

Proyecto Fin de Carrera

Estudio de la contracción de
polímeros termoplásticos procesados
por soplado

Autor:

Judith Fustero Aznar

Director:

Patricia Oliete

Ingeniería Técnica Industrial Mecánica
Universidad de Zaragoza

En Zaragoza, Febrero 2012

RESUMEN

El presente estudio ha sido elaborado bajo petición de la empresa Mann Hummel Zaragoza. En dicha planta se fabrican filtros de aire para automóviles y una de las áreas de la planta se dedica al soplado de polímeros de tubos de aire limpio y sucio de los filtros. A día de hoy, el soplado de materiales poliméricos es un método de extrusión de plásticos que le queda mucho por desarrollarse, puesto que es muy difícil lograr un control sobre los espesores de las piezas.

Las piezas cuando salen del molde, continúan contrayendo y, en ocasiones resulta difícil determinar cuáles serán sus dimensiones finales. Con el propósito de conocer, como influyen los parámetros de soplado sobre la contracción se ha llevado a cabo este estudio. Primeramente, se realizaron unos estudios previos sobre unas piezas formadas por una matriz de PP-EPDM. Gracias a estos primeros ensayos, comprobamos que el espesor de la boca era el factor que más influía en la contracción de esta y, fue entonces cuando se llevo a cabo un estudio minucioso sobre piezas formadas por el material Hytrel ®, puesto que es este el material más empleado, así como el que más contrae.

Al finalizar el estudio, pudimos conocer en qué medida los diferentes parámetros tales como, temperatura del material, temperatura del molde, medio de enfriamiento, y llevar a cabo mejoras en el proceso de fabricación de tubos soplados de la planta de Mann Hummel Zaragoza.

ÍNDICE

0.PRESENTACIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO	5
1.INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES POLIMÉRICOS	6
1.1 POLÍMEROS CON BASE DE CARBONO	7
1.1.1 <i>Termoplásticos</i>	7
1.1.2 <i>Termoestables</i>	16
1.1.3 <i>Elastómeros</i>	18
1.2 POLÍMEROS CON BASE DE SILICIO	19
2. PROCESADO DE LOS POLÍMEROS : EXTRUSION	21
2.1. INTRODUCCIÓN.....	21
2.2 EQUIPO DE EXTRUSIÓN	22
2.3 DIFERENTES TIPOS DE DE EXTRUSIÓN DE POLÍMEROS.....	25
3.MOLDEO POR SOPLADO	29
3.1 MOLDEO POR INYECCIÓN-SOPLADO.....	29
3.2 MOLDEO POR EXTRUSIÓN – SOPLADO	29
3.2.1 <i>Componentes empleados</i>	30
3.2.1 <i>Tipos de soplado</i>	31
3.3 MOLDEO POR COEXTRUSIÓN-SOPLADO	32
4.TERMOPLÁSTICOS MAS EMPLEADOS EN EXTRUSIÓN-SOPLADO.....	33
4.1 POLIPROPILENO	33
4.2 POLIETILENO	35
4.3 POLIAMIDAS.....	37

4.4 ELASTOMERO TERMOPLÁSTICO DE ÉTER-ESTER (TEEE)	38
5.FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTRACCIÓN DE LOS PLÁSTICOS DESPUÉS DE HABER SIDO EXTRUIDOS.....	39
6.CONTROL DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONTRACCIÓN DE PLÁSTICOS.	42
7.ENSAYOS REALIZADOS SOBRE ALFATER*	47
7.1 INTRODUCCIÓN	47
7.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	49
7.3 CONCLUSIONES SOBRE ALFATER®	56
8. ENSAYOS REALIZADOS SOBRE HYTREL®	57
8.1 INTRODUCCIÓN	57
8.2 ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LA PIEZA MB1055	59
8.3 ENSAYOS REALIZADOS SOBRE LA PIEZA F1112	64
8.4 ENSAYOS SOBRE LAS PIEZAS MB1097	74
8. CONCLUSIONES GENERALES	77
9. IMPLEMENTACIONES EN LAS LINEAS DE TRABAJO DE MANN HUMMEL SPAIN.....	80
10. BIBLIOGRAFIA.....	82

0.PRESENTACIÓN Y OBJETO DEL ESTUDIO

El presente estudio está orientado a la investigación de la contracción que sufren los materiales poliméricos tras haber sido procesados. El proceso de conformación que se ha estudiado ha sido el moldeo por soplado, más concretamente el moldeo de soplado por succión.

Las contracciones que sufren a lo largo del tiempo, pueden hacer que lotes de piezas que en un principio cumplían las especificaciones de diseño, queden rechazadas. El objeto de este estudio es analizar los parámetros más significativos que influyen en la contracción de polímeros para ser capaces a posteriori de ajustar al máximo los factores que afectan a la contracción para que esta sea mínima.

Dicho análisis se ha llevado a cabo bajo petición del grupo Mann Hummel, empresa perteneciente al sector automovilístico. Fabrican una amplia gama de productos de filtración; filtros de aire, de agua, de aceite o de habitáculo. Fue fundada en 1941 en Ludwigsburg (Alemania) y hoy cuenta con 41 plantas localizadas en todo el mundo y más de 13.200 empleados. Ha sido en la planta ubicada en Zaragoza donde se han llevado a cabo las diferentes pruebas.

La planta que se sitúa en Zaragoza cuenta con 31 máquinas de inyección de polímeros y 14 máquinas de soplado de polímeros. En el diseño de cada filtro, el equipo técnico ha de poner mucha atención en los factores que afectan a las dimensiones de las piezas; es por ello, que se ha hecho este análisis: saber con mayor exactitud cómo se comportan los polímeros a lo largo del tiempo, y poder obtener así tendencias de su comportamiento. Para poder llegar a unas conclusiones, se han tomado muestras de los polímeros más utilizados sobre los diseños que actualmente se están fabricando y se han variado parámetros, como la temperatura o el espesor, sobre el proceso estándar.

1. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES POLIMÉRICOS

Los materiales poliméricos son conocidos familiarmente con el nombre de plásticos y cauchos, forman parte de nuestra vida cotidiana. Los encontramos en áreas tan diversas como los envases y embalajes, juguetes, vehículos, electrónica e incluso material clínico. A pesar de su amplia utilización, el conocimiento de estos materiales es muy escaso. Este desconocimiento se puede achacar, no al desinterés, sino a la rápida evolución que han sufrido, lo que dificulta su inclusión en los programas de formación.

Con el nombre de polímeros se agrupa un conjunto de materiales caracterizados por estar compuestos por largas cadenas moleculares de alto peso atómico (lineales, ramificadas o en red), formadas por la unión de pequeñas moléculas, llamadas monómeros. Estos monómeros pueden ser:

Con **base de carbono**, dividiéndose en este caso en:

-Termoplásticos

-Termoestable

-Elastómeros

Con **base de silicio**, llamadas:

-Siliconas

En general, podemos decir que, los materiales poliméricos tienen baja densidad, alta resistencia a la corrosión, baja conductividad eléctrica y térmica, fácil conformación y bajo costo. Estas son las propiedades que hacen que cada día sean más empleados para usos industriales, en especial en la industria del automóvil.

1.1 Polímeros con base de carbono

1.1.1 Termoplásticos

Un termoplástico es un plástico que, por encima de la Temperatura de transición vítrea (T_g), es plástico o deformable, se convierte en un líquido cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfria. La mayoría de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los hay que poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas Van der Waals (Polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlace de hidrógeno, como las poliamidas. Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse éstos pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables, su forma después de procesado no cambia y no funde, degradándose al calentarlos.

Los principales termoplásticos son:

- Polietileno y sus derivados: Se emplean como materia prima el etileno, obtenido del craqueo del petróleo que, tratado posteriormente, permite obtener diferentes monómeros como acetato de vinilo, alcohol vinilo, alcohol vinilito, cloruro de vinilo, etc. Pertenece a este grupo el PVC, el polietileno, el metacrilato, etc.
- Derivados de las proteínas: pertenecen a este grupo el nailon y el perlón, obtenidos a partir de las diamidas.

Dentro del grupo de los materiales termoplásticos, podemos distinguir entre **AMORFOS** y **CRISTALINOS**. La diferencia radica en que los cristalinos, a la vuelta al estado sólido tras el aporte de calor, cuando se reorganizan lo hacen intentando ocupar el mínimo espacio posible, organizándose las moléculas de forma ordenada. No así en el caso de los amorfos que lo hacen de una forma mucho más anárquica. Aún más, en el caso de los amorfos la contracción es isótropa (constante en las 3 dimensiones del espacio), mientras que en el

caso de los cristalinos la contracción es anisótropa (la contracción es mucho mayor en el sentido de flujo que en el transversal).

Comportamiento elástico.

En los polímeros termoplásticos la deformación elástica es el resultado de dos mecanismos. Un esfuerzo aplicado hace que se estiren y distorsionen los enlaces covalentes de las cadenas, permitiendo que estas se alarguen elásticamente. Al eliminar el esfuerzo se recuperan de esta distorsión prácticamente de manera instantánea. Además, se pueden distorsionar segmentos completos de cadenas de polímeros; al eliminar el esfuerzo los segmentos volverán a su posición original después de un periodo de horas o incluso meses. Este comportamiento viscoelástico dependiente del tiempo, puede contribuir en algo al comportamiento elástico no lineal.

Fusión y fenómeno de la transición vítreo

Cuando se deja un objeto plástico a la intemperie durante el invierno, puede observarse que se quiebra o se rompe con mayor facilidad que durante el verano, se ha producido el fenómeno de transición vítreo, que a temperaturas bajas es algo que solo les ocurre a los polímeros, lo cual es una de las cosas que los hacen diferente.

Hay una cierta temperatura, T_g , distinta para cada polímero, que cuando el polímero enfria por debajo de esa temperatura se vuelve quebradizo y rígido. Algunos polímeros son empleados a temperaturas por encima de sus temperaturas de transición vítreo y otros por debajo.

La transición vítreo no es lo mismo que la fusión. La fusión es una transición que se manifiesta en los polímeros cristalinos. Ocurre cuando las cadenas poliméricas abandonan sus estructuras cristalinas y se transforman en un líquido desordenado. **La transición vítreo es una transición que se manifiesta en los polímeros amorfos,** es decir,

polímeros cuyas cadenas no están dispuestas según un ordenamiento cristalino, sino que están esparcidas en cualquier ordenamiento, aun en estado sólido.

Los polímeros cristalinos también tienen alguna porción amorfa. Esta porción generalmente constituye el 40-70% de la muestra polimérica. Esto explica porque una misma muestra de un polímero puede tener tanto una temperatura de transición vítrea como una de fusión. **Pero lo importante es saber que la porción amorfa solo experimentará la transición vítrea, y la porción cristalina solo la fusión.** Cuando la temperatura es alta, las cadenas pueden moverse con facilidad, de modo que cuando se toma una porción de polímero y se dobla, las moléculas que ya están en movimiento, no tendrán problemas en moverse hacia nuevas posiciones, con el fin de aliviar la tensión que se está ejerciendo entre ellas. Pero si se trata de doblar una muestra de polímero por debajo de la Tg, las cadenas ya no podrán desplazarse hacia otras posiciones, y sucederá una de las dos cosas siguientes:

- O las cadenas serán lo suficientemente resistentes como para soportar las fuerzas que se están ejerciendo y la muestra no se doblara.
- O la fuerza que se está aplicando es demasiado grande para que las inmóviles cadenas poliméricas puedan resistirlas y yo no pueden moverse a su alrededor para aliviar dicha tensión, la muestra se quebrara o rompe.

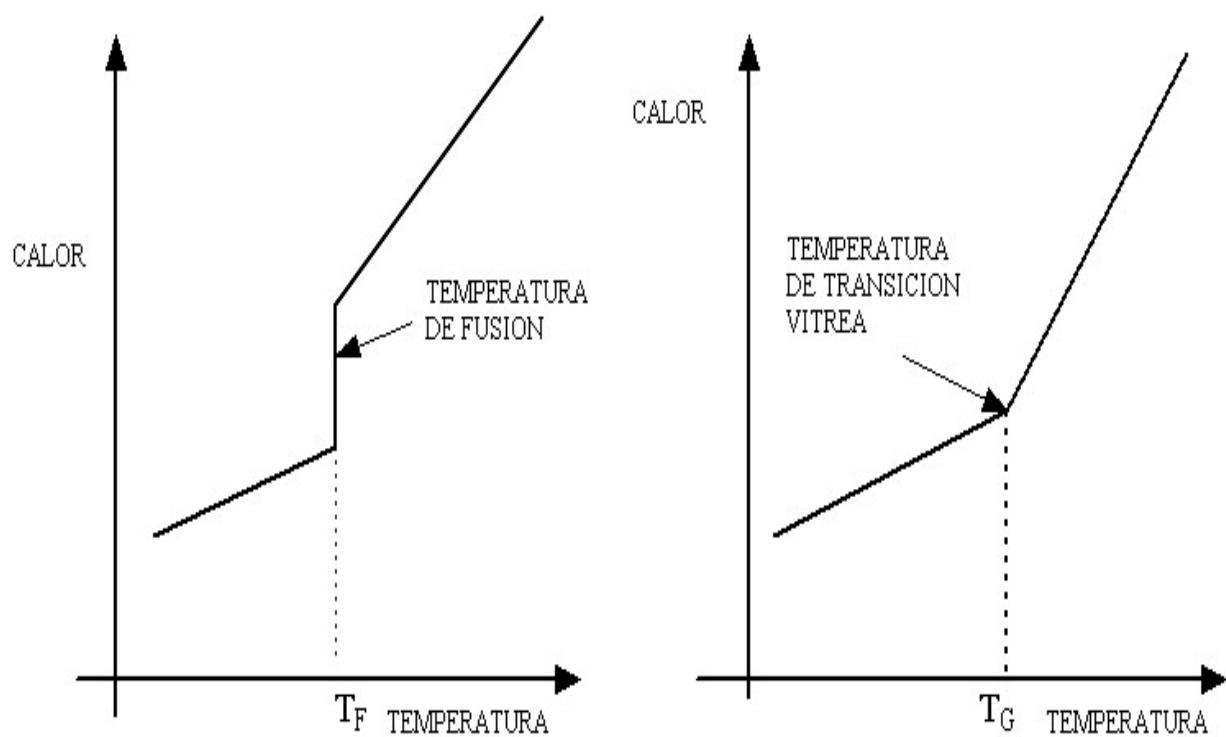
La temperatura exacta a la cual las cadenas poliméricas experimentan este gran cambio en su movilidad, depende de la estructura del polímero. La flexibilidad o rigidez de su polímero a una alta temperatura dada están determinadas por la movilidad de la cadena, es decir, cuando eficientemente las cadenas del polímero se deslizan entre sí. Cuanto más puedan moverse, más flexible será el polímero. Cuando se calienta un polímero cristalino a velocidad constante, la temperatura aumentará a velocidad constante. La temperatura seguirá aumentando hasta que el polímero llegue a su punto de fusión. Cuando esto sucede

la temperatura se mantendrá constante, ya que toda la energía que se agregue a un polímero cristalino en su punto de fusión, se utilizará en la fusión y no en el aumento de temperatura. Una vez que el polímero funde totalmente, la temperatura comienza a ascender de nuevo, pero ahora lo hace de una manera más lenta, ya que el polímero fundido tiene mayor capacidad calorífica que el polímero cristalino en estado sólido, de

modo que puede absorber más calor con los incrementos.

