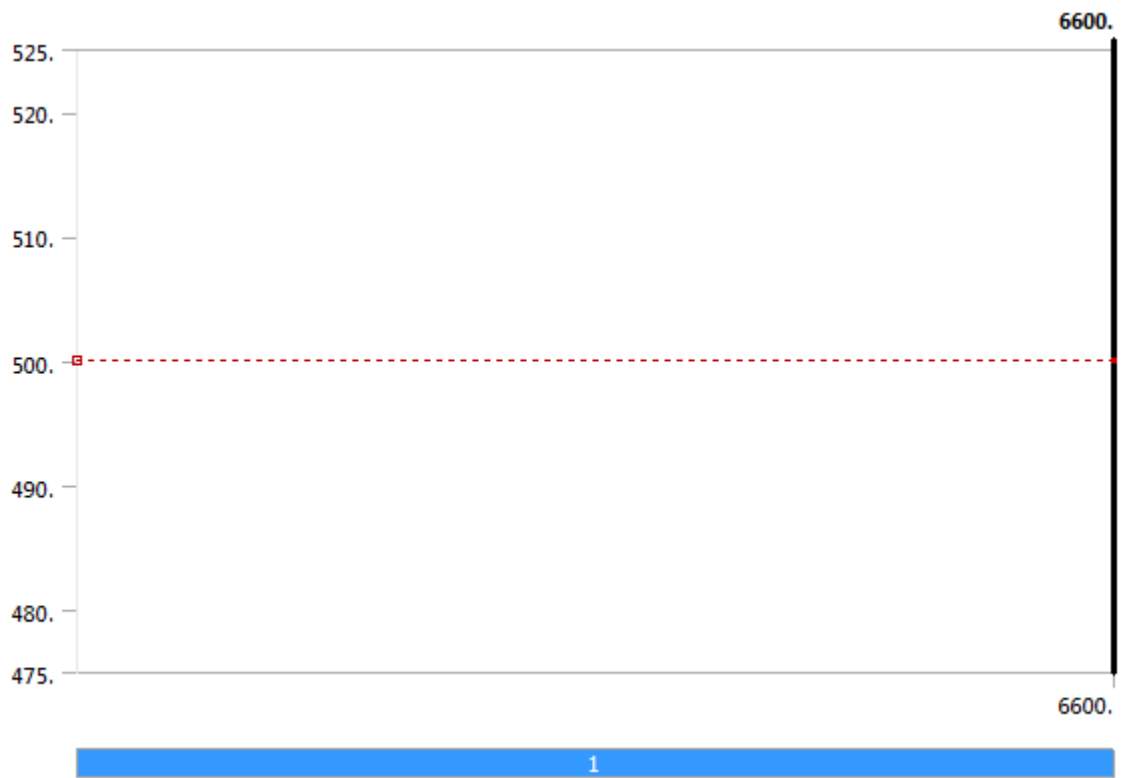


FIGURE 7
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Heat Flow > Figure

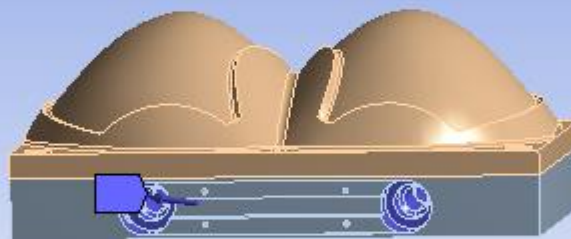
A: Transient Thermal

Figure

Time: 6600. s

15/04/2015 16:08

Heat Flow: 500. W



0.00 200.00 (mm)
100.00

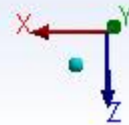


FIGURE 8
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2

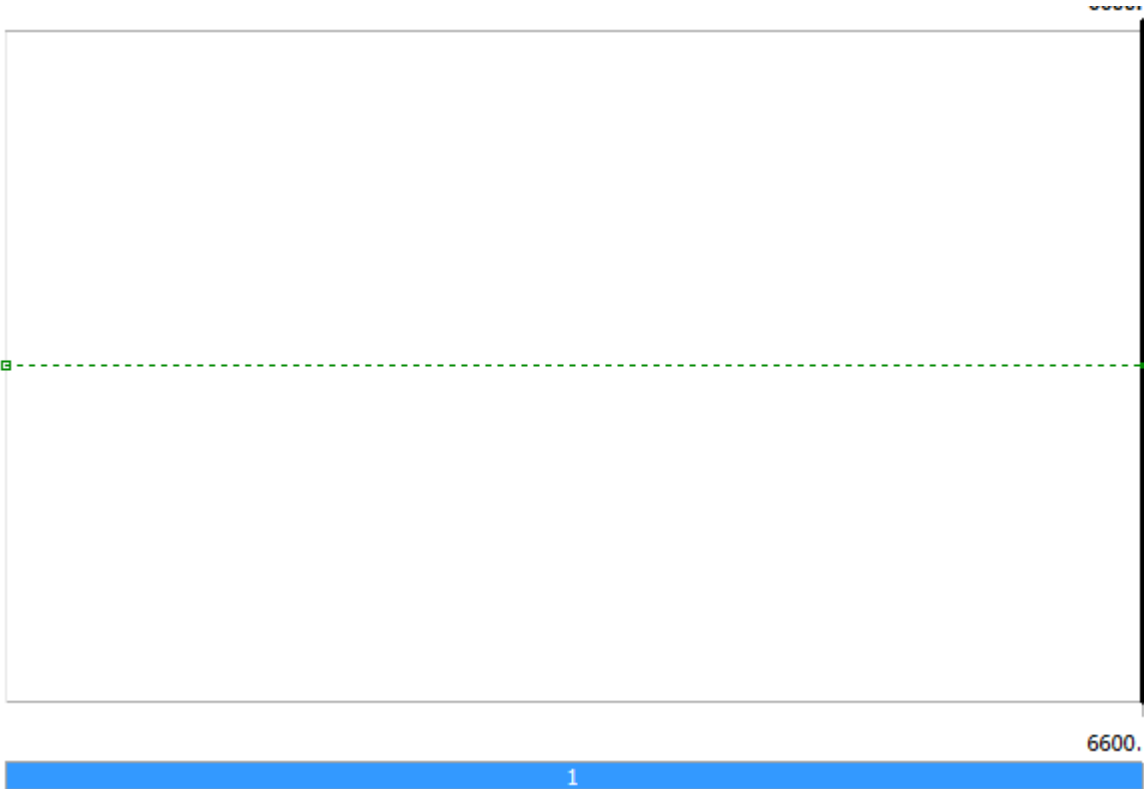


TABLE 14
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2

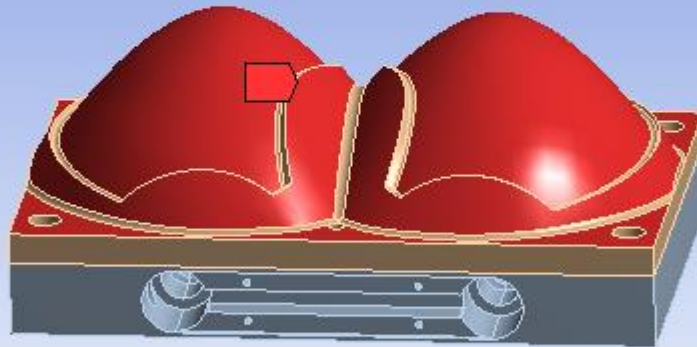
Steps	Time [s]	Convection Coefficient [W/mm ² . °C]	Temperature [°C]
1	0.	= 2.e-006	= 22.
	6600.	2.e-006	22.

FIGURE 9
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Convection 2 > Figure

A: Transient Thermal

Figure
Time: 6600. s
15/04/2015 16:08

■ Convection 2: 22. °C, 2.e-006 W/mm².°C



Solution (A6)

TABLE 15
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done

TABLE 16
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors

Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 17
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Result Charts

Object Name	<i>Temperature - Global Maximum</i>	<i>Temperature - Global Minimum</i>
State	Solved	
Definition		
Type	Temperature	
Suppressed	No	
Scope		
Scoping Method	Global Maximum	Global Minimum
Results		
Minimum	41.53 °C	22. °C
Maximum	236.6 °C	22. °C

FIGURE 10
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Maximum

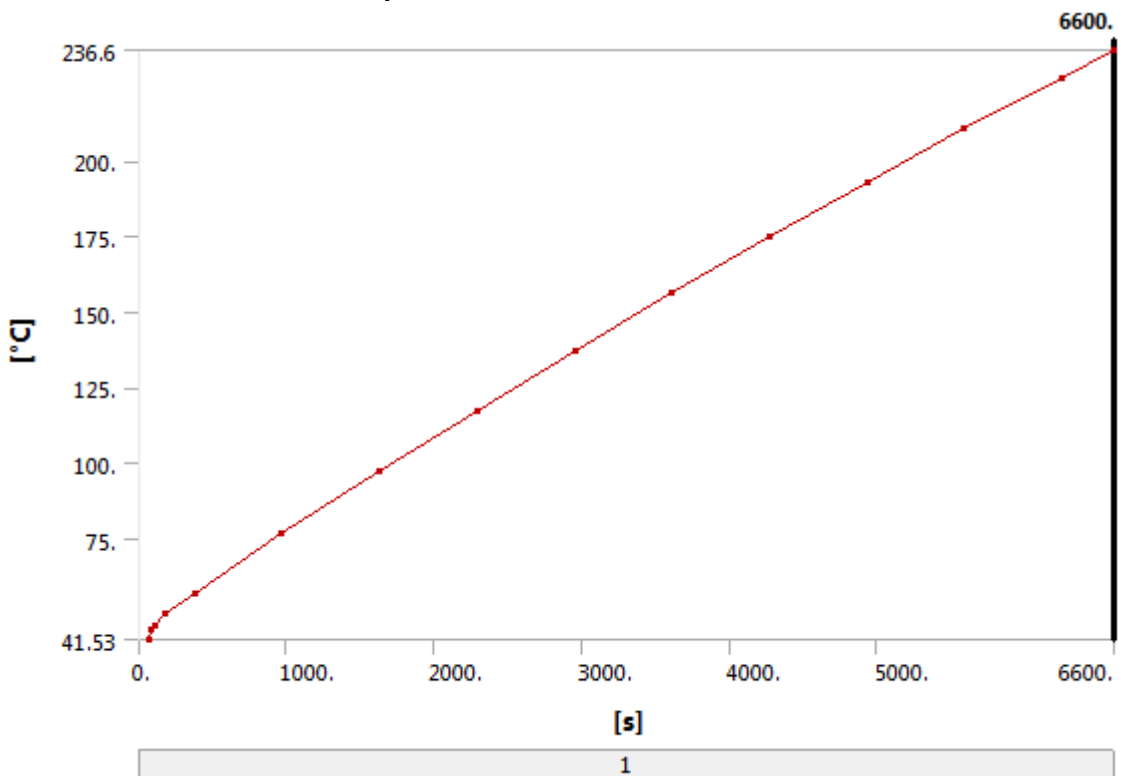


FIGURE 11
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Solution Information > Temperature - Global Minimum

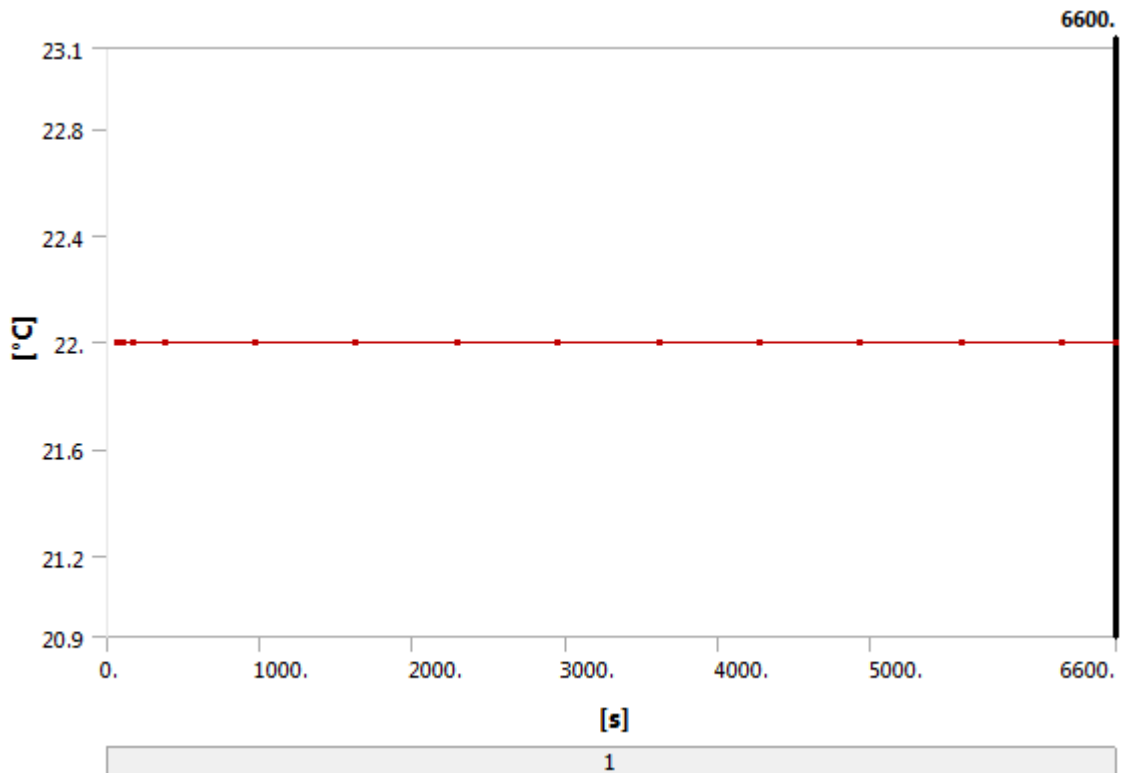


TABLE 18
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	<i>Temperature</i>	<i>Temperature 2</i>
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Temperature	
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Results		
Minimum	22. °C	
Maximum	236.6 °C	
Minimum Occurs On	placa_portamoldes_macho.v03	
Maximum Occurs On	placa_portamoldes_macho.v03	
Minimum Value Over Time		
Minimum	22. °C	
Maximum	22. °C	
Maximum Value Over Time		
Minimum	41.53 °C	
Maximum	236.6 °C	
Information		
Time	6600. s	
Load Step	1	
Substep	15	