Comportamiento plástico.

Los polímeros termoplásticos se deforman plásticamente cuando se excede al esfuerzo de cedencia. Sin embargo, la deformación plástica no es una consecuencia de movimiento de dislocación, como ocurre en los metales. En lugar de eso, las cadenas se



estiran, giran, se deslizan bajo la carga, causando una deformación permanente. Debido a

Figura 1 Gráficas comparativas entre el comportamiento de la T fusión frente a la T trans. Vítreo.

este fenómeno se puede explicar la reducción de esfuerzo más allá del punto de cedencia.

Viscoelasticidad.

Es la capacidad de un esfuerzo para provocar el deslizamiento de cadenas y la deformación plástica está relacionada con el tiempo y la rapidez de deformación. Si el esfuerzo se aplica lentamente, las cadenas se deslizan fácilmente una al lado de otra; si se aplica con rapidez, no ocurre deslizamiento y el polímero se comporta de manera frágil.

La dependencia de las deformaciones elásticas y plásticas de los termoplásticos con el tiempo se explica mediante el comportamiento viscoelástico del material. A bajas temperaturas o bajas velocidades de carga el polímero se comporta como cualquier otro material sólido, como los metales o los cerámicos. En la región elástica el esfuerzo y la deformación están directamente relacionados. Sin embargo, a altas temperaturas o a bajas velocidades el material se comporta como líquido viscoso. Este comportamiento viscoelástico ayuda a explicar porque el polímero se deforma bajo carga y también permite conformar el polímero convirtiéndolo en productos útiles. La viscosidad del polímero describe la facilidad con que la cual las cadenas se mueven causando deformación.

Termofluencia.

En los polímeros amorfos la energía de activación y la viscosidad son bajas y el polímero se deforma con esfuerzos reducidos por encima de la Tg. Cuando al polímero se le aplica un esfuerzo constante sufre con rapidez una deformación conforme los segmentos de la cadena se deforman. A diferencia de los metales y de los cerámicos la deformación no llega a un valor constante, en vez de ello, debido a la baja viscosidad de la deformación sigue incrementándose con el tiempo, conforme las cadenas se deslizan lentamente una al lado de la otra. Esta condición describe la termofluencia del polímero y ocurre en algunos polímeros, incluso a temperatura ambiente. La velocidad de termofluencia se incrementa con esfuerzos y temperaturas superiores (reduciendo la viscosidad).

Impacto.

El comportamiento viscoelástico también ayuda a comprender las propiedades al impacto de los polímeros. A muy altas velocidades de deformación, como en una prueba de impacto, no hay tiempo suficiente para que las cadenas se deslicen causando deformación plástica. En estas circunstancias, los termoplásticos se comportan de manera frágil y tienen valores pobres al impacto. A bajas temperaturas en un ensayo al impacto se observa el

comportamiento frágil en tanto que a temperaturas más elevadas donde las cadenas se mueven con mayor facilidad, se observa un comportamiento más dúctil.

Corrosión.

El ataque por una diversidad de insectos y microbios es una forma de corrosión en los polímeros. El polietileno, el polipropileno y el poliestireno son resistentes a este tipo de corrosión.

Sin embargo algunos como los poliésteres y el cloruro de polivinilo plastificado (PVC) son particularmente vulnerables a la degradación microbiana. Estos polímeros se pueden descomponer por radiación o ataque químico en moléculas de bajo peso molecular hasta que son lo suficientemente pequeños para ser ingerido por los microbios. Además se producen polímeros especiales que se degradan con rapidez, un ejemplo de esto es un copolímero del polietileno y el almidón.

Oxidación y Degrado Térmica de los Polímeros.

Los polímeros se degradan al ser calentados, al ser expuestos al oxígeno y al ser expuestos a radiación U.V. Una cadena de polímeros puede romperse, produciendo dos macroradicales. En los polímeros termoplásticos más flexibles particularmente en polímeros amorfos en vez de cristalinos, no ocurre recombinación y el resultado es la reducción en el peso molecular, en la viscosidad y en las propiedades mecánicas del polímero.

Fractura.

Los polímeros pueden fallar ya sea por mecanismo dúctil o por mecanismo frágil. Por debajo de la temperatura de transición vítrea, los polímeros termoplásticos fallan en modo frágil, de manera muy parecida a los vidrios cerámicos. Sin embargo por encima de la

temperatura de transición vítrea fallan en forma dúctil, con evidente deformación extensa e incluso estricción antes de la falla.

Propiedades Ópticas.

Desde el punto de vista de su utilización, las propiedades ópticas más interesantes de los materiales plásticos, son las relacionadas con su capacidad de transmitir la luz, la transparencia, tomar color y disponer de brillo, que proporcionan a los objetos fabricados una apariencia visual estética de alta calidad.

Propiedades Térmicas.

Los polímeros industriales son malos conductores de calor, su conductividad térmica es similar a la de la madera. El fenómeno de la transmisión del calor por conducción de los materiales no metálicos en los que no existen los electrones móviles, puede considerarse como la transmisión del movimiento vibratorio de los átomos de mayor nivel energético continuos; esta transmisión resulta mucho más fácil cuando su estructura es cristalina, estando dispuestos los átomos ordenadamente en el espacio, que en los materiales amorfos.

Permeabilidad a los gases y vapores.

La utilización de los plásticos en el envasado de productos que pueden deteriorarse en contacto con el oxígeno o el vapor de agua atmosférico (como es el caso de los aceites vegetales que se enrancian si en el envase no es suficiente impermeable al oxígeno) y también de líquidos que deben mantener disueltos gran cantidad de gases (como las bebidas carbónicas o gaseosas) obligan a considerar el fenómeno de la permeabilidad de los gases y vapores a través de los filmes de materiales plásticos, pues es la forma más generalizada de su empleo como envases.

Estabilidad a las altas temperaturas y comportamiento en el fuego.

Una limitación del uso de los materiales plásticos convencionales se debe principalmente a la pérdida de las características físicas que tienen lugar a temperaturas relativamente bajas, para exposiciones de larga duración. A esas temperaturas ya es perceptible una cierta degradación química: las cadenas moleculares se separan reduciendo progresivamente el peso molecular; se separan moléculas sencillas originadas por condensación (HCl por ejemplo en el PVC) y otros residuos orgánicos volátiles y en contacto con el aire se verifica una oxidación acelerada que progresa según mecanismo de peroxidación mediante radicales libres. La combustión de los plásticos produce gran cantidad de gases tóxicos como el CO₂, HCl e incluso, el fosgeno (cuando arden polímeros a base de hidrocarburos clorados en determinadas circunstancias).

Resistencia a los disolventes y radiactivos químicos.

En general puede afirmarse que los enemigos de los plásticos son los disolventes, por una parte, y los ácidos, bases y los oxidantes fuertes, por la otra. Los disolventes perjudican la consistencia del material, produciendo un hinchamiento (que corresponde a una solvatación) cuando no la misma disolución. En ambos casos las propiedades físicas del polímero resultan gravemente afectadas.

Mezclas y Aleaciones.

Es posible mejorar las propiedades mecánicas de muchos termoplásticos por medio de mezclas y aleaciones. Al mezclar un elastómero no miscible con el termoplástico se produce un polímero de dos fases, como en el ABS. El elastómero no se introduce en la estructura como un polímero pero en cambio contribuye a absorber la energía y a mejorar la tenacidad. Los policarbonatos utilizados para construir cabinas transparentes de aeronaves son endurecidos de esta manera mediante elastómeros.

APLICACIONES

Los polímeros se utilizan en un número sorprendente de aplicaciones, incluyendo juguetes, aparatos domésticos, elementos estructurales y decorativos, recubrimiento, adhesivos, llantas de automóvil y empaques

El polietileno se usa para producir películas para empaque, aislamiento eléctrico de hilos conductores, botellas blandas, recubrimiento de extrusión, cortinas, manteles, cubiertas para la construcción, estanques, invernaderos, bolsas de basura, tuberías y elementos caseros. El cloruro de polivinilo o más conocido como el PVC se utiliza para fabricar tuberías, válvulas, loseta de piso, aislamiento eléctrico de hilos para conductores, y techos de vinil para automóviles. El polipropileno se utiliza para la fabricación de tanques, aplicación en el moldeo por inyección de piezas de electrodomésticos, utensilios pequeños, piezas de automóviles, fibras para alfombras, cuerdas y empaques.

1.1.2 Termoestables

Los materiales termoestables son materiales reticulados en todas direcciones, es decir, sus macromoléculas se entrecruzan formando una red de malla cerrada. Esta disposición justifica que estos materiales no permitan cambios de forma mediante la aplicación de calor o presión después de haber sido enfriados por primera vez, de decir, solo se pueden deformar una vez. La densidad suele ser algo mayor que los otros polímeros, variando sus valores entre 1,3 y 2,3 g/cm³.

Son materiales que presentan muy buenas propiedades a temperaturas elevadas, alta resistencia térmica y química, son rígidos y presentan una buena dureza superficial y estabilidad dimensional. Sin embargo requieren procesos de fabricación muy lentos debido a que la reacción de polimerización tiene lugar durante la transformación y, además,

presentan unos acabados pobres en comparación con la mayoría de los termoplásticos. Por todo ello su uso ha disminuido en los últimos años.

Las propiedades mecánicas pueden mejorarse añadiendo al polímero un material de relleno como la fibra de vidrio. Este tipo de adición es muy frecuente, lo que permite obtener materiales con unas propiedades muy superiores a los plásticos tradicionales. A este tipo de materiales se les llama compuestos o composites. Algunos de los termoestables más frecuentes son:

-Fenoles: formados por la reacción de fenol con formaldehido, son utilizados para hacer el plástico conocido como baquelita. Su principal aplicación está en la rama eléctrica debido a que son buenos aislantes eléctricos y térmicos, además de tener un bajo coste. (Ver fig. 2)

-Resinas epoxi: utilizadas como adhesivos debido a sus buenas propiedades de adherencia, así como un buen comportamiento mecánico. En la industria tienen una gran importancia ya que constituyen uno de los materiales matriz más importante para formar los materiales compuestos de matriz polimérica.

-Poliésteres insaturados: se utilizan también reforzados con fibra de vidrio para formar materiales compuestos de gran resistencia. Se utilizan en automoción, embarcaciones pequeñas, y , debido a su gran resistencia a la corrosión , se emplean para hacer tuberías y conductos.

-Poliuretano: presenta una gran dureza, flexibilidad y resistencia a la abrasión. Se conforma fácilmente y se prepara con formulaciones muy versátiles, de manera que se pueden obtener polímeros de poliuretano con propiedades muy variadas. Especialmente importante es la espuma de poliuretano, que se obtiene añadiendo un agente espumante a los monómeros iniciales. (Ver fig. 3)



Figura 2 Artículos fabricados con baquelita



Figura 3 Espuma de poliuretano

1.1.3 Elastómeros

Este tipo de polímeros suelen conocerse con el nombre de **cauchos**. Cuentan con la particularidad de ser muy elásticos pudiendo incluso, recuperar su forma después de ser deformado. Debido a estas características, los elastómeros, son el material básico de fabricación de otros materiales como la goma, ya sea natural o sintética, y para algunos productos adhesivos.

A modo más específico, un elastómero, es un compuesto químico formado por miles de moléculas denominadas monómeros, los que se unen formando enormes cadenas. Es



gracias a estas grandes cadenas que estos polímeros son elásticos ya que son flexibles y se encuentran entrelazadas de manera muy desordenada. Cuando un elastómero es estirado, sus moléculas se alinean, permitiendo que muchas veces tomen un aspecto cristalino. Sin embargo, una vez que se suelta, rápidamente, vuelve a su estado original de elástico desorden. Lo anterior distingue a los elastómeros de los polímeros plásticos.

La mayoría de estos polímeros son hidrocarburos, por lo

Figura 4 Traje elaborado con elastómeros

tanto, están conformados por hidrógeno y carbono, y se obtiene en forma natural del polisopreno que proviene del látex de los árboles. Otra manera de obtener un elastómero es a partir de la síntesis de petróleo y gas natural.

Para modificar algunas de las características de los elastómeros, es posible añadir otros elementos como el cloro, obteniendo así el neopreno tan utilizado en los trajes de buceo. (Ver fig. 4)

Para poder darle un uso más práctico a los elastómeros, estos deben ser sometidos a diversos tratamientos. A través de la aplicación de átomos de azufre, este polímero se hace más resistente gracias a un proceso denominado vulcanización. Las ruedas de los vehículos son una aplicación de polímero vulcanizado,



Figura 5 Rueda vulcanizada

(Ver fig. 5). Si además se le agrega otro tipo de sustancias químicas es posible lograr un producto final bastante resistente a las amenazas corrosivas presentes en el medio ambiente. También, los elastómeros pueden ser utilizados para la fabricación de adhesivos. Para ello son disueltos en una solución de solventes orgánicos y luego, se le añaden ciertos adhesivos que mejoran su capacidad de adhesión y su durabilidad.

1.2 Polímeros con base de silicio

La **silicona** es un polímero inodoro e incoloro compuesto principalmente de silicio. La silicona es inerte y estable a altas temperaturas, lo que la hace útil en gran variedad de aplicaciones industriales, como lubricantes, adhesivos, moldes, impermeabilizantes y en aplicaciones médicas y quirúrgicas, como prótesis valvulares cardíacas e implantes de mamas. Se deriva de la roca de cuarzo y al ser calentado en presencia de carbono produce silicona elemental. Dependiendo de posteriores procesos químicos, la silicona puede tomar una variedad de formas físicas que incluyen aceite, gel y sólido. Por su versatilidad ha sido

usado con éxito en múltiples productos de consumo diario. Tal es el caso de lacas para el cabello, labiales, protectores solares y cremas humectantes.

Dada su baja reactividad ha sido ampliamente usada en la industria farmacéutica en confección de capsulas para facilitar la ingestión de algunos medicamentos, en antiácidos bajo la designación de meticona. Hay más de 1000 productos médicos en los cuales la silicona es un componente.



Figura 6 Prótesis mamarias de silicona

2. PROCESADO DE LOS POLÍMEROS : EXTRUSION

Debido al diferente comportamiento frente a la temperatura, el proceso utilizado depende si es material es un termoplástico, un termoestable o un elastómero. Los termoplásticos se calientan normalmente en condiciones suaves, generalmente hasta llegar a la fusión del material y se conforman antes de enfriarlos.