Iteration Number	15
------------------	----

FIGURE 12
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

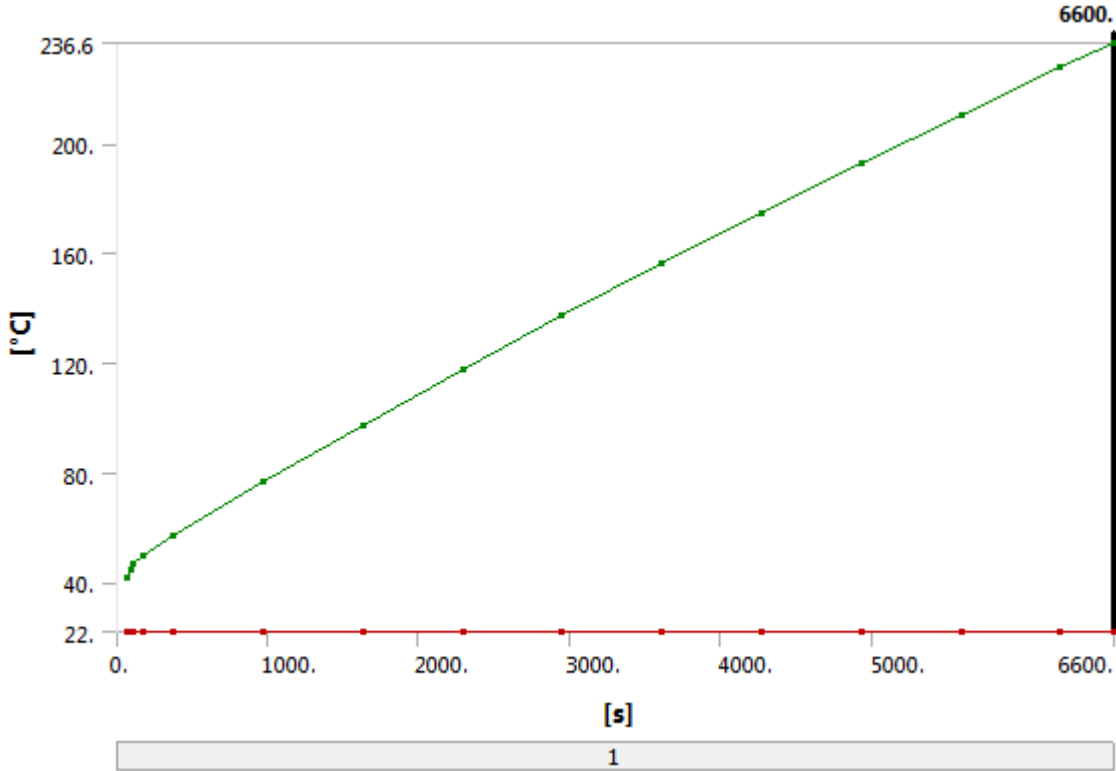


TABLE 19
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
66.	22.	41.53
88.		44.57
110.		46.488
176.		49.874
374.		57.093
968.		76.469
1628.		97.246
2288.		117.44
2948.		137.09
3608.		156.21
4268.		174.8
4928.		192.89
5588.		210.49
6248.		227.61
6600.		236.6

FIGURE 13
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature > Figure

A: Transient Thermal

Figure
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 6600
15/04/2015 16:08

ANSYS
14.0

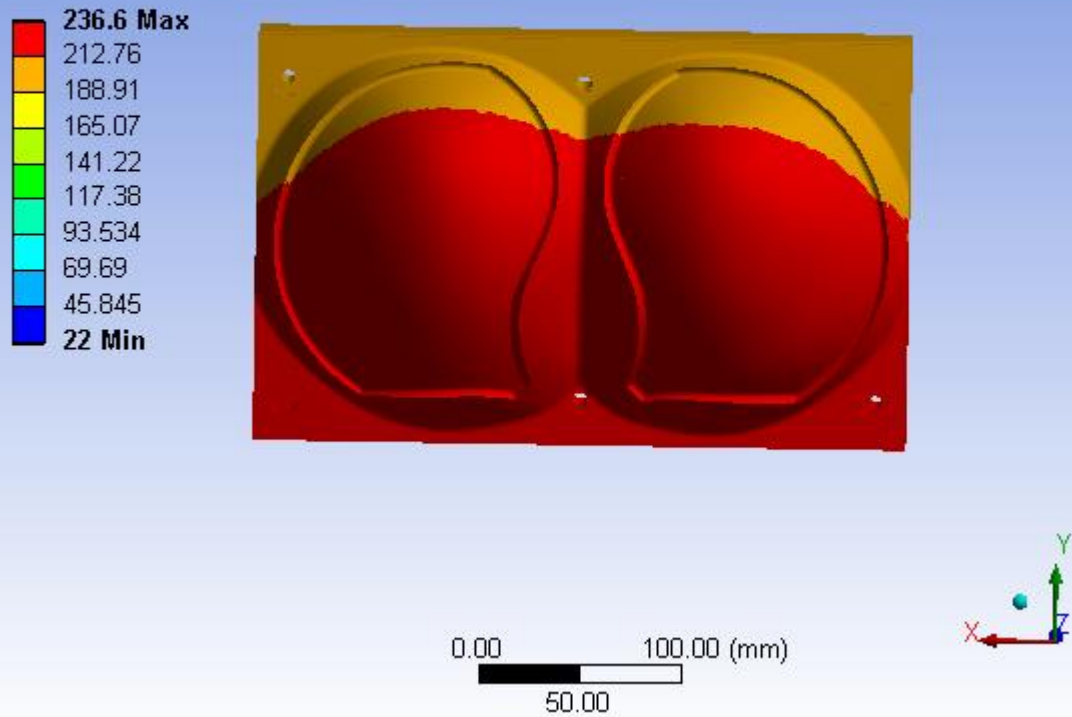


FIGURE 14
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature 2

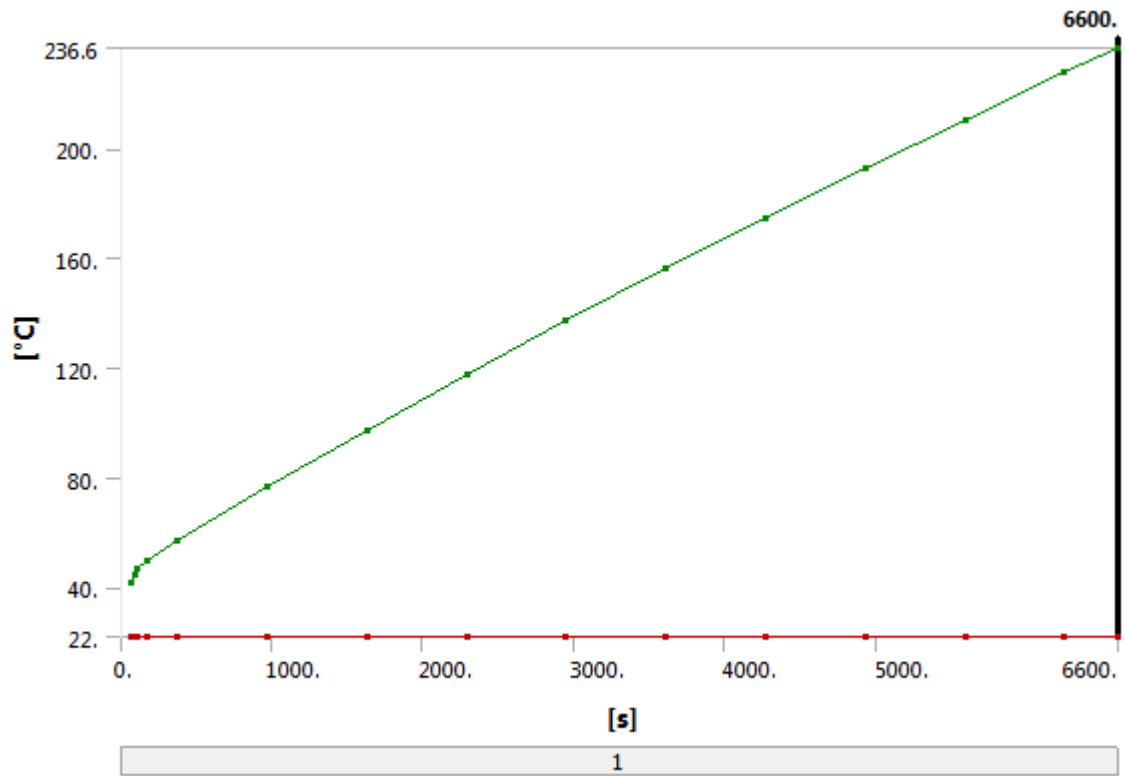


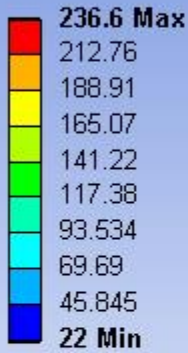
TABLE 20
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature 2

Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]
66.	22.	41.53
88.		44.57
110.		46.488
176.		49.874
374.		57.093
968.		76.469
1628.		97.246
2288.		117.44
2948.		137.09
3608.		156.21
4268.		174.8
4928.		192.89
5588.		210.49
6248.		227.61
6600.		236.6

FIGURE 15
Model (A4) > Transient Thermal (A5) > Solution (A6) > Temperature 2 > Figure

A: Transient Thermal

Figure
Type: Temperature
Unit: °C
Time: 6600
15/04/2015 16:08



Material Data

Aluminum

TABLE 21
Aluminum > Constants

Thermal Conductivity	0.2375 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Density	2.689e-006 kg mm ⁻³
Specific Heat	9.51e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹

Structural Steel

TABLE 22
Structural Steel > Constants

Density	7.85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

TABLE 23
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0

TABLE 24
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa
250

TABLE 25
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa
250

TABLE 26
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa
460

TABLE 27
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C
22

TABLE 28
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

TABLE 29
Structural Steel > Strain-Life Parameters

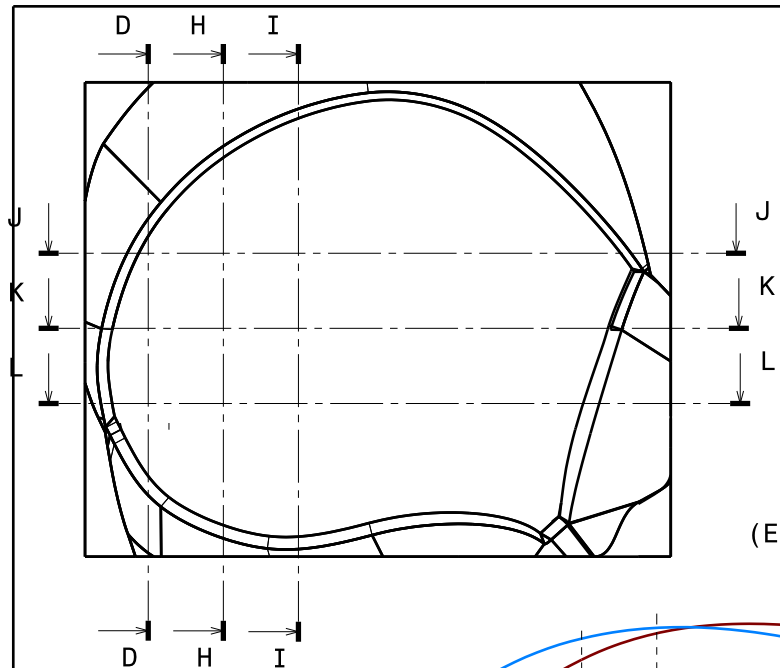
Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

TABLE 30
Structural Steel > Isotropic Elasticity

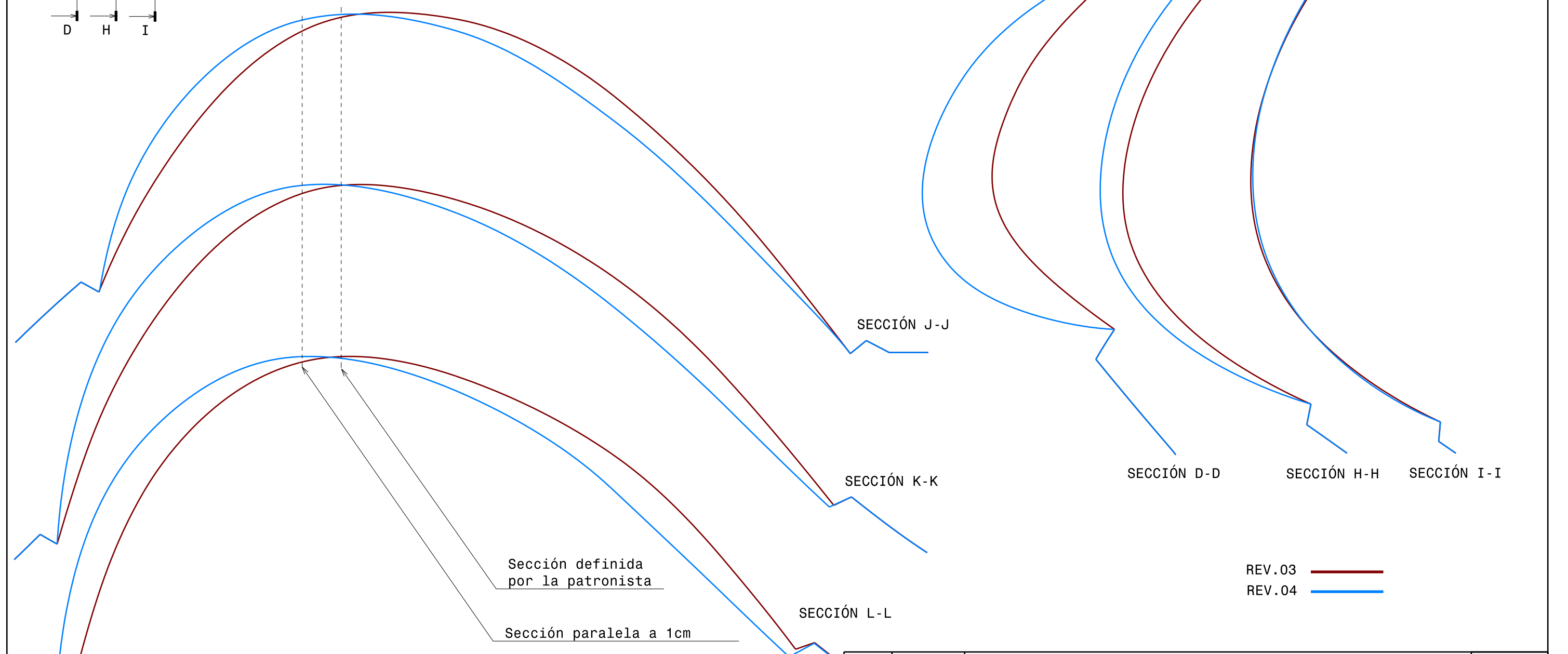
Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923

TABLE 31
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

ANEXO 7. Plano secciones revisión I – revisión II



(Escala 1:3)



ÍNDICE	FECHA	MODIFICACIONES				REVISADO
MATERIAL	-	TRATAM.				Nº RAL
DIBUJÓ: Carlos Parrilla	FECHA.: 03-2015	VERIFICÓ:	FECHA.:	CLIENTE.: SELMARK	ESCALA: 1:1	CANT.: 1
DESIGNACION PIEZA MODELO 1560 - TALLA 120					Nº Orden de Trabajo	
DENOMINACIÓN: COMPARATIVA					Hoja Nº: 1/1	

ANEXO 8. Estudio de viabilidad para copas frontales

Estudio de proceso Termoconformado

Alejandro Pereira

25/04/2011

Contenido

Estudio de proceso en medidas de perfil de copas frontales mediante cámara de visión.....	2
1. Introducción	2
2. Metodología	3
3. Análisis.....	8
4. Conclusiones	12

1. Introducción

En este trabajo se pretende estudiar la variabilidad en el proceso de termoconformado de copas para la empresa Selmark.

En primer lugar y como consecuencia de un primer estudio se propuso, estudiar una serie de parámetros de influencia en el proceso para cada modelo y se han propuesto los siguientes:

1. Tipo de material de la espuma
2. Material de la tela de revestimiento
3. Corte de material de foam. Posibles anomalías
4. Color de la tela de revestimiento
5. Temperatura inicial de corte
6. Temperatura de molde superior al inicio
7. Temperatura de molde inferior al inicio
8. Tiempo de procesado de termoconformado
9. Temperatura de molde superior al final
10. Temperatura de molde inferior al inicio
11. Tiempo de enfriamiento de espuma
12. Contracción del material (Periodo de estabilización)
Variación de la medición en 24 horas o el tiempo en que se realizan las pruebas finales

Teniendo en cuenta que el proveedor de FOAM es único y suministra siempre los mismos productos se asume que los tres primeros parámetros se eliminan. También se desestiman la temperatura inicial de corte y el tiempo de enfriamiento de espuma, así como la contracción del material por no ser parámetros que actualmente estén medidos. Las temperaturas se toman al inicio.