Sin embargo, los materiales termoestables no están completamente polimerizados cuando entran en la etapa de conformación, ya que una vez formado el polímero termoestable no se pueden deformar por calor (ya que son estables con la temperatura y no funden ni reblandecen), por lo que en esta etapa habrá que introducir el polímero sin acabar de polimerizar y necesitará una reacción química que entrecrece las cadenas, para formar el material totalmente reticulado. Se puede partir del llamado pre polímero, que es la mezcla de los monómeros pero sin que haya tenido lugar la reacción de polimerización; ésta se producirá posteriormente con la acción de un catalizador y/o calor. También se puede partir de los monómeros por separado e introducirlos de forma simultánea en el dispositivo que le vaya a proporcionar la forma final. El final de la polimerización se consigue por aplicación de calor y presión o por acción de un catalizador, bien a temperatura alta o bien a temperatura ambiente. Para la utilización de elastómeros se utilizan técnicas similares a las empleadas con los termoplásticos. Vamos a pasar a describir los principales métodos de procesado de los polímeros:

2.1. Introducción

La extrusión es un proceso continuo para producir semielaborados a partir de plásticos. La gama de productos se extiende desde los semielaborados más simples, como tubos, planchas y láminas, hasta los perfiles más complejos. En la extrusión, el plástico recibe una nueva forma, después de haber sido fundido completamente, por lo que este proceso se cuenta dentro de los procesos de moldeo.

2.2 Equipo de extrusión

- **Extrusora**

La extrusora es el componente común a todas las líneas de extrusión y todos los métodos basados en ella. (Ver fig. 7) Tiene como misión hacer del plástico, que se le introduce en general como granza o polvo, una masa fundida homogénea, y obligarla a pasar por un molde.

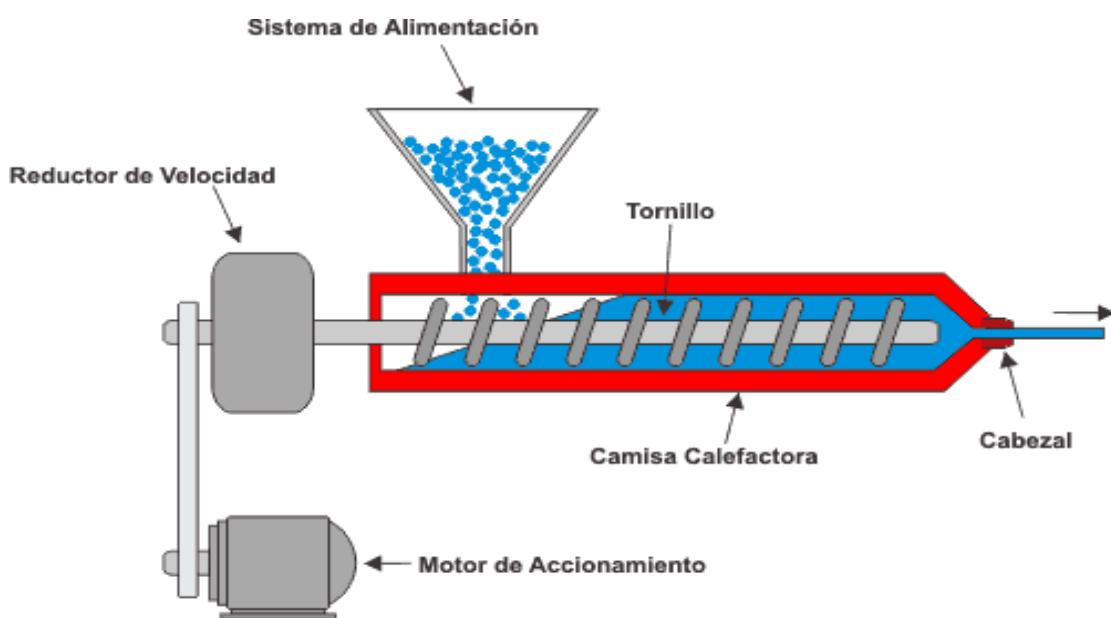


Fig. 7 Esquema de una extrusora

Una extrusora se compone de las siguientes partes:

Tolva (Sistema de alimentación)

La tolva proporciona al extrusor una alimentación continua del material durante el proceso. No todos los materiales tienden a fluir libremente, por ello que las tolvas suelen ir equipadas con un agitador complementario o cinta transportadora.

Husillo (Tornillo)

El husillo desempeña una multitud de funciones, incluye la alimentación, transporte, fusión y homogenización del plástico. Es el “corazón” del extrusor. El tornillo que más se usa es “el tornillo de tres zonas”, porque puede procesar mas termoplásticos satisfactoriamente contemplando aspectos térmicos y económicos. Por ello, lo vamos a considerar como representativo de todos los husillos existentes. La figura 8 representa el esquema de un tornillo de tres zonas.

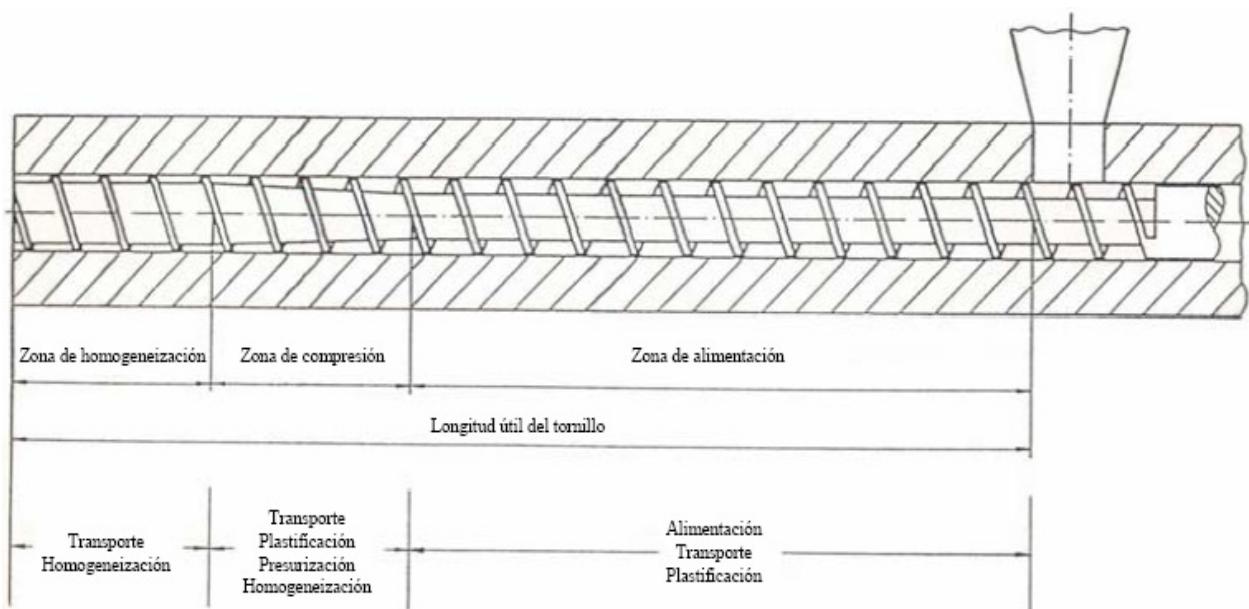


Fig. 8 Esquema de un tornillo de tres zonas

En la zona de alimentación, el material sólido accede desde la tolva al tornillo y entonces es forzado hacia adelante. En la zona de fusión, el material se comprime y funde por la fuerza de fricción que produce el tornillo al girar. En la zona de homogeneización, el material fundido se homogeneiza y consigue la deseada temperatura del proceso.

Una importante característica del husillo es la relación de su longitud y su diámetro L/D. Esta relación determina la eficiencia del extrusor.

Aparte de los husillos convencionales de tres zonas, se emplean otros husillos con otras formas para aplicaciones especiales. Independientemente de su diseño, todos los tornillos y todos los extrusores deben satisfacer las siguientes necesidades:

1. Transporte constante, prácticamente libre de pulsaciones.
2. Producción de una mezcla térmica y mecánicamente homogénea
3. Procesar los materiales por debajo de sus límites de degradación térmicos, químicos y mecánicos.

Cabezal o dado

El cabezal o dado tiene la función de tomar el flujo de materiales provenientes de la máquina extrusora, y formar la lámina en fracciones de segundo dando las principales



características al material formado tales como ancho deseado, rango de espesores, uniformidad en el perfil del producto u homogeneidad en la distribución del material plastificado. Lo más importante a destacar es que si el cabezal o dado no es eficiente en la formación efectiva del producto, es casi imposible luego corregir las deficiencias originadas en este cabezal.

(Ver fig. 9)

Fig. 9 Cabezal de una extrusora

Camisa calefactora

La fusión del material dentro de la extrusora no tiene lugar únicamente gracias a la fricción, sino también gracias al aporte externo de calor. De esto, se encarga el sistema de atemperado. El sistema se halla dividido en varias zonas, que pueden calentarse o

refrigerarse de forma independiente. Para ello se emplean usualmente bandas calefactoras, aunque pueden encontrarse sistemas alternativos, como los que emplean líquidos en circuito cerrado. De este modo se puede conseguir una determinada distribución de temperaturas dentro del cilindro. En la transformación de los materiales sensibles, se emplean a veces también husillos atemperados.

2.3 Diferentes tipos de extrusión de polímeros

1. Moldeo por inyección de plásticos

Constituye uno de los procedimientos más importantes en la fabricación de **termoplásticos**. El termoplástico que va a ser procesado se entrega en forma de bloques o en forma de polvo granular, llamado **granza** (Ver fig.10). El material en polvo se envasa en bolsas plásticas, muchas de las cuales se pueden cargar directamente en la caldera. Como los ingredientes no han sido calentados, el termoplástico en polvo podrá ser refundido hasta tres veces sin problemas.



Figura 10 Granza de polímero termoplástico

Los bloques, sin embargo, fueron fundidos y moldeados durante su fabricación. En el moldeo por inyección el material plástico se introduce en forma de gránulos (granza) mediante una tolva, a través de la que caen en un tornillo rotatorio impulsor, el cual

transporta el material hacia la parte anterior del molde. La rotación del tornillo fuerza los gránulos contra las paredes del cilindro, obligándoles a que se fundan debido al calor de compresión, al de fricción y al calor de las paredes del cilindro. Cuando en el molde, situado al final del tornillo, se encuentra suficiente material fundido, el tornillo se detiene y por un movimiento de pistón inyecta un chorro de plástico en el molde cerrado. El eje del tornillo mantiene una presión sobre el material plástico, este solidifica y luego se extrae la pieza del molde. El molde se cierra y se prepara otro ciclo. El ritmo de producción es muy rápido, de escasos segundos. Mediante este método de conformación se pueden realizar piezas de formas complejas, con alta calidad y relativamente bajo costo de trabajo. (Ver fig 11).



Fig. 11 Máquina de inyección de plásticos.

2. Moldeo por compresión

Se emplean polímeros **termoestables**. El factor más importante que interviene en este tipo de moldeo es la presión. El prepolímero debe ser precalentado y cargado en un molde caliente que contiene una o más cavidades. La parte superior del molde se fuerza hacia abajo sobre la resina, de manera que por la acción del calor y la presión aplicada se fuerza al material a llenar la cavidad o cavidades. Se debe mantener un tiempo en el molde

para que tenga lugar la reacción de polimerización y luego se extrae la pieza. Este procedimiento es muy sencillo y de bajo costo; sin embargo, presenta una rebaba que hay que eliminar y no es adecuado para piezas de geometría complicada o de elevada precisión geométrica. (Ver figura 12).

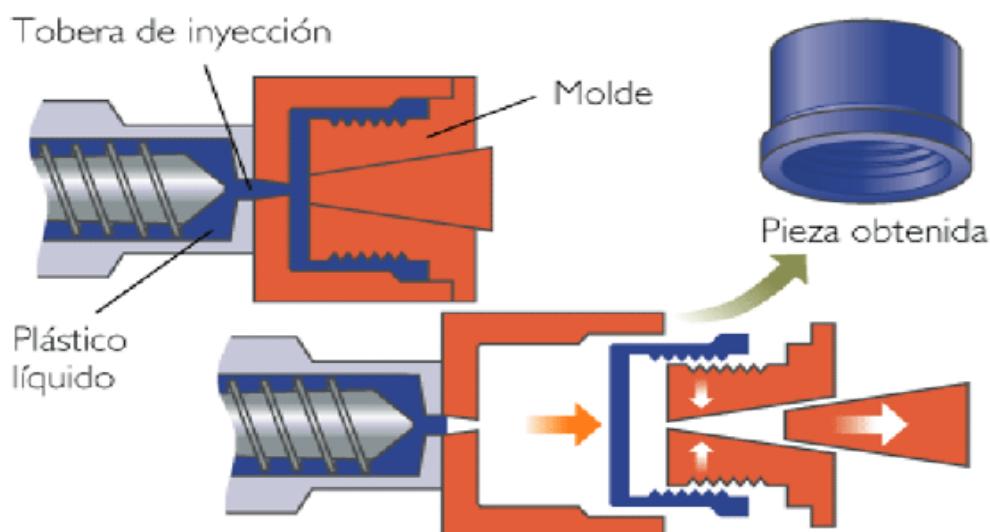


Fig. 12 Esquema del moldeo por compresión

3. Moldeo por transferencia

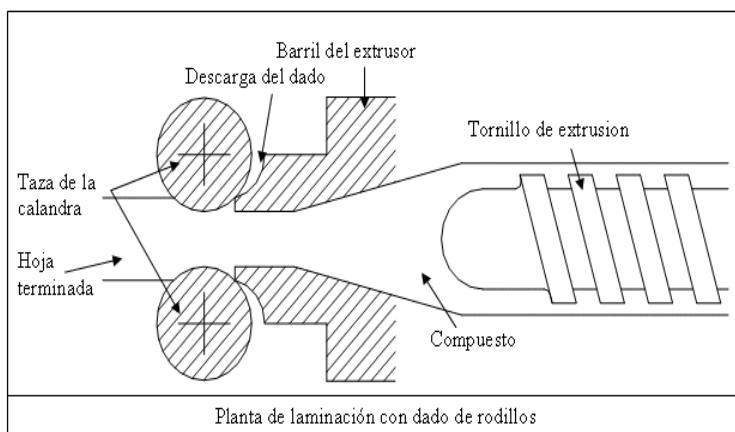
Este tipo de moldeo se utiliza para conformar polímeros **termoestables** y **elastómeros**. Es similar al moldeo por compresión, pero el prepolímero (o los monómeros) no se introducen directamente en la cavidad del molde, sino a través de una cámara exterior mediante la aplicación de presión para forzar al polímero a llenar todos los huecos y esquinas del molde. El plástico, una vez precalentado, se introduce en el molde por medio de un émbolo que lo presiona. Una vez introducido se espera un tiempo para acabar la polimerización y se extrae la pieza.

Las ventajas del moldeo por transferencia es que no aparecen las rebabas que salen en el moldeo por compresión y que se pueden realizar piezas de geometría más complicada o que eran difíciles de obtener por ese método. Por el contrario presenta una serie de desventajas frente al moldeo por compresión, los moldes sufren más abrasión de modo que

el mantenimiento es más costoso, los equipos son más caros y más complejos y, por último hay material que queda entre los canales tras el proceso y es material de desecho.

4. Calandrado

Se utiliza para materiales termoplásticos y elastómeros. El proceso se emplea para la fabricación de láminas y placas continuas. Consiste en pasar un polímero convertido en una masa blanda entre una serie de rodillos calentados. A medida que el polímero pasa a través de los rodillos se “forma” un producto uniforme. El último par de rodillos se ajustan



para dar el espesor deseado. El sistema de rodillos de enfriamiento da a las chapas o películas su estructura molecular permanente. (Ver fig. 13)

Fig. 13 Calandrado

El moldeo por soplado es un método para procesado de termoplásticos, mediante el cual pueden fabricarse cuerpo hueco. Por ser el método sobre el cual se va a desarrollar el presente estudio, va a ser explicado detalladamente en el siguiente apartado.

3.MOLDEO POR SOPLADO

Como ya se ha dicho previamente, el soplado de plásticos permite la fabricación de cuerpos huecos. Este proceso se compone de varias fases, la primera es la obtención del material a soplar, después viene la fase de soplado que se realiza en el molde que tiene la geometría final, puede haber una fase intermedia entre las dos anteriores para calentar el material si fuera necesario, seguidamente se enfriá la pieza y por último se expulsa. Para facilitar el enfriamiento de la pieza los moldes están provistos de un sistema de refrigeración así se incrementa el nivel productivo.

3.1 Moldeo por inyección-soplado

El moldeo por inyección-soplado consiste en la obtención de una preforma del polímero a procesar, similar a un tubo de ensayo, la cual posteriormente se calienta y se introduce en el molde que alberga la geometría deseada. En ocasiones se hace un estiramiento de la preforma inyectada, después se inyecta aire, con lo que se consigue la expansión del material y la forma final de la pieza y por último se procede a su extracción. A veces es necesario modificar el espesor de la preforma, ya sea para conseguir una pieza con diferentes espesores o para lograr un espesor uniforme en toda la pieza, pues en la fase de soplado no se deforman por igual todas las zonas del material. La ventaja de usar preformas consiste en que estas se pueden inyectar y almacenar, producir diferentes colores y tamaños, los cuales pueden hacerse en lugares distintos a donde se realizará el soplado. Las preformas son estables y pueden ser sopladas a velocidad alta según la demanda requerida.

3.2 Moldeo por extrusión – soplado

El moldeo por extrusión soplado es un proceso de soplado en el que la preforma es una manga tubular, conformada por extrusión, llamada **párisón**, el cual se cierra por la parte inferior de forma hermética debido al pinzamiento que ejercen las partes del molde al

cerrarse, posteriormente se sopla, se deja enfriar y se expulsa la pieza. Concretamente **este es el tipo de soplado que va a ser sometido a análisis.**

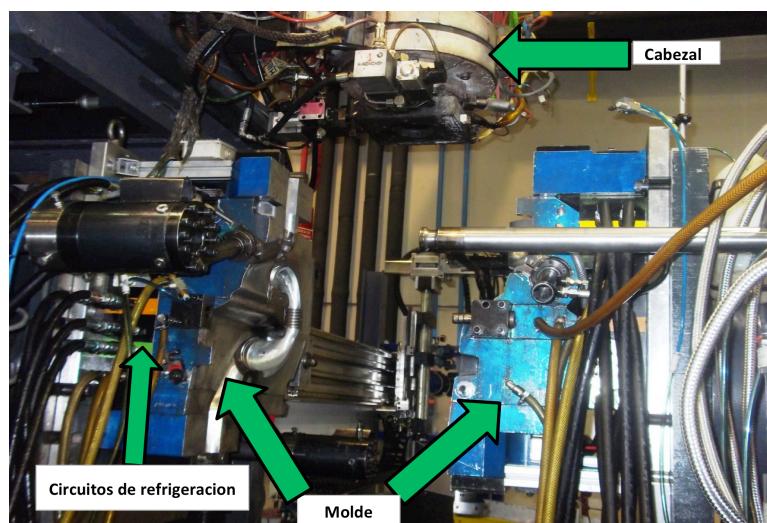
3.2.1 Componentes empleados

- Una extrusora
- Un molde de soplado
- Una estación de soplado.

La extrusora transforma el plástico en una masa fundida homogénea, como se ha descrito anteriormente. El cabezal adosado a ella desvía la masa proveniente de la misma hasta la dirección vertical, para después hacerla pasar por un molde que la convierte en una preforma tubular. Esta preforma o macarrón queda entonces pendiente hacia abajo.

El molde de soplado consta de dos partes móviles con la forma del negativo de la pieza a fabricar. Después de que el macarrón ha salido del cabezal de extrusión, el molde se cierra en torno a él, estrujándolo por abajo. Seguidamente, se desplaza el molde hacia la unidad de soplado.

Ya en la unidad de soplado, el cabezal de soplado penetra dentro del molde y, por tanto, del macarrón. Con ello, el cabezal da forma y calibra la región del cuello del cuerpo



hueco, y al mismo tiempo le insufla aire. Gracias al aire soplado, se origina dentro de la preforma una presión que la estampa contra las paredes del molde. De este modo la preforma adopta la forma deseada. En ese preciso

Fig. 14 Sopladora 2D

instante empieza el enfriamiento en el molde. El molde produce el corte y soldadura del parisón en el extremo cerrado, y moldea la forma de la abertura del recipiente. (Ver fig 14)

Para acortar en lo posible el tiempo de enfriamiento se induce dentro de la pieza una circulación de aire, gracias a un orificio de salida del aire que se practica en el cabezal de soplado. De este modo, el aire puede escapar a través de la válvula que ayuda a mantenerla presión interior. **Como medio de enfriamiento puede emplearse nitrógeno enfriado, además de aire con CO₂.** Después de que la pieza se ha enfriado lo suficiente como para tener una resistencia aceptable, se retira el cabezal de soplado, el molde se abre y la pieza se puede extraer.

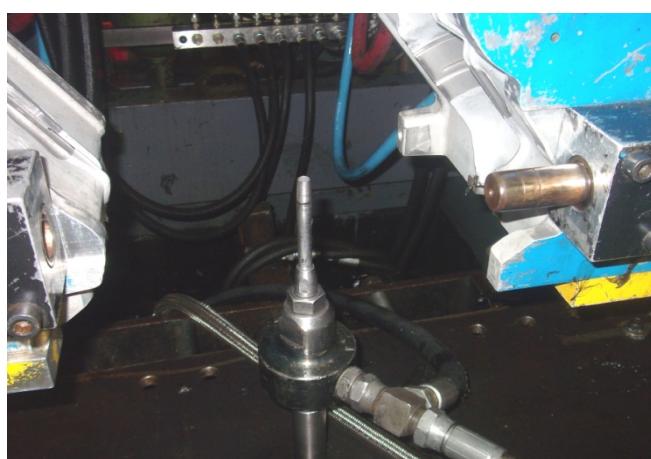
3.2.1 Tipos de soplado

-Soplado tradicional (2 D).

En el soplado tradicional, una vez que el parison ha sido expulsado, el molde se cierra en torno a él. Presenta la ventaja frente al soplado en 3D en que genera muy poca rebaba.

-Soplado 3D. Distinguimos entre:

-Moldeo en 3D por succión.



En este tipo de proceso el molde está cerrado durante la extrusión del proceso y una vez el material comienza a ser expulsado, **un flujo de aire** succiona el parisón a través del molde. (Ver fig. 15).

Fig. 15 Dispositivo empleado para la succionar el parison

Este proceso tiene un coste relativamente bajo respecto a los otros y permite la obtención de piezas a minimizando los tiempos de ciclo. Su principal desventaja es que su uso está muy limitado en la fabricación de ángulos y piezas complejas.

-Moldeo en 3D con manipulación del robot.

En este proceso, un robot coge el no todavía inflado parís y lo coloca dentro del molde. La principal ventaja que presenta es que permite la fabricación de piezas de geometrías complejas.

Como desventaja señalar, que los moldes son más caros que en otros procesos de soplado debido al número de deslizaderas y otras partes móviles que requiere.

3.3 Moldeo por coextrusión-soplado

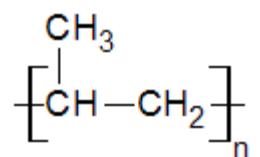
Mediante esta técnica de soplado se consigue productos multicapa. Esto puede interesar por diversas cuestiones como son: incluir diferentes características de permeabilidad, disminuir el costo de los materiales (al poder utilizarse materiales reciclados o de menor calidad), combinar características ópticas de los polímeros o crear efectos de colores iridiscentes. El párison extruido incluye todas las capas necesarias que en forma de tubo ingresan al molde, en la misma forma que el párison de monocapa. Además el control de espesor del párison se puede llevar a cabo al igual que en el proceso de extrusión-soplado.

4.TERMOPLÁSTICOS MAS EMPLEADOS EN EXTRUSIÓN-SOPLADO

Los materiales utilizados son polímeros termoplásticos. La limitación de estos materiales se presenta cuando se requiere trabajar a altas temperaturas. La temperatura máxima de uso es relativamente baja, variando entre 50°-230°C , aunque bien es cierto que hay algunos, como el PTFE o el sulfuro de polifenilo, que pueden llegar a temperaturas de utilización de cerca de 300°C.Los materiales que más se utilizan se detallan a continuación:

4.1 Polipropileno

El polipropileno es un termoplástico **semicristalino**, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador externo específico. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que es considerado como uno de los productos termoplásticos de mayor desarrollo en el futuro. Es un producto inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. Esta es una característica atractiva frente a materiales alternativos.



Hoy en día el polipropileno es uno de los termoplásticos más vendidos en el mundo, con una demanda anual estimada de 40 millones de toneladas. Sus incrementos anuales de consumo han sido próximos al 10% durante las últimas décadas, confirmando su grado de aceptación en los mercados.

La buena acogida que ha tenido ha estado directamente relacionada con su versatilidad, sus buenas propiedades físicas y la competitividad económica de sus procesos de

producción. Varios puntos fuertes lo confirman como material idóneo para muchas aplicaciones:

- Baja densidad
- Alta dureza y resistente a la abrasión
- Alta rigidez
- Buena resistencia al calor
- Excelente resistencia química
- Excelente versatilidad

Por la excelente relación entre sus prestaciones y su precio, el polipropileno ha sustituido gradualmente a materiales como el vidrio, los metales o la madera, así como polímeros de amplio uso general (ABS y PVC).

Las principales compañías petroleras del mundo producen polipropileno, bien sea por participación directa, o por medio de filiales. En el transcurso de los últimos años el volumen de negocio del polipropileno ha ido creciendo de manera significativa, tanto en el mundo como dentro del grupo.



Fig. 16 Granza de polipropileno



Fig. 17 Granza de polipropileno

4.2 Polietileno

El **polietileno** (PE) es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva $(\text{CH}_2-\text{CH}_2)_n$. Por su alta producción mundial (aproximadamente 60 millones de toneladas son producidas anualmente (2005) alrededor del mundo) es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes. Es químicamente inerte. Se obtiene de la polimerización del etileno (de fórmula química $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ y llamado **eteno**).

Una clasificación general basada en tres clases distintas de densidad es ahora generalmente aceptada en la industria.

Baja densidad	0,910 a 0,925 gr/cm ³
Mediana densidad	0,926 a 0,940 gr/cm ³
Alta densidad	0,941 a 0,965 gr/cm ³

Los polietilenos más densos son lógicamente más pesados, pero aún los artículos fabricados con los polietilenos de alta densidad flotarán en agua. Esta es una ventaja para el moldeador pues le permitirá obtener más volumen por cada kilogramo de polietileno que usando cualquier otro plástico.

A las temperaturas ordinarias es tenaz y flexible, y tiene una superficie relativamente blanda que puede rayarse con la uña. A medida que aumenta la temperatura, el sólido va haciéndose más blando y **finalmente se funde a unos 110 °C**, transformándose en un líquido transparente. Si se reduce la temperatura por debajo de la Temperatura de transición, el sólido se hace más duro y más rígido.

La pieza que va a ser ensayada no es exclusivamente polietileno sino que es una combinación de polietileno de media densidad (EPDM), finalmente mezclado en una matriz de polipropileno (PP). El nombre comercial del material es Alfater ®.



Fig. 18 Muestra de los tubos ensayados de Alfater®

-Presenta una baja distorsión después de aplicar esfuerzos de tracción y presión.

-Buena resistencia a los efectos de la intemperie y el ozono.

-Buena resistencia a las soluciones acuosas y muchos medios alcalinos.

-Excelente resistencia al envejecimiento a largo plazo en aire caliente (hasta 125 grados).

-Se utiliza tanto en moldeo por soplado como en inyección de plásticos.

Propiedades mecánicas	Valor	Unidad	Norma
<u>Densidad</u>	0.95	gr/cm ³	ISO 1183
<u>Tensión a la rotura</u>	65	MPa	ISO 37-2
<u>Resistencia a la tracción</u>	17	MPa	ISO 37-2
			ISO 868
<u>Dureza Shore D (15s)</u>	40	-	

Propiedades para cálculos reológicos	Valor	Unidad	Norma
Temperatura del molde	10-80	°C	ISO 294
Temperatura de fusión	200	°C	ISO 294
Temperatura de trabajo	100	°C	ISO 294

Tabla 1. Características principales de Alfater®

4.3 Poliamidas

Las poliamidas se originan por policondensaciones lineales de diamidas y de ácidos dicarboxílicos.

Todas las poliamidas absorben, relativamente, gran cantidad de humedad (en algunas clases de hasta el 10%). **El punto de fusión** de los tipos comerciales, según su composición **se halla entre 180-250°C**. Su viscosidad de fusión es muy reducida, lo cual hay que tenerlo en cuenta a la hora de trabajarlas. A temperaturas elevadas, las poliamidas son muy sensibles a la oxidación, tomando rápidamente un color de amarillo hasta castaño en contacto con el aire.

La estructura de las poliamidas es **amorfocristalina**. El enfriamiento lento de la fusión produce una estructura cristalina reforzada de gran dureza, rigidez y estabilidad a la fricción. El enfriamiento rápido aumenta la proporción amorfá y produce piezas más flexibles, de mayor ductibilidad. Para la extrusión y el soplado es conveniente utilizar las poliamidas plastificadas con una viscosidad de fusión más elevada.

Las especiales ventajas del material residen en su gran dilatación y tenacidad y su elasticidad frente a los disolventes orgánicos. Un inconveniente es la gran absorción a la humedad de las poliamidas (índice de saturación del 10%).