Por lo tanto, se asumen los siguientes parámetros a medir en un total de 50 muestras:

1. Color de la tela de revestimiento
2. Temperatura de molde superior al inicio
 - a. Indicador y
 - b. medida
3. Temperatura de molde inferior al inicio
 - a. Indicador y
 - b. medida
4. Tiempo de procesado de termoconformado
5. Temperatura Ambiente

2. Metodología

En cuanto a la medición se ha diseñado una estación de medición mediante cámara de visión COGNEX con panel de luz trasera de diodos (cedida por la empresa Visión Plus). Según se indica en la ilustración

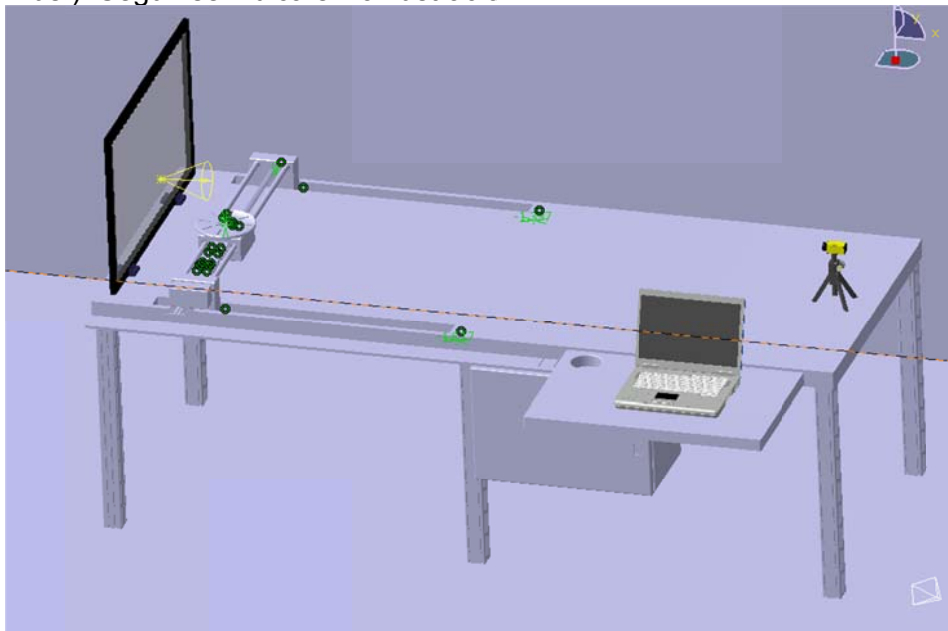


figura 1: Diseño estación medición.

Se ha realizado físicamente el montaje con una maqueta en fibra realizada por Selmark, y se ha procedido a la medición de las muestras fabricadas, en el laboratorio de metrología dimensional del área.

En el montaje para la realización de las mediciones, ha sido necesaria la calibración de las imágenes por comparación. En las fotos que se indican se reproducen fotos del montaje de medición con cámara COGNEX, alimentada por PoE (Power over Ethernet) y conectada a portátil mediante Ethernet para conexión con software de tratamiento de imágenes IN –Sighth.



figura 2: Disposición con muestra de product termoconformado.

Para la realización de la medición se han dispuesto tres tandas de toma de imágenes, de las que se muestran las imágenes obtenidas:

- Toma frontal, con objeto de comparar el perfil de las muestras



figura 3: Muestra frontal 1

En la realización de la programación de la estación para obtener las mediciones de los perfiles exteriores de las copas fabricadas, y analizar las relaciones existentes con los parámetros de proceso, afloran algunos problemas en cuanto al color del modelo medido, siendo necesario el aumento de contraste para facilitar la medición

En el procedimiento seguido se ha programado el reconocimiento de una zona patrón para evaluar las diferencias en las distintas muestras, zona que se ilustra en la figura, donde se puede observar en color verde el perfil reconocido

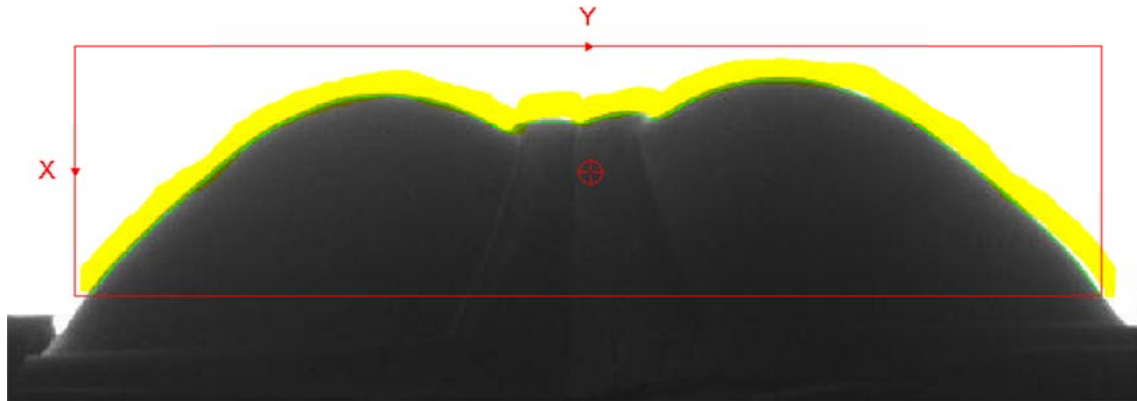


Figura 4: Zona de reconocimiento de patrón

En este caso particular, se ha obtenido con respecto a la primera toma (sobre la que se ha supuesto el perfil patrón), las variables resultado que a continuación se detallan

1. Porcentaje de reconocimiento de patrón
2. Localización del patrón (Fila y columna) (Estos datos se desecharán)
3. Escala. Va a ser una variable significativa para observar diferencias
4. Ángulo de posicionamiento. En estos primeros resultados, asumimos que será la variable más significativa para el reconocimiento de diferencias en las copas.
5. Maxima desviación

Tal como se puede mostrar en la ilustración se pueden apreciar las diferencias que se han medido en dos casos. El primero se asume como patrón y se observan diferencias sobre el segundo.

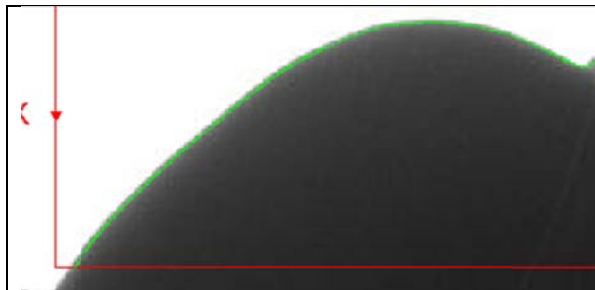


Figura 5: muestra 2

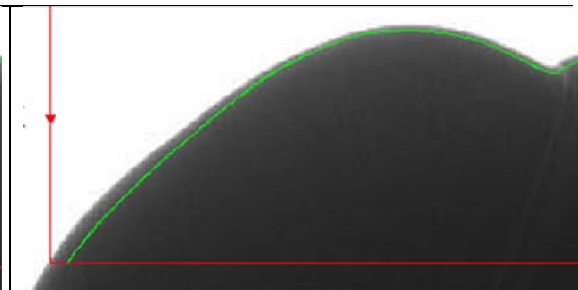


Figura 6: Muestra 6

Ángulo	Escala	%Perfil	Max -	Ángulo	Escala	%Perfil	Max -
0,005781517	100,0092	99,99	0	0,3736975	100,0129	99,99695	0.2

Con las 50 muestras se ha elaborado la tabla de medidas que a continuación se expone. Podemos observar que para poder utilizar la variable temperatura de molde se ha tenido que utilizar las diferencias de temperatura entre molde superior y molde inferior y, a su vez, necesitamos comparar tanto el valor indicado como el medido.

En el estudio de variables de influencia se ha utilizado la metodología de estudio de la varianza univariante en primer lugar y en una segunda fase el análisis multivariante.

XColor	Indicador (°C) MS	Medida (°C)MI	Indicador (°C) MS	Medida (°C)MS	Tiempo (") XTiempo	Tra-amb	DifIN (DMI)	Dif-Me (DMM)	DMI-DMM XXDTM	PosF	PosC	Yangulo	Yescala	%perfill Yperf
4	174	183	181	188	65	21,6	7	5	2	194,5517	316,4644	-0,00578152	100,0092	99,99695
175	173	183	181	188	65	21,5	8	5	3	196,1174	317,7235	-0,4088683	100,0127	99,09791
437	173	183	181	187,5	65	21,5	8	4,5	3,5	195,6086	316,2223	-0,5160971	100,0143	99,99695
259	174	182,5	181	188	65	21,5	7	5,5	1,5	195,7777	318,2257	-0,7938893	100,0115	98,6307
4	174	182,5	181	187	65	21,5	7	4,5	2,5	192,9924	316,6894	-0,3736975	100,0129	99,99695
44	174	183,5	181	188	70	21,5	7	4,5	2,5	192,4695	317,479	-0,01695775	100,0061	99,68757
175	174	183	181	186,5	70	21,5	7	3,5	3,5	196,4319	318,1377	-0,4546137	100,0121	98,74801
259	174	183	181	187,5	70	21,5	7	4,5	2,5	195,6626	317,3573	-0,4996576	100,0145	97,39827
437	173	183	181	187,5	70	21,5	8	4,5	3,5	196,1167	316,4704	-0,318936	100,0168	99,94224
4	174	183	181	187,5	70	21,4	7	4,5	2,5	193,2603	316,9492	-0,1494374	100,0088	99,99695
437	174	183	181	187	75	21,6	7	4	3	193,9115	316,4922	-0,1229803	100,0181	99,69522
175	175	182	181	188	75	21,4	6	6	0	197,4055	316,5671	0,1659413	100,0118	99,0162
4	173	182	181	188	75	21,4	8	6	2	193,7795	316,4674	-0,1580409	100,0179	99,99695
259	176	183	184	191	65	21,4	8	8	0	194,9962	317,9565	-0,3111935	100,0138	96,0185
437	176	183	184	191	65	21,4	8	8	0	195,1259	317,0514	0,2611791	100,0143	99,99695
4	176	184	184	191,5	65	21,4	8	7,5	0,5	192,2633	316,3083	0,4453744	100,0133	99,2032
44	176	184,5	184	192	70	21,4	8	7,5	0,5	193,838	316,3002	-0,2700074	100,0102	99,13132
175	176	184	184	192	70	21,4	8	8	0	197,006	317,6055	-0,6058285	100,0186	97,53684
259	176	184	184	191,5	70	21,4	8	7,5	0,5	196,764	317,0885	-0,1728358	100,024	98,42255
4	176	184	185	191,5	70	21,4	9	7,5	1,5	194,377	315,9685	-0,2960187	100,02	99,99695
4	176	185,5	184	192	75	21,4	8	6,5	1,5	194,391	316,4631	-0,1382603	100,018	99,99695
437	176	184	184	191,5	75	21,4	8	7,5	0,5	196,1293	316,4292	-0,2306466	100,0236	99,89695
44	176	183,5	184	191,5	75	21,4	8	8	0	193,868	316,8268	7,34E-05	100,0061	99,96258
4	179	188,5	188	195	65	21,4	9	6,5	2,5	194,3274	316,687	-0,1707398	100,0118	99,99695

175	180	187	187	194	65	21,4	7	7	0	196,6178	318,2136	-0,258834	100,014	95,54514
259	179	187	187	193,5	65	21,4	8	6,5	1,5	196,2459	317,7301	-0,3138964	100,0108	98,11462
437	179	185	187	193,5	65	21,4	8	8,5	-0,5	196,4532	316,9872	-0,4103201	100,0188	99,99695
4	179	187	187	193,5	65	21,4	8	6,5	1,5	193,8733	316,3938	-0,2735208	100,0141	99,99695
4	178	187	187	193	70	21,4	9	6	3	194,3638	316,5334	-0,3028817	100,02	99,99695
44	179	188	187	193,5	70	21,4	8	5,5	2,5	196,3746	316,5363	-0,2496057	100,0205	99,71648
175	179	187,5	187	193,5	70	21,4	8	6	2	198,8975	317,5526	-0,4887616	100,0148	97,2336
259	178	187	187	193,5	70	21,4	9	6,5	2,5	198,4621	317,1557	-0,2916674	100,011	97,36145
4	182	189	191	192,5	60	22,3	9	3,5	5,5	193,8391	317,2344	-0,2166594	100,0085	99,99695
259	181	187	190	192	50	22,3	9	5	4	195,7095	318,426	-0,2605452	100,0081	98,74774
437	180	187	191	193	65	22,3	11	6	5	196,3376	318,3004	-0,5852892	100,0065	99,53757
175	181	187,5	189	193	65	22,3	8	5,5	2,5	197,4689	317,9207	-0,5102373	100,0143	99,10744
4	181	187	190	192,5	70	22,3	9	5,5	3,5	194,0954	317,1231	-0,3289216	100,0071	99,99695
259	181	187,5	191	192,5	70	22,3	10	5	5	198,1912	318,0198	-0,5277076	100,0049	98,69482
437	181	187,5	191	192,5	75	22,3	10	5	5	197,5939	317,2877	-0,3461944	100,0106	99,99695
175	181	187	191	192,5	75	22,3	10	5,5	4,5	199,0677	318,1192	-0,5289853	100,0086	94,6011
4	193	193	191	192,5	60	22,3	-2	-0,5	-1,5	195,1003	317,7798	-0,41956	100,0156	99,99695
259	193	192,5	191	193	60	22,3	-2	0,5	-2,5	196,7039	318,853	-0,6744546	100,0175	99,30714
437	191	192,5	191	193	65	22,3	0	0,5	-0,5	197,6367	317,1483	-0,3009253	100,0139	99,99695
175	191	194,5	191	194	65	22,3	0	-0,5	0,5	198,5369	317,6785	-0,3084588	100,0109	97,22325
4	190	194	191	192,5	70	22,3	1	-1,5	2,5	196,4555	316,7697	-0,5574791	100,0136	99,99695
259	192	194	191	194	70	22,3	-1	0	-1	198,0767	318,0133	-0,4272357	100,0156	98,81349
437	193	197,5	196	195	60	22,3	3	-2,5	5,5	196,8754	317,9543	-0,5045947	100,0145	99,99695
175	190	193,5	196	195,5	60	22,3	6	2	4	197,865	318,5831	-0,254676	100,0082	99,50002
4	190	195,5	195	195,5	60	22,3	5	0	5	195,879	317,5653	-0,3516686	100,0195	99,99695
259	191	194,5	195	195,5	65	22,3	4	1	3	197,6497	318,2212	-0,4069533	100,0069	94,55301

3. Análisis

Con los datos disponibles se han analizado las medias y los valores de las desviaciones típicas en primer lugar de los parámetros y variables.

	XTiempo	DMI	DMM	IM-MM	Yangulo	Yescala	Yperfil
Media	67,4	6,78	4,74	2,04	-0,3048	100,0133	99,007
Desviación	5,174	3,125	2,781	1,918	0,227	0,00463	1,427

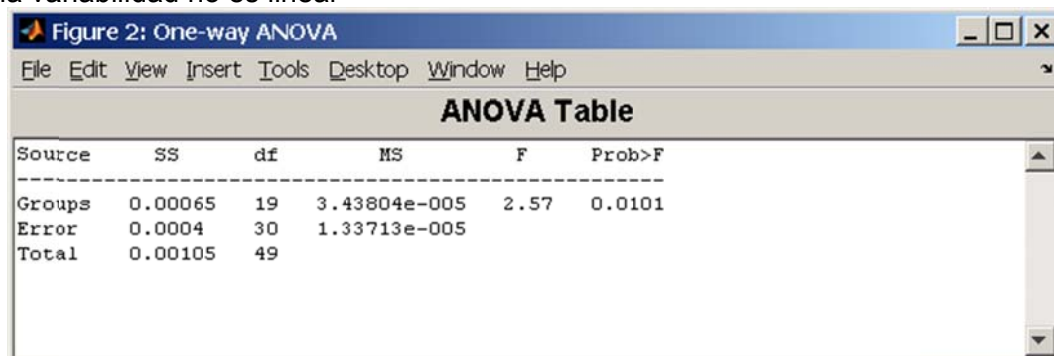
Podemos apreciar que las variaciones del perfil (Yperfil) son muy pequeñas y así mismo, la escala tiene una variabilidad muy pequeña. Sin embargo se ha de considerar la influencia en la variable Yangulo.