Las poliamidas poseen buena resistencia mecánica, tenacidad y resistencia al impacto elevada , buen comportamiento al deslizamiento y buena resistencia al desgaste.

-Su densidad varía entre 1,06-1,20 g/cm³.

- Es resistente a la gasolina, aceites, benzol, lejías, disolventes, cetonas, agua y ésteres.

-No resistente a ozono, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, agua oxigenada.

4.4 Elastomero termoplástico de éter-ester (TEEE)

Hytrel® es una marca registrada de la compañía Dupont de la familia de los elastómeros poliésteres termoplásticos. Las características comunes que comparten los plásticos Hytrel incluyen propiedades mecánicas y físicas, tal como excepcional dureza y resistencia, alta resistencia al impacto y a la fatiga, flexibilidad a bajas temperaturas y conservación de las propiedades a altas temperaturas. Además, es resistente a muchos productos químicos industriales, aceites y disolventes. Algunas de sus aplicaciones son en la industria de automóvil, muebles, artículos deportivos o equipamiento industrial.

Propiedades mecánicas	Valor	Unidad	Norma
<u>Densidad</u>	1.19	gr/cm ³	ISO 1183
<u>Tensión a la rotura</u>	30	MPa	ISO 527-1/-2
<u>Módulo de tensión de fluencia (1h)</u>	650	MPa	ISO 899-1
<u>Módulo de tensión de fluencia(1000h)</u>	320	MPa	ISO 899-1
<u>Res. impacto Charpy (-30°C)</u>	30	kJ/m ²	ISO 179/1eA
<u>Dureza Shore D (15s)</u>	52	-	ISO 868
<u>Densidad</u>	1190	kg/m ³	ISO 1183

Propiedades para cálculos reológicos	Valor	Unidad	Norma
Densidad de fundido	1040	kg/m ³	-
Conductividad térmica de fundido	0.16	W/(m K)	-
Capacidad térmica específica del fundido	2150	J/(kg K)	-
Temperatura de ejecución	110	°C	-

Tabla 2. Características principales de Hytre®

5.FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTRACCIÓN DE LOS PLÁSTICOS DESPUÉS DE HABER SIDO EXTRUIDOS.

En el ámbito del trabajo, definimos **la contracción** como el cambio de volumen que sufre una pieza cuando se enfriá una vez transformada. No hay que confundirlo con el concepto de distorsión o deformación que es el cambio de forma que sufre una pieza cuando se enfriá una vez transformada.

La contracción puede ser de tipo lineal o anisótropa .La contracción lineal es cuando un material se contrae de manera uniforme, cuando una pieza moldeada se contrae de manera no uniforme o no lineal se dice que su contracción es anisótropa .Debe estimarse la contracción que va a sufrir la pieza, aunque no es fácil a priori, debido a la multitud de factores que influyen. Por ello, se van a analizar los más influyentes para disminuir o al menos controlar, lo máximo posible la contracción de estos materiales. Un adecuado control de las condiciones de moldeo reducirá a un valor mínimo las variaciones dimensionales de las piezas.

La diferencia relativa entre dimensión del molde en frío, L_w, y dimensión de la pieza enfriada, L, (a las 24 horas de haber sido fabricadas), se denomina **contracción de transformación VS.** A causa de los cambios de estructura que se producen, esta última

suele ser en los plásticos parcialmente cristalinos superior a los amorfos. La contracción de transformación se expresa en %:

$$VS = ((L_w - L) / L_w) * 100$$

Con la contracción de transformación, todavía no concluye la disminución del tamaño de la pieza; la cual sigue contrayéndose hasta un determinado valor final, que se alcanza con mayor rapidez cuanto mayor es la temperatura durante el almacenamiento. Este proceso se llama **postcontracción, NS**. En los plásticos parcialmente cristalinos (como es objeto de este estudio), la postcontracción es siempre inferior a la contracción de transformación.

La suma de ambas recibe el nombre de contracción total, **GS**

$$GS = VS + NS$$

Los parámetros de proceso que más influyen en las piezas sopladas son:

-Temperatura de molde: la relación existente entre contracción de transformación y temperatura de las paredes del molde, impone que esta última sea lo más uniforme posible. Cuando aumenta la temperatura del molde, hace lo propio la contracción de transformación VS, pero disminuye la post contracción NS. Este hecho, implica que para obtener piezas dimensionalmente estables (de escasa post contracción), el molde debe encontrarse a la temperatura más alta posible, lo que supone aceptar una mayor contracción de transformación.

-Espesor de las paredes: tiene una influencia muy importante. Los espesores de paredes más reducidos, provocan un enfriamiento más rápido de la pieza moldeada. En cambio los espesores mayores, proporcionan una cristalización mayor y por tanto un incremento en la contracción. Por esta razón, debe diseñarse la pieza con el mínimo espesor de la pared

compatible con las exigencias de diseño y la facilidad de fabricación. Los materiales amorfos presentan un menor grado de contracción en relación al espesor de las paredes.

-Tipo de material: Es un factor determinante, porque cada material se comporta de una manera distinta, por ello se han estudiado los materiales más utilizados.

-Humedad(hidroscópicos): Es importante evitar la presencia de humedad en los materiales porque si la hubiera se pueden formar burbujas en las piezas procesadas. Los materiales deben ser secados antes de procesarlos.

-Temperatura de trabajo material: cuanto mayor sea la temperatura de trabajo del material, mayor sera las post-contraccion de la pieza.

-Tiempo de enfriamiento en el molde: El tiempo de enfriamiento de la pieza dentro del molde influye en la temperatura de salida de la pieza. De ahora en adelante, vamos a considerar la temperatura de la pieza a la salida inmediatamente despues de haber sido abierto el molde y una vez es recogida.

-Geometría del producto: esto es aplicable a las variaciones de espesor de pared y la forma de la superficie.

-Condiciones de moldeo: esto incluye la preparación de la máquina, temperaturas de enfriamiento del molde y carga.

-Condiciones de la máquina de moldeo: la velocidad, las presiones, la precisión en el tiempo y el control de la temperatura afectan en la contracción.

6. CONTROL DEL COMPORTAMIENTO DE LA CONTRACCIÓN DE PLÁSTICOS.

Los materiales a ensayar van a ser los plásticos ya mencionados con anterioridad. Se van a realizar mediciones de temperatura, espesor y diámetros interiores de las diferentes piezas. Estas van a ser piezas que se están procesando en las diferentes máquinas de soplado de la empresa Mann Hummel.

El equipo utilizado para obtener los diferentes valores dimensionales es el descrito a continuación:

-Calibre pie de rey digital

-DEFINICIÓN: es un instrumento para medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, desde centímetros hasta fracciones de milímetro. La precisión de esta herramienta llega a la décima, a la media décima de milímetro e incluso llega a apreciar centésimas de dos en dos (cuando el nonio está dividido en cincuenta partes iguales).

-APLICACION EN EL ESTUDIO: Va a ser utilizado para medir diámetros interiores en las piezas del material Alfater ® y se van a tomar las medias en cuatro diagonales, para realizar la posterior media aritmética de estas.

-INCERTIDUMBRE: 0.02 mm



Fig. 19. Pie de rey electrónico

Cronómetro

-DEFINICIÓN: es un reloj o una función reloj utilizada para medir fracciones temporales, normalmente breves y precisas.

Medidor de espesores electrónico

-DEFINICIÓN: instrumento utilizado para medir pequeños espesores.

-FUNCIONAMIENTO: consta de dos garras que se abren y se ajustan a la medida que se quiere tomar. Automáticamente, aparecerá la lectura de la medida en la pantalla.

-APLICACIÓN EN EL ESTUDIO: Debido a que las piezas a medir presentan una geometría no uniforme, no se ha podido medir los diámetros interiores con un pie de rey convencional y recurrido a este equipo.

-INCERTIDUMBRE: 0.01 mm



Fig. 20. Medidor de espesores electrónico

-Novómetro

-DEFINICIÓN: instrumento utilizado para medir diámetros interiores

-FUNCIONAMIENTO: Mide diámetros comprendidos entre 55 y 100 mm. A través de la ruleta lateral, se ajustara la varilla metálica al diámetro exterior

-APLICACIÓN EN EL ESTUDIO: Debido a que las piezas al ser extraídas de la sopladora presentan una temperatura elevada (pudiendo llegar a las 90 grados en algunas zonas), el polímero esta en un estado muy deformable y al medir con un pie de rey, no se obtiene medidas fiables debido a la ductibilidad de la pieza en ese momento

-INCERTIDUMBRE: 0.1 mm



Fig. 21. Novómetro

Medidor de temperaturas electrónico

-**DEFINICIÓN:** es un dispositivo que nos permite medir la temperatura de cualquier objeto a distancia y sin establecer contacto con el mismo. Esto supone una gran ventaja a nivel de seguridad y comodidad en muchas situaciones en las que es complicado o peligroso acercarse al elemento que queremos que tomará la temperatura en cuatro puntos y se utilizará la media de estos.

-**FUNCIONAMIENTO:** estos dispositivos obtienen la temperatura del objeto al que apuntemos de manera instantánea, a través de una lente que detecta la radiación infrarroja emitida por el punto al que lo dirigimos. Los cristales y las superficies pulidas pueden falsear las temperaturas obtenidas con estos aparatos.

-**APLICACIÓN EN EL ESTUDIO:** se han tomado las temperaturas de las piezas, del molde o del parison. El medidor laser ha sido de gran utilidad porque se ha podido tomar la temperatura de macarrón mientras está penetrando en el molde, o la temperatura del molde mientras está trabajando. Con un medidor de temperaturas de contacto no habría sido posible.



-**INCERTIDUMBRE:** +/- 1 grados

Fig. 22. Medidor de temperaturas electrónico

Calibre pasa/no pasa

-**DEFINICIÓN:** Dispositivos con un tamaño estándar establecido que realizan una inspección física de características de una pieza para determinar si la característica de una pieza sencillamente pasa o no pasa la inspección. No se hace ningún esfuerzo de determinar el grado exacto de error.

-**FUNCIONAMIENTO:** Un pasa o no pasa se fabrica para ser una replica inversa de la dimensión de la parte y se diseña para verificar la dimensión de uno o más de sus límites

de tolerancia. Un pasa o no pasa con frecuencia tiene dos calibradores en uno, el primero comprueba el límite inferior de la tolerancia en la dimensión de la parte y el otro verifica el límite superior.

-APLICACIÓN EN EL ESTUDIO: todos los tubos de soplado pasan por un calibre P/NP, por lo que cuando se han hecho medidas sobre las piezas en las condiciones de diseño se han utilizado como referencia de la variación de diámetro.

-INCERTIDUMBRE: Las tolerancias dependen de la pieza que va a ser medida y de acuerdo a las condiciones establecidas según plano.



Fig. 23. Calibre pasa/no pasa

7.ENSAYOS REALIZADOS SOBRE ALFATER*

7.1 Introducción

En este capítulo se van a presentar los resultados tanto numéricos como gráficos.

Tal y como hemos explicado, se medirá el diámetro interior de la pieza, su espesor y la temperatura en función del tiempo transcurrido tras la salida del molde.

En primer lugar, voy a describir el proceso de fabricación de la pieza. El material plástico (macarrón) penetra en el molde y comienza el ciclo de soplado. Pasados 32 segundos (tiempo de ciclo) se abre el molde y la pieza cae a una cinta transportadora, donde poco después la recogerá un operario.

El proceso cuenta con dos operarios, el primero de ellos recoge la pieza de la cinta transportadora y la coloca en una rampa de enfriamiento para que se estabilicen sus dimensiones. Luego coge una pieza de la rampa que ya ha sido enfriada y comprueba con un calibre pasa/no pasa que las piezas cumplen las especificaciones de plano. El segundo operario monta unas abrazaderas, las atornilla y las coloca en las cajas finales de almacenaje.

En el presente ensayo se tomaron medidas sobre las piezas inmediatamente después de haber sido procesadas (obviando todos los pasos posteriores del proceso) y se fueron repitiendo con regularidad durante las primeras horas, y más espaciadas en el tiempo tras el transcurso de estas. Se escogieron ocho muestras, dos según diseño, dos aumentando el espesor, dos disminuyendo el espesor y finalmente otras dos piezas variando la temperatura pieza. Cabe señalar que para este tubo soplado, por su geometría, cuando el operario 1 lo coge de la rampa ya tiene una temperatura relativamente baja si la comparamos con otros tubos de otros procesos.

La siguiente tabla (fig 24) recoge las temperaturas superficiales de las bocas a la salida del molde y los espesores de las bocas. **La temperatura del molde para todos los ensayos es de 40 °C, y la temperatura del parison es de 170 °C.**

	Temp pieza (24°C)	Temp proceso (29°C)	Temp pieza (32°C)
Espesor 1.7mm	pieza 9+ pieza 10	pieza 5+pieza 6	
Espesor 2.1 mm	pieza 7 + pieza 8	pieza 1 + pieza 2	
Espesor 4 mm		pieza 3+ pieza 4	pieza 11+pieza 12

Fig. 24. Resumen de las temperaturas y espesores de las piezas ensayadas

En el presente estudio, cuando se habla de espesor siempre nos vamos a referir al espesor en la boca del tubo soplado, así como cuando decimos diámetro interior estaremos hablando del diámetro interior en la boca. Para obtener diferentes espesores, fue necesaria la ayuda de un técnico las máquinas sopladoras. Es posible modificar los espesores gracias a un dispositivo que va acoplado al cabezal de la sopladora que recibe el nombre de **hilera**.



Fig. 25. Hilera utilizada en soplado por succión

Cuando se habla de temperatura de la pieza se refiere a la temperatura exterior de la pieza. Para conseguir diferentes temperaturas en la pieza, el técnico de las máquinas sopladoras, aumentaba o disminuía el tiempo de ciclo. En el caso en el que la pieza se recoge a 24°C, el tiempo de ciclo fue de 60", la pieza ya había enfriado en el molde. Cuando se quiso una temperatura de pieza mayor, se disminuyó el tiempo de ciclo.

7.2. Resultados de los ensayos

Tal y como hemos explicado, se medirá el diámetro interior de la pieza, su espesor, y la temperatura en función del tiempo transcurrido tras la salida del molde. Para obtener unos resultados concretos en los que basarnos se tomaron dos muestras por cada modificación de parámetros, pero se muestra una de ellas por la similitud de los resultados.

El espesor del tubo no es uniforme en todo el diámetro pero si que se mantiene constante a lo largo del tiempo, la variación es del orden decimal y es debida al aparato de medida.