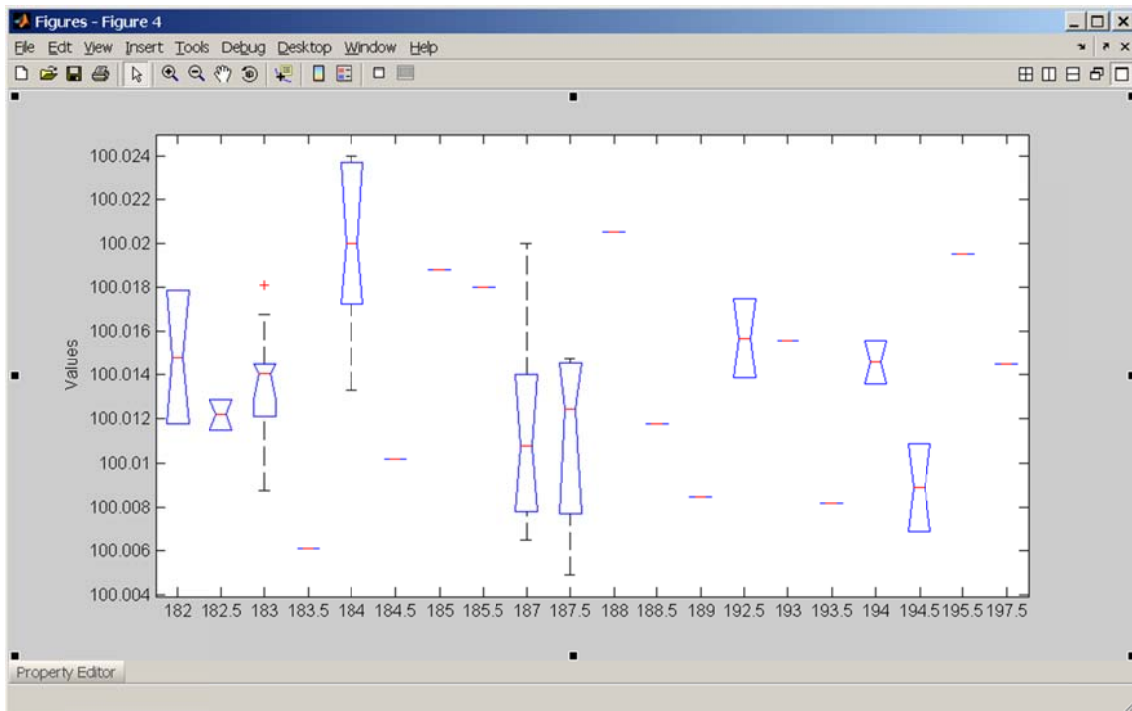
Por otra parte, en el parámetro color no se ha considerado medias ni desviaciones ya que pertenecerían a un parámetro discreto.

Se tienen las siguientes muestras distribuidas por color

- Negro 15
- Violeta 4
- Amarillo 10
- Rosa 11
- Marron 10

Se estudian mediante análisis de la varianza univariante los distintos parámetros de influencia y se puede observar algunas particularidades en las temperaturas de los moldes inferior y superior. La influencia de dichos parámetros en las variables de patrón (%perfil, ángulo y escala) son muy poco significativas, salvo la variable correspondiente a la medida de las diferencias de temperatura de moldes en el indicador, en la que se aprecia un porcentaje de influencia de diferencias de temperaturas, tanto en la escala como en el ángulo de variación del perfil, sin embargo la variabilidad no es lineal





En base a estos resultados mostrados con respecto a la posible influencia del parámetro DMI (Diferencias de temperatura entre molde superior e inferior en indicadores) en el ángulo del patrón, se ha considerado que son debidos a causas aleatorias, ya que no hay linealidad en la toma de datos de las temperaturas.

En función de estos resultados se han considerado los siguientes parámetros :

- Diferencia Indicador (Molde Superior – Molde Inferior) : DMI
- Diferencia Medida (Molde Superior – Molde Inferior) : DMM
- Diferencias DMI –DMS : XXDTM
- Color muestras : Xcolor
- Tiempo de procesado : Xtiempo

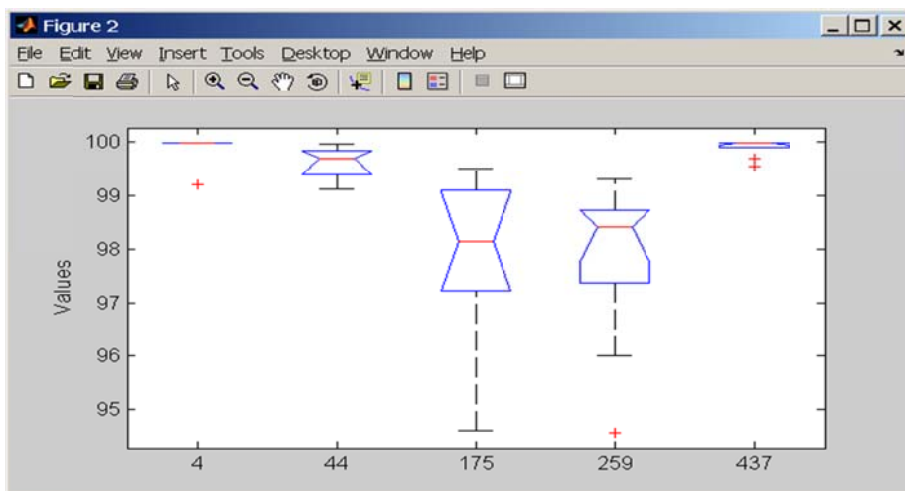
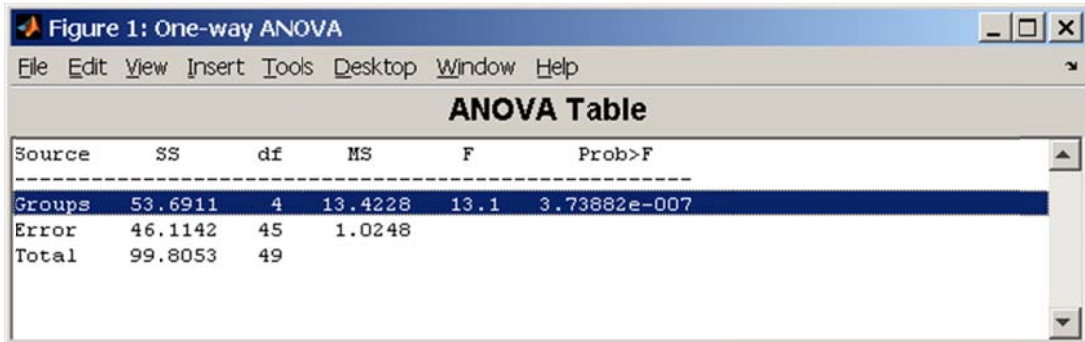
Y las siguientes variables

- Porcentaje de reconocimiento de patrón : Yperf
- Escala : Yescala
- Ángulo de posicionamiento : Yangulo
- MaxDesviación : MaxDes

Al hacer el análisis de varianza univariante (de 1 en 1 parámetro) para los factores, DMI, DMM, XXDTM, Xcolor y Xtiempo, sobre las variables nos salen los siguientes datos,

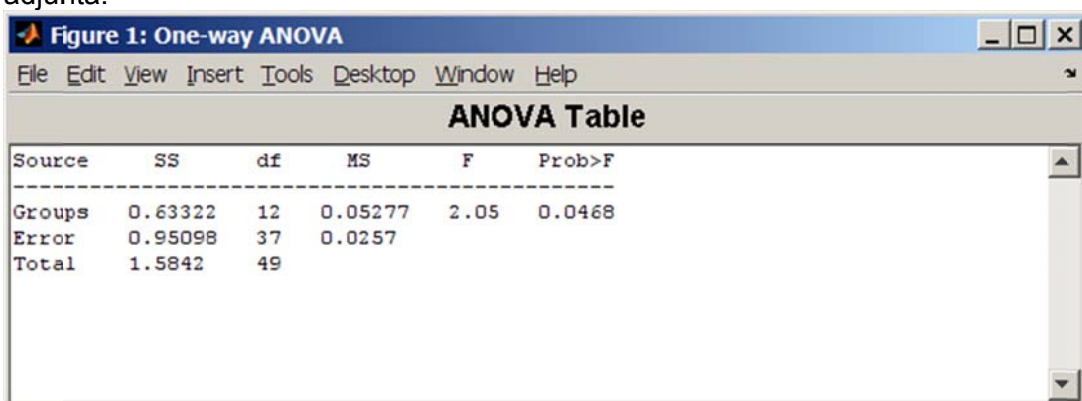
	Yperf	Yescala	Yangulo	MaxDes
DMI	p=0,22	p=0,082	p=0,47	p=0.048
DMM	p=0,18	p=0,31	p=0,73	P=0.234
XXDTM	p=0,18	p=0,740	p=0,37	P=0.755
Xcolor	p=3,37x10⁻⁷	p=0,47	p=0,08	P=0.986
Xtiempo	p=0,63	p=0,61	p=0,32	P=0.318

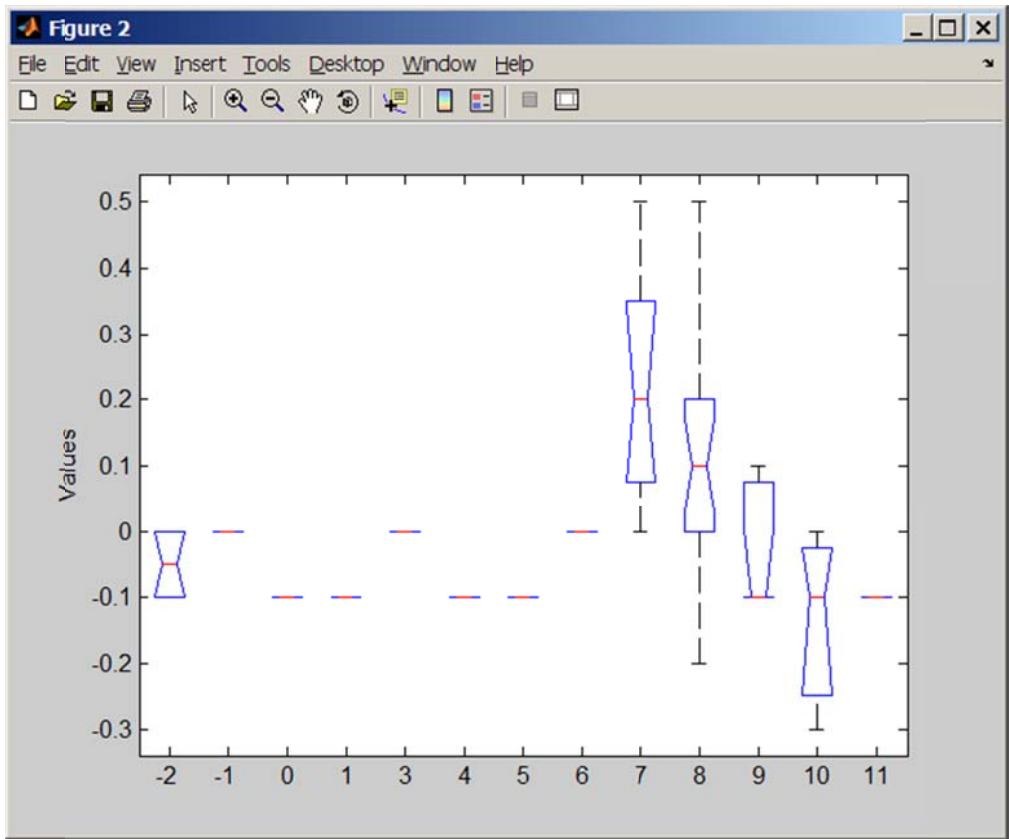
Teniendo en cuenta que se considera factor de influencia en el caso de que $p < 0,05$ para un valor α de nivel de confianza del 5%, el factor Xcolor con p prácticamente igual a cero influye en el porcentaje de perfil detectado Yperf, tal como se observa en el diagrama de bloques que se adjunta



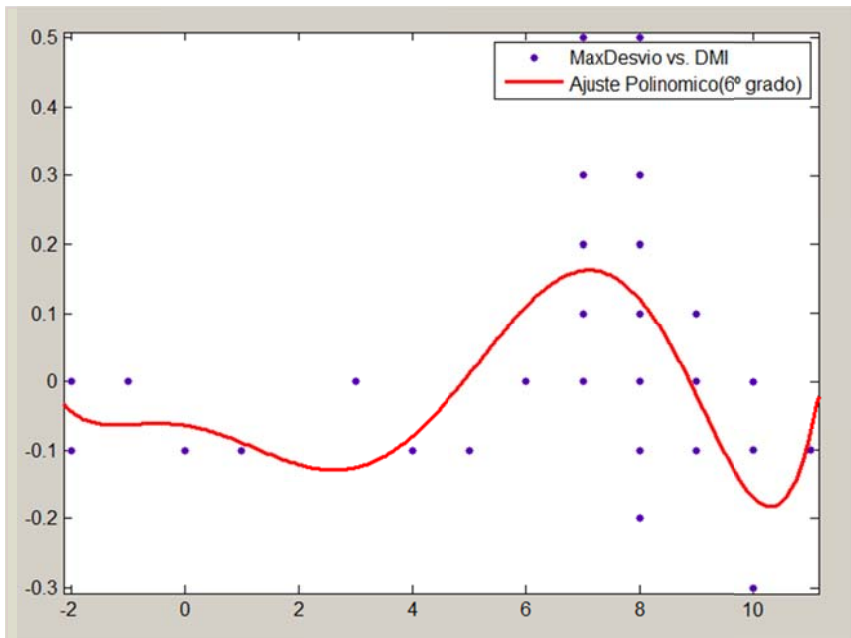
Se puede observar que los colores que dan una mayor fiabilidad son el 4 y el 437, no obstante se puede deducir que no se baja de un reconocimiento de perfil del 95 % en todos los colores.

Con respecto al parámetro DMI (Diferencia de temperaturas de moldes en indicadores) también se aprecia influencia tal como se observa en el diagrama de bloques que se adjunta.





En este caso se podría afirmar con los datos que disponemos que este parámetro DMI puede influir en la forma final y las desviaciones con respecto al perfil tomado como patrón, es decir en la máxima desviación.



4. Conclusiones

En este análisis de datos de las muestras tomadas se pueden resaltar las siguientes conclusiones

1. El parámetro de color de tela – espuma tiene influencia en el porcentaje de detección de perfil.
2. El parámetro de Diferencia de temperaturas de indicadores entre molde superior y molde inferior tiene influencia en la variable Máxima desviación de perfil. Este dato parece tener relevancia ya que se asume que, en función del resultado que se obtenga en el producto final cuando se sepa si es ok o no, podemos hacer variar en función de las temperaturas de molde.
3. De la conclusión anterior podemos extraer que existe una incertidumbre importante cuando la diferencia de temperaturas en los indicadores de los moldes es superior a 6°

Se hace necesario seguir realizando ensayos con los perfiles laterales que han sido tomados mediante la estación de medición y, por supuesto, conocer el resultado del producto al final de la confección para poder sacar algún resultado concluyente