Tubos con espesor nominal 2,1 mm y Temperatura pieza 27°C(1 Y 2)

La siguiente figura (fig. 26) presenta los datos correspondientes a la media de los diámetros interiores de la pieza,

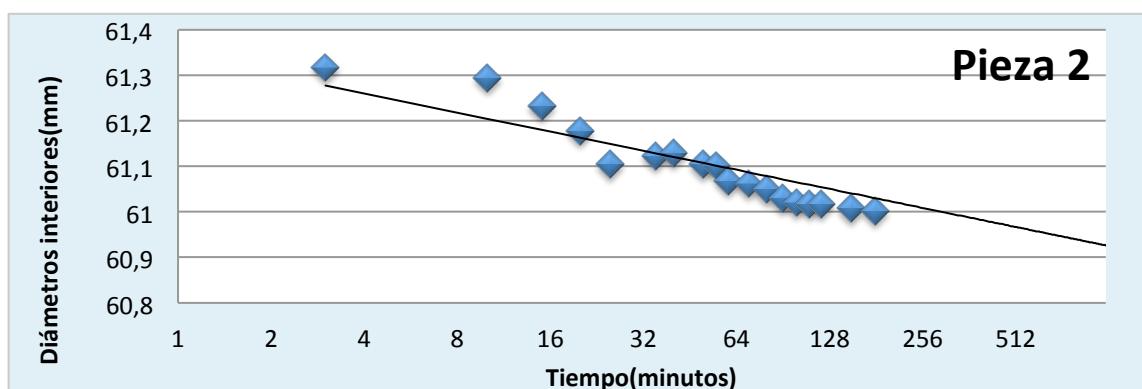


Fig. 26. Diámetros de las bocas frente al tiempo

La contracción máxima que experimenta el material a lo largo de 24 horas es de **0.39 mm**. Transcurridas **las dos primeras horas**, el material prácticamente no contrae. En la gráfica solo queda manifiesto hasta el minuto 180 pero se siguieron tomando medidas durante una semana, e incluso meses y el diámetro permanecía invariable.

La temperatura de la superficie a la que es recogida la pieza es de 30 °C y va disminuyendo gradualmente hasta que estabiliza con la temperatura ambiente. Transcurridos los 5 primeros minutos, la temperatura superficial de la pieza se estabiliza a 27 °C, en cambio, podemos observar que la pieza sigue disminuyendo sus dimensiones. Esto es debido a que el núcleo de la pieza continúa estando a altas temperaturas y las cadenas interiores todavía no se han estabilizado. La gráfica 27 presenta la variación de temperatura que sufre a lo largo del tiempo. Como podemos ver, las piezas han enfriado dentro del molde y van a enfriar hasta la temperatura ambiente.

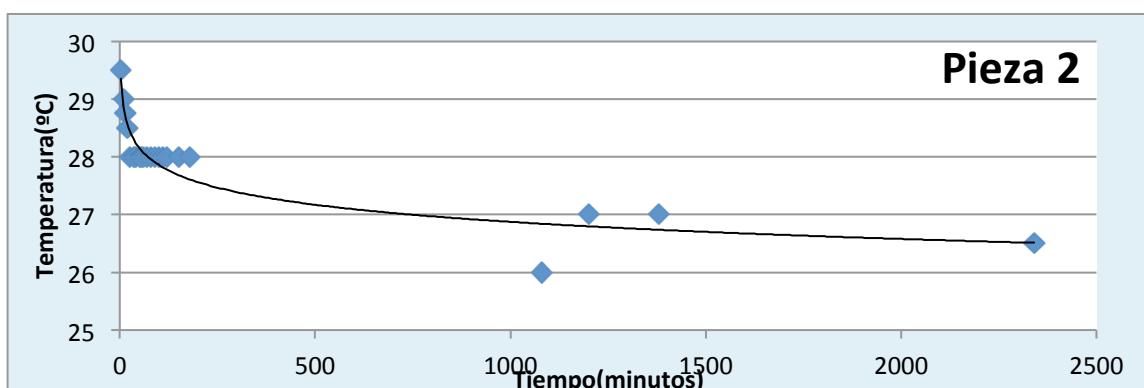


Fig. 27. Temperatura de las bocas a lo largo del tiempo

En la figura 28 vemos como el espesor permanece invariable a lo largo del tiempo y esto va a darse en todas las piezas ensayadas. La contracción solo afecta al diámetro de la boca, no al espesor.

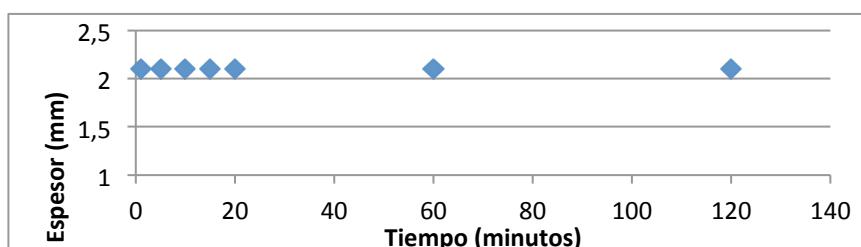


Fig. 28. Espesor de las bocas a lo largo del tiempo

Tubos con espesor de 3 mm y Temperatura pieza 27°C(3 y 4)

En este caso, la contracción máxima es de **0.33 mm** a lo largo de las primeras 24 horas. La diferencia con el anterior radica en que le cuesta más tiempo estabilizarse. Hasta que no han pasado **trescientos minutos no deja la pieza de contraer**. Como hemos aumentado el espesor, transcurre más tiempo hasta que se ha enfriado toda la pieza. La figura 29 y 30 representan los valores de los diámetros interiores en función del tiempo.

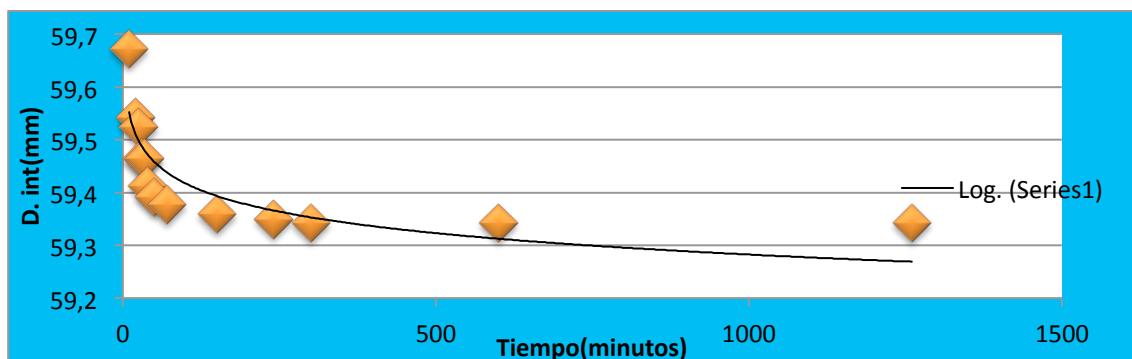


Fig. 29. Diámetro de las bocas a lo largo del tiempo

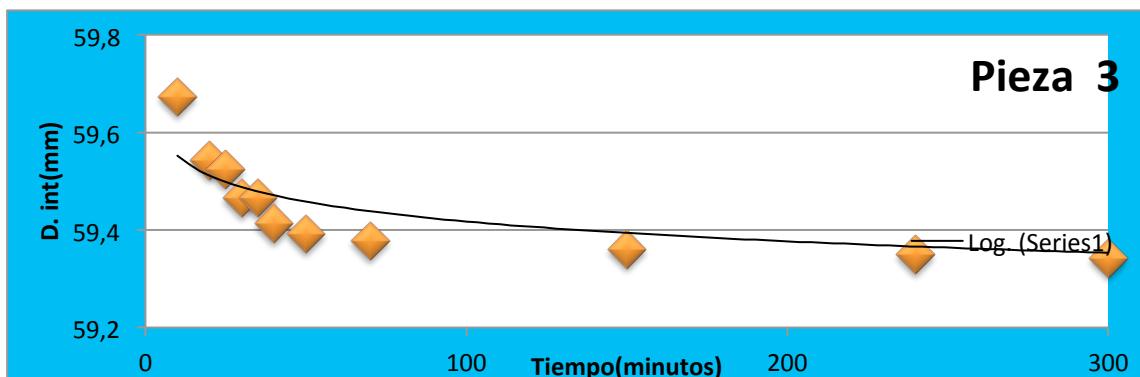


Fig. 30 Diámetro de las bocas a lo largo del tiempo en los primeros 300 minutos

Respecto al caso anterior, como hemos aumentado el espesor, el tiempo de estabilización de la pieza es mayor. Al haber más material, se necesita más tiempo para que el núcleo alcance la misma temperatura que la exterior. (T ambiente).

Tubos con espesor de 1.7 mm y Temperatura pieza 27°C(5 y 6)

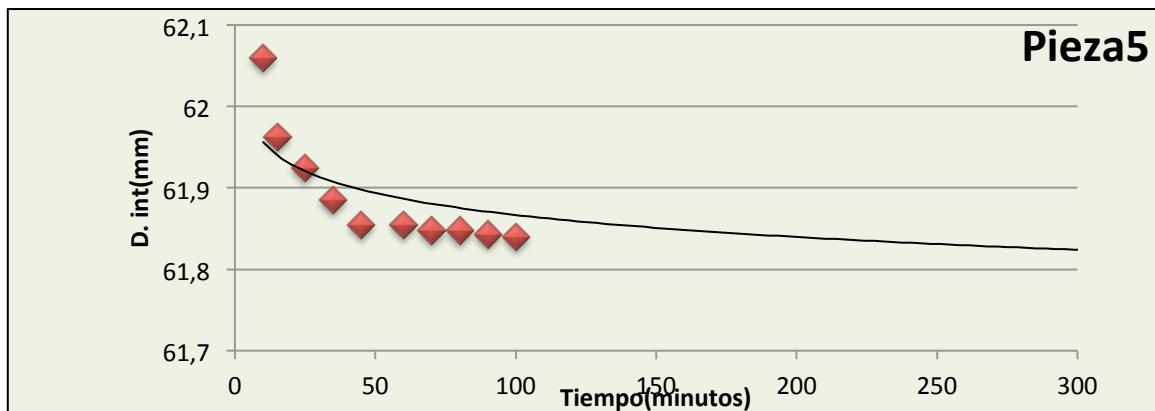


Fig. 31 Diámetro de las bocas a lo largo del tiempo en los primeros 300 minutos

La figura 31 representa como varía el diámetro a lo largo del tiempo para un espesor menor. En este caso, **se ha disminuido el espesor hasta 1.7 mm**, manteniendo la temperatura pieza constante a 27°C. La contracción máxima es de **0.24 mm** a lo largo de las primeras 24 horas. Como la pieza ahora presenta un espesor menor, enfriá antes y a partir de los cien minutos prácticamente no contrae.

Respecto a la temperatura, varía muy poco porque sale del molde ya prácticamente a temperatura ambiente. La temperatura pieza es de 29 ° C, inmediatamente después de salir del molde. En pocos minutos, se estabiliza a temperatura ambiente 27°C.

Tubos con espesor nominal 2.1 mm y Temperatura pieza 24°C(7 y 8)

Ahora ha habido un cambio importante y es que se ha disminuido la temperatura pieza a 24°C, para ello se ha aumentado el tiempo de ciclo a 62 segundos, frente a los 32 segundos iniciales del proceso. Como era de esperar, la pieza deja de contraer mucho antes, puesto que ya ha estado enfriando ya durante un tiempo y sale más estable. Contrae menos fuera del molde, porque ya lo ha hecho dentro del mismo. Los circuitos de refrigeración de la sopladora han reducido la temperatura superficial hasta los 24 °C.

La contracción máxima es de **0.38 mm**, pero es importante señalar que este valor queda contraído prácticamente en los treinta primeros minutos y, pasados los treinta primeros minutos ya casi no contrae. En el minuto 90 la pieza estabiliza totalmente sus dimensiones y estas permanecerán invariables posteriormente. La figura 32 representa la variación del diámetro interior frente al tiempo.

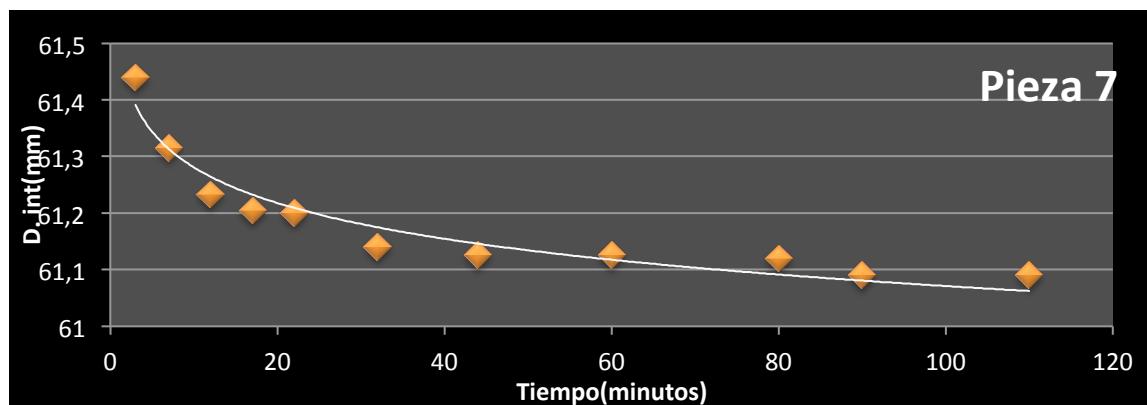


Fig. 32 Diámetro de las bocas a lo largo del tiempo en los primeros 120 minutos

La figura 33 representa la variación de la temperatura en función del tiempo, a diferencia de los casos anteriores, ahora sale del molde a 24°C y en los minutos inmediatamente posteriores, aumenta 3°C (hasta la T ambiente). Como ya hemos dicho, el molde soplado tiene incorporado un sistema de refrigeración, por lo que si hubiera estado mas tiempo habría alcanzado una menor temperatura superficial.

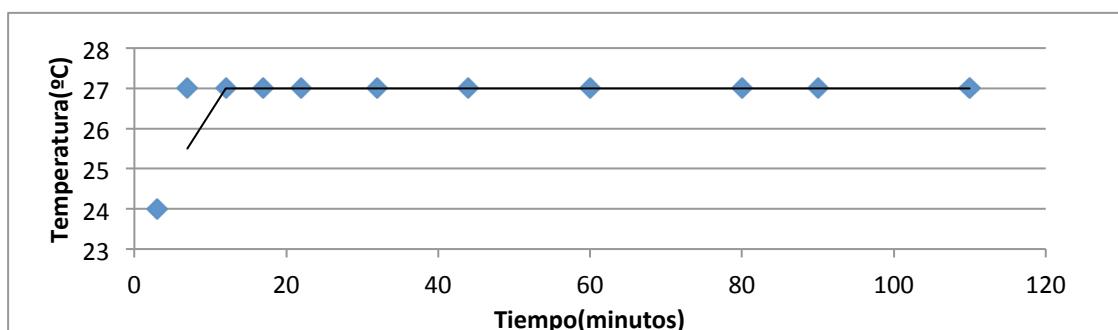


Fig. 33 Variación de la temperatura en el tiempo

Tubos con espesor 1.7 mm y Temperatura pieza 24°C(9 y 10)

Ahora se va a analizar un caso extremo, la mínima temperatura de la pieza y un espesor bajo. La figura 34 representa la variación del diámetro interior frente al tiempo

La pieza a los 45 minutos deja de contraer, y la contracción máxima en esta caso es de 0.27 mm.

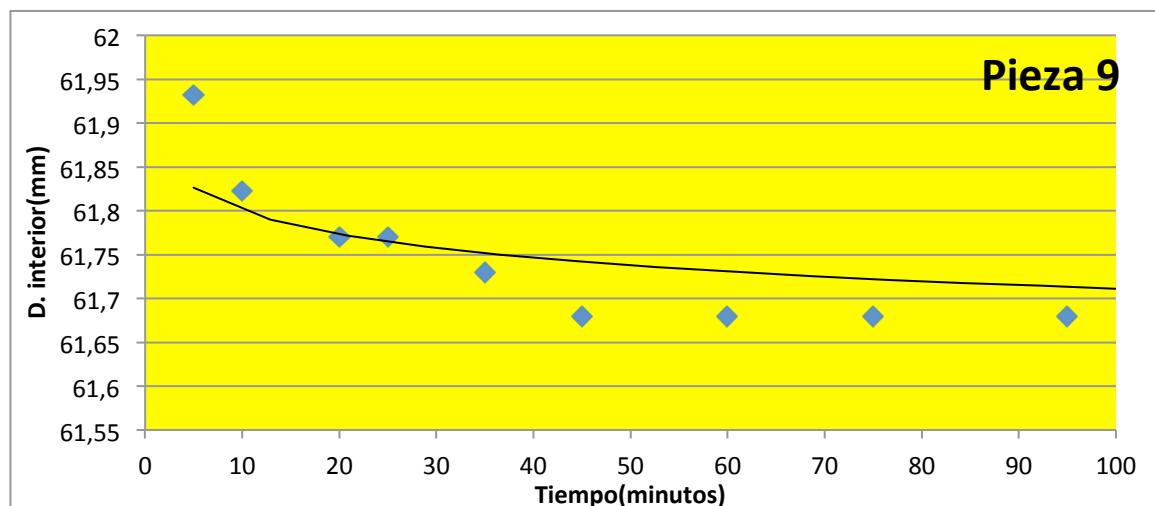


Fig. 34 Gráfica del diámetro interior frente al tiempo

La gráfica 35 representa la variación de temperatura frente al tiempo. Sucede lo mismo que en el caso anterior, la pieza sale a 24°C y aumenta progresivamente hasta estabilizarse con la temperatura ambiente a 27°C.

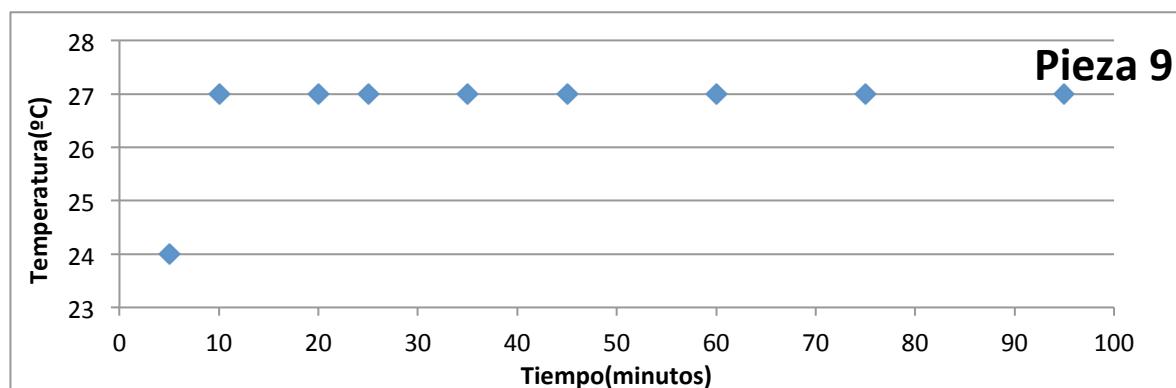


Fig. 35 Gráfica de la temperatura frente al tiempo

Tubos con espesor nominal 3 mm y Temperatura pieza 32*C(11 y 12)

La figura 36 representa los variación de los diámetros respecto del tiempo, como podemos comprobar, la máxima contracción es de 0.37 mm y deja de contraer a los 300

minutos, son prácticamente los mismos resultados que para una temperatura de 27 °C. Lo que implica que para este material, una variación de temperatura de la pieza no afecta al valor de contracción de la pieza.

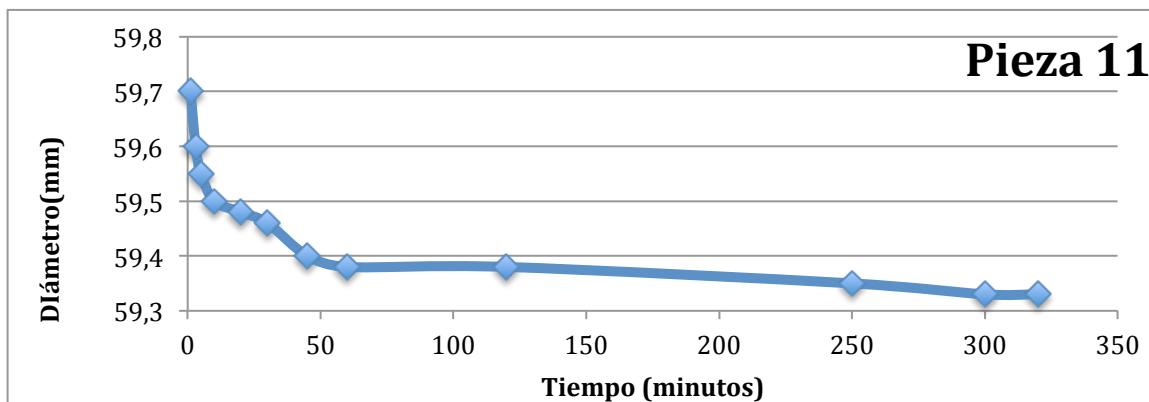


Fig. 36 Gráfica de los diámetros frente al tiempo

La gráfica 37 representa la variación de temperatura frente al tiempo. Como podemos ver, la pieza es recogida a mayor temperatura que en los casos anteriores, pero la diferencia no es considerable respecto de una pieza con el mismo espesor y menor temperatura a la salida.

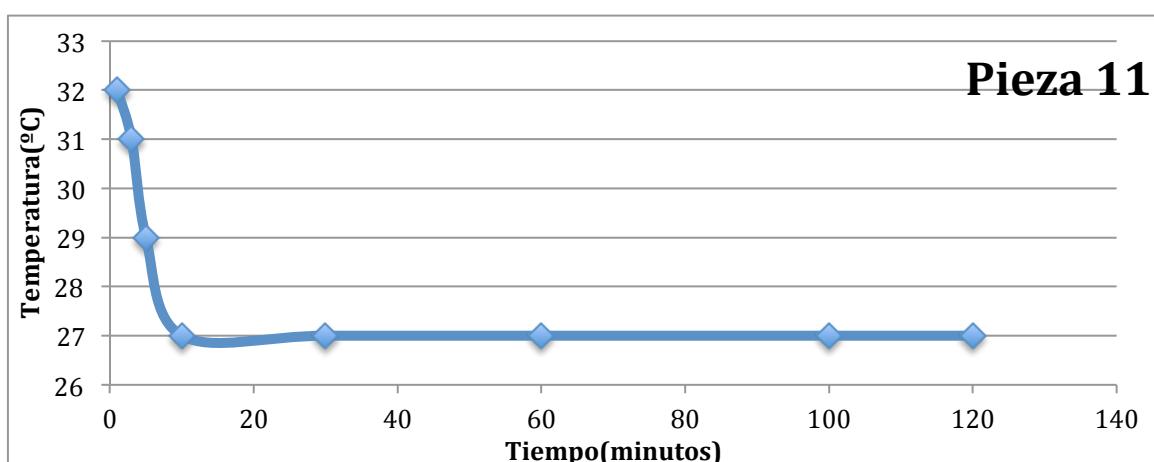


Fig. 37 Gráfica de la temperatura frente al tiempo

7.3 Conclusiones sobre Alfater®

-El parámetro que determina el valor de las piezas es el espesor. Cuanto mayor sea el espesor mayor será la contracción.

-El tiempo de estabilización de las dimensiones de las piezas depende del espesor de las bocas. Piezas de menor grosor, lograran estabilizar sus dimensiones en un periodo más breve de tiempo. El mayor tiempo de estabilización ha sido de trescientos minutos para las piezas de espesor 3mm y una temperatura de pieza mayor, lo que implica que todas las piezas van a estabilizar sus dimensiones por debajo de este valor.

-La temperatura de salida de la pieza no es un factor determinante en el valor de la contracción, pero sí lo es en el tiempo de estabilización de sus dimensiones. En el caso que recogimos la pieza a 24 °C, lo que se hizo fue aumentar el tiempo de ciclo de la sopladora, es decir, los circuitos de refrigeración del molde aceleraron el proceso de enfriamiento, es por eso que estaba a menor temperatura. Cuando la pieza se recogió a 32°C, se disminuyo el tiempo de ciclo esta. Es por ello, que en el siguiente estudio, no se van a variar los parámetros de temperatura de la pieza.

-En soplado de plásticos, se trabajan con espesores comprendidos entre 1.5 y 3 mm. Gracias a este estudio, hemos comprobado que la tendencia de este material tras haber sido soplado es de reducir sus dimensiones hasta un máximo de 0.4 mm (dependiendo del espesor) y nunca va a seguir reduciendo sus dimensiones por encima de los trescientos minutos de haber sido procesada.

-Todas las piezas que han sido sopladas estabilizan su temperatura exterior a la temperatura ambiente pocos minutos después de haber salido de la sopladora. El hecho de que la pieza siga contrayendo se debe a que el núcleo de la pieza todavía permanece a alta

temperatura, y no esta no dejara de reducir sus dimensiones hasta que todo la pieza alcance la misma temperatura., interior y exteriormente.

8. ENSAYOS REALIZADOS SOBRE HYTREL®

8.1 Introducción

Con el fin de controlar al máximo las contracciones posteriores de los materiales después de ser soplados, se han hecho diferentes estudios sobre piezas sopladas del material termoplástico hytrel®. Se han tomado tres piezas de diferentes geometrías para determinar si este es un factor determinante. Las piezas ensayadas son las siguientes:

NOTA: A partir de ahora, al mencionar diámetro interior, nos estaremos refiriendo al diámetro interior de las bocas del respectivo tubo del que estemos hablando. Así mismo, al hablar de espesor, estaremos haciendo referencia al espesor de dicha boca.

NOTA 2: LOS MOLDES DE LAS SOPLADORAS ESTAN REFRIGERADOS Y SU TEMPERATURA SUPERFICIAL ES DE 60 GRADOS.

1. Tubo soplado MB1055

Diámetro interior según plano: 81.7 mm

Espesor de la boca de acuerdo a plano: 2mm

Peso de la pieza: 350 gr

Tiempo de ciclo de la sopladora: 50 s

Temperatura del parisón: 190 °C



Fig. 38 Tubo soplado MB1055

2. Tubo soplado F1112



Fig. 39 *Tubo soplado F1112*

Diámetro interior 1 según plano: 65.5 ± 0.3 mm

Espesor de la boca 1 según plano: 2 mm

Diámetro interior 2 según plano: 57.7 ± 0.3 mm

Espesor de la boca 2 de acuerdo a plano: 2mm

Peso de la pieza: 620 gr

Tiempo de ciclo de la sopladora: 60 s

Temperatura del parisón: 190 °C

3. Tubo soplado MB1097

Diámetro interior 1 según plano: $82.7 +0.4/-0.2$ mm

Espesor de la boca 1 de acuerdo a plano: 2 mm

Peso de la pieza: 550 gr

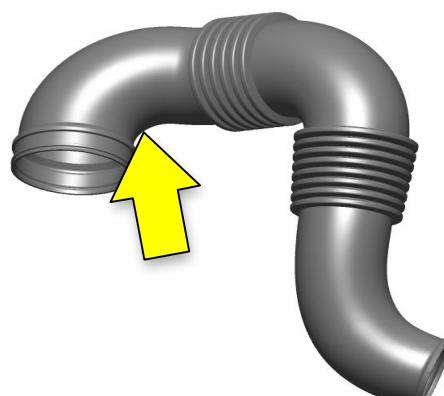


Fig. 40 *Tubo soplado MB1097*

Tiempo de ciclo de la sopladora: 70 s

Temperatura del parisón: 190 °C

8.2 Ensayos realizados sobre la pieza MB1055

-Ensayos 1,2 y 3

Objetivo: Analizar cómo influye **el espesor de la boca** sobre el valor de contracción del diámetro interior de la misma.

Procedimiento: Se procesaron piezas sopladas con diferentes espesores en las bocas (1.5 mm, 2 mm y 4.2 mm). Se tomaron 5 muestras de cada uno de los diferentes espesores y se midieron los diámetros interiores a lo largo del tiempo.

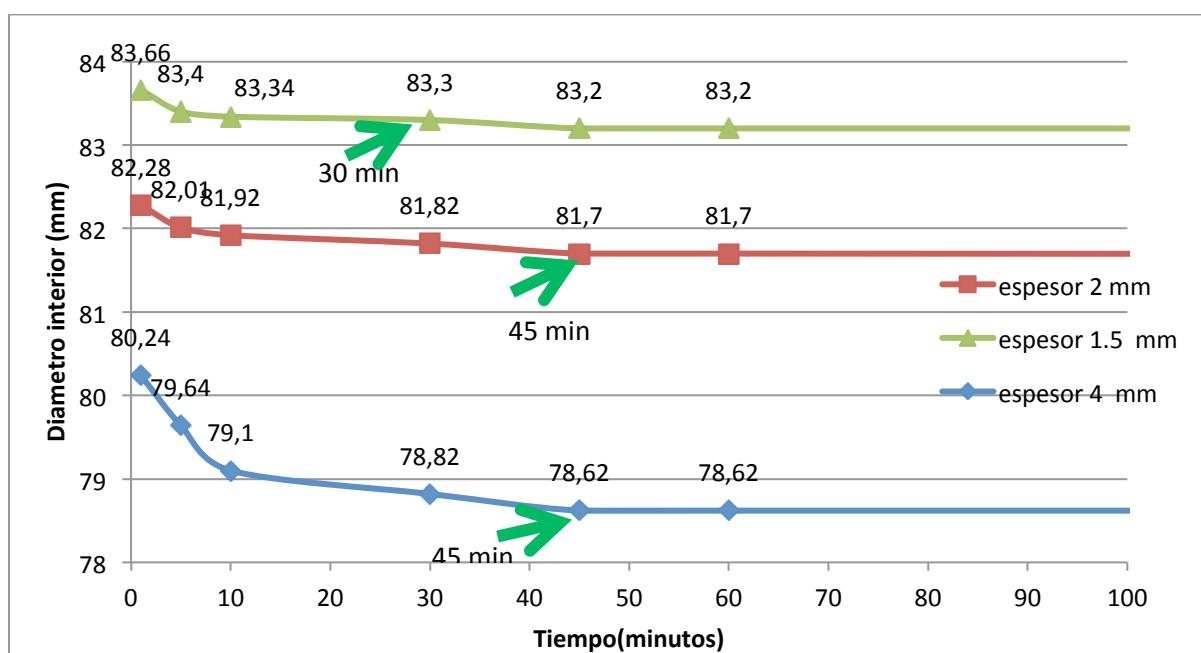


Fig. 41 Variación de los diámetros respecto al tiempo con diferentes espesores

La grafica 41 recoge la variación de los diámetros interiores de la pieza a lo largo del tiempo. Los resultados representados son una media de las medidas de los cinco tubos soplados. La contracción máxima que experimenta la pieza de espesor 1.5 mm es de

0.46mm, la pieza de espesor 2 mm presentar una contracción de 0.64 mm y la pieza de 4.2 mm presenta una contracción de 1.62 mm. A la vista de estos resultados podemos decir, que el valor de la contracción está directamente relacionado con el espesor de la misma. A mayor espesor, mayor es la contracción del diámetro interior. Sin embargo, un mayor espesor no implica que el tiempo de estabilización vaya a ser mayor, puesto que tanto con un peso de 2 mm o con uno de 4 mm, la pieza estabiliza sus dimensiones a los 45 minutos. Veamos pues si es posible, obtener una relación matemática entre los valores,

Para un espesor de 2mm _____ la contracción máxima es de 0.63mm
(Suponiendo que son valores directamente proporcionales),

Para un espesor de 1mm _____ la contracción máxima es de 0.315 mm

Para un espesor de 1.5 mm _____ la contracción máxima es de 0.46mm
(Suponiendo que son valores directamente proporcionales),

Para un espesor de 1mm _____ la contracción máxima es de 0.31 mm

Para un espesor de 4.2 mm _____ la contracción máxima es de 1.62 mm
(Suponiendo que son valores directamente proporcionales),

Para un espesor de 1mm _____ la contracción máxima es de 0.4 mm

LOS VALORES DE CONTRACCIÓN MÁXIMA DEL DIÁMETRO INTERIOR DE LA BOCA SON DIRECTAMENTE PROPORCIONALES AL ESPESOR DE LA MISMA. LOS RESULTADOS DE ESTE PRIMER ENSAYO MUESTRAN QUE POR CADA MILIMETRO DE ESPESOR QUE TIENE LA BOCA, SUFRE UNA CONTRACCION MEDIA DE 0.3 MM.
La figura 42 recoge una gráfica resumen de los valores de la contracción en función del espesor de las piezas

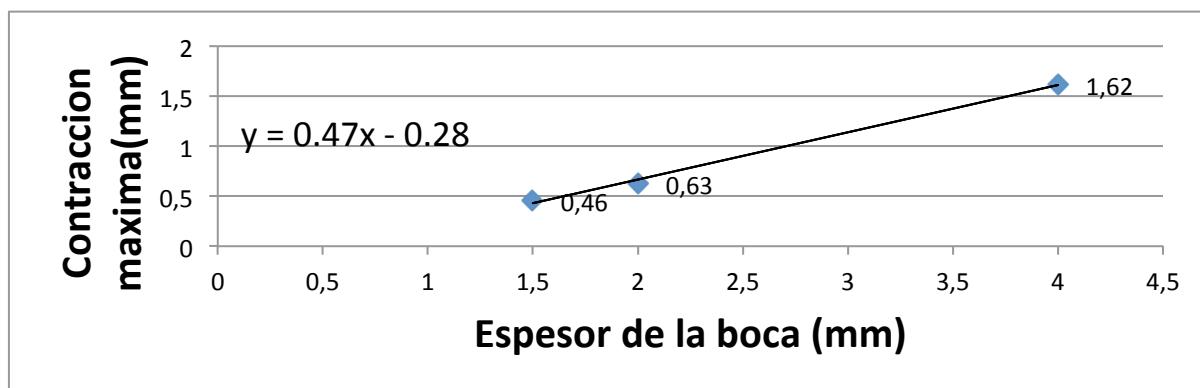


Fig. 42 Gráfica del valor de la contracción en función del espesor de las bocas.

La siguiente gráfica 43 representa el valor de las temperaturas de las **superficies de las bocas** inmediatamente después de salir del molde. **Cuanto mayor es el espesor de la boca, mayor es la temperatura en esta y por tanto, le cuesta más tiempo estabilizar sus dimensiones.** Todo el material inicialmente es procesado a la misma temperatura (190 °C), el hecho de que la pieza tenga una mayor temperatura a la salida del molde depende del tiempo de ciclo y de la cantidad de material, y podría ser un factor determinante. Si las piezas tienen mayor espesor, la temperatura a la salida del molde es mayor, y se observan contracciones mayores.

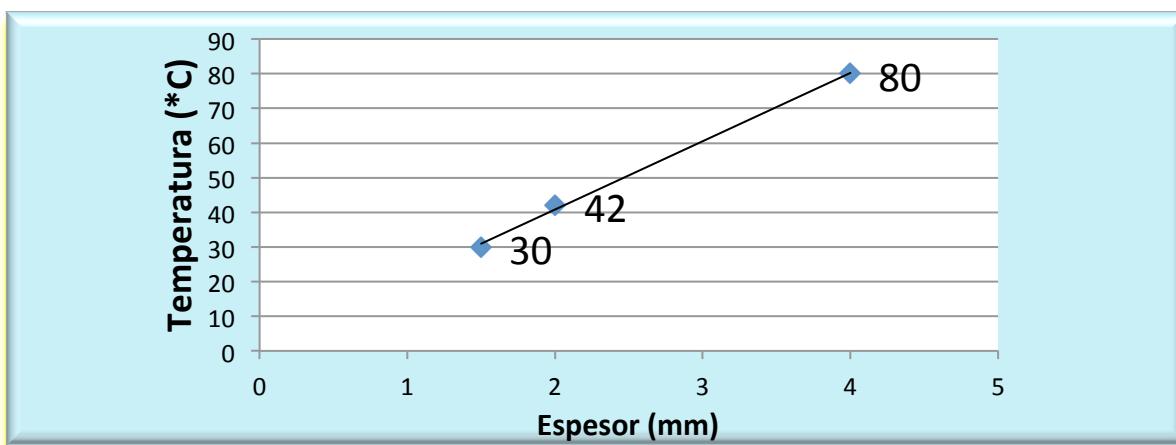


Fig. 43 Gráfica del valor de las temperaturas de la pieza frente al espesor

A temperaturas altas como la temperatura del parison 190°C, el polímero está en forma de un líquido viscoso, y al enfriarlo, se vuelve cada vez más elástico hasta que llega a

la *temperatura de transición vítrea*, T_g , se convierte en un sólido duro, rígido y frágil. **Lo que sucede es que, conforme disminuye la temperatura, el polímero se contrae porque las cadenas se mueven menos y se atraen más.** Dado que va disminuyendo el volumen libre, es decir, los espacios entre las moléculas, los segmentos de las cadenas tienen cada vez menos lugar para girar, hasta que al llegar a T_g , dejan de hacerlo, el material se pone rígido y en esas condiciones se vuelve *vítreo*, es decir frágil, porque como sus cadenas aunque todavía vibran ya no pueden girar para cambiar su posición, y no tienen manera de amortiguar los impactos. A esta restricción del movimiento molecular también contribuye por supuesto, la falta de suficiente energía debida a las bajas temperaturas.

Las piezas de espesor 1.5 mm y 2 mm prácticamente salen a la misma temperatura y tiene una contracción similar (0.3 mm). Sin embargo, la pieza de espesor 4mm tiene una temperatura de salida del molde mayor por el hecho de que al haber mayor cantidad de material , no ha enfriado tanto como lo pueda hacer una de menor cantidad de material bajo el mismo tiempo de ciclo.

-Ensayos 4

Objetivo: Analizar cómo influye **el medio de enfriamiento** sobre el valor de contracción del diámetro interior de la misma.

Procedimiento: Se procesaron piezas sopladas de espesor de las bocas de 2 mm y fueron enfriadas durante 30 segundos con aire a presión a una temperatura de 0°C. Posteriormente se midieron los diámetros interiores a lo largo del tiempo (Muestra: 5 piezas).

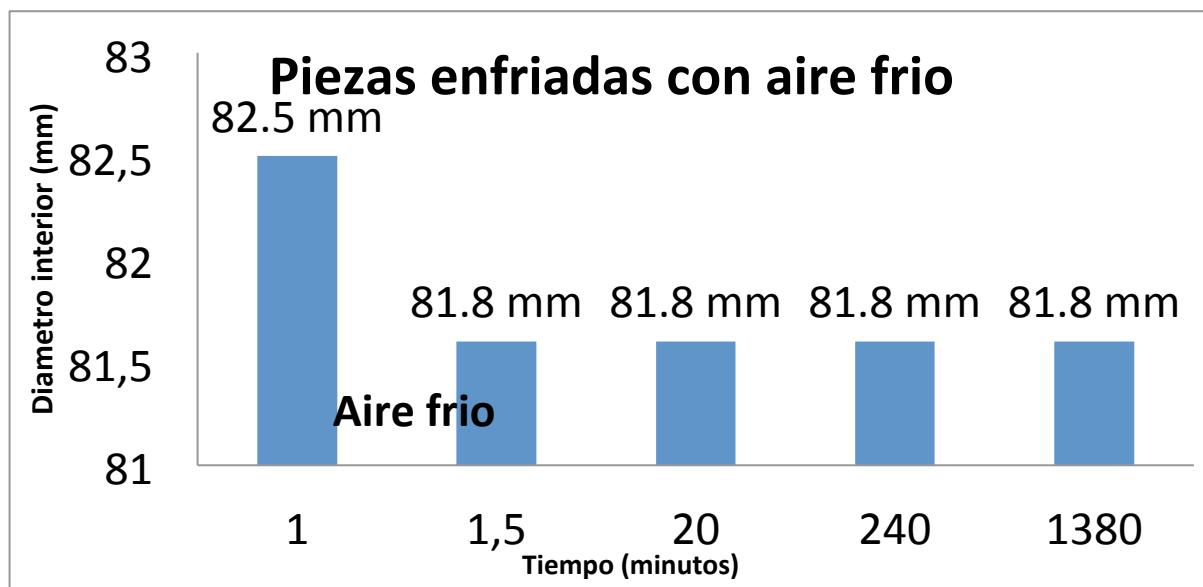


Fig. 44 Diagrama de barras del diámetro interior frente al tiempo

El eje horizontal del diagrama de barras (fig 44)representa los minutos en los que se tomaron las medidas. Se midieron la piezas después de ser retiradas del molde y la media de sus diámetros iniciales era 82.5 mm, después de insuflarle aire frio durante 30 segundos alrededor de la boca, el valor del diámetro interior disminuía a 81.8 mm y, esta medida, permaneció estable posteriormente ($C_{\text{máxima}}=0.7\text{mm}$; contracción máxima según la ecuación $y=0.47x-0.28$: 0.66 mm , siendo x el espesor de la pieza). Atendiendo a estos resultados, podemos afirmar QUE EL MEDIO DE ENFRIAMIENTO NO INFLUYE EN EL VALOR DE LA CONTRACCIÓN, PERO CUANTO MAYOR SEA LA POTENCIA DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO, MENOS TIEMPO NECESITARÁ LA PIEZA PARA ADOPTAR SUS DIMENSIONES FINALES.

8.3 Ensayos realizados sobre la pieza F1112

-Ensayos 1

Objetivo: Verificar la hipótesis formulada "Por cada milímetro de espesor de las bocas, el diámetro interior de las mismas contrae 0.3 mm, basada en los ensayos realizados en el tubo MB1055. Así mismo, averiguar cómo influye la geometría de la pieza sobre los valores de contracción.

Procedimiento: Se procesaron piezas sopladas con un espesor en las bocas de 2 mm. Posteriormente se midieron los diámetros interiores a lo largo del tiempo a Temperatura ambiente. En este tubo, se van a medir las dos bocas, ya que su geometría así lo permite.

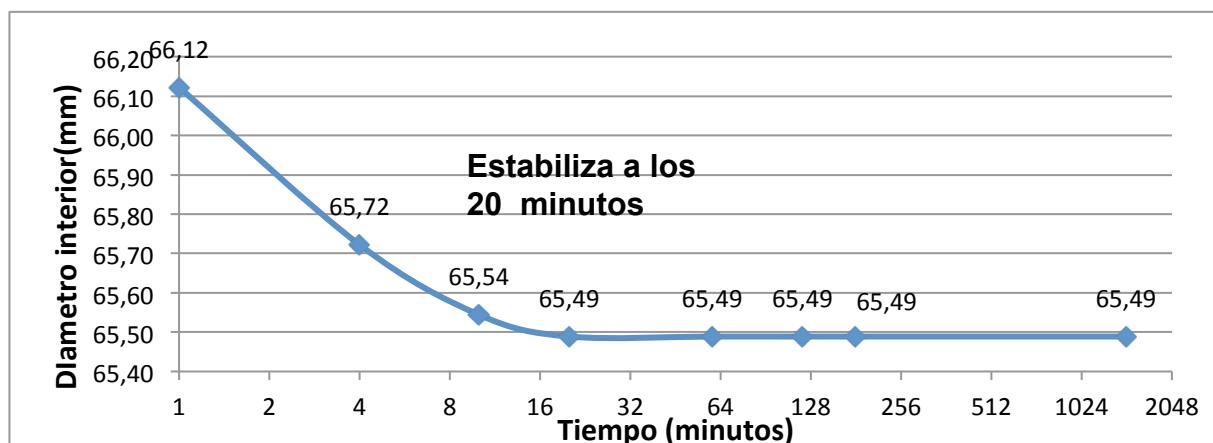


Fig. 45 Diámetro interior frente al tiempo a una temperatura ambiente en la boca grande

La grafica 45 recoge los diámetros de la boca 1 y la figura xx recoge los diametros de la boca de 2. Las piezas estabilizan sus dimensiones a los 20 minutos de haber salido del molde. Si comparamos el tiempo de estabilización de este tubo soplado de espesor de sus bocas 2 mm (20 minutos) con el tiempo de estabilización de las boca de tubo MB1055 para ese mismo espesor (45 minutos) resulta evidente que **la geometría de la pieza influye en el tiempo de estabilización de esta. En cambio, la contracción por mm de**

la pieza es la misma. (0.3 mm). A la vista de estos resultados, podemos afirmar la hipótesis inicial de este ensayo: Las diámetros interiores de las bocas sopladas contraen 0.3 mm por cada mm de espesor de estas.

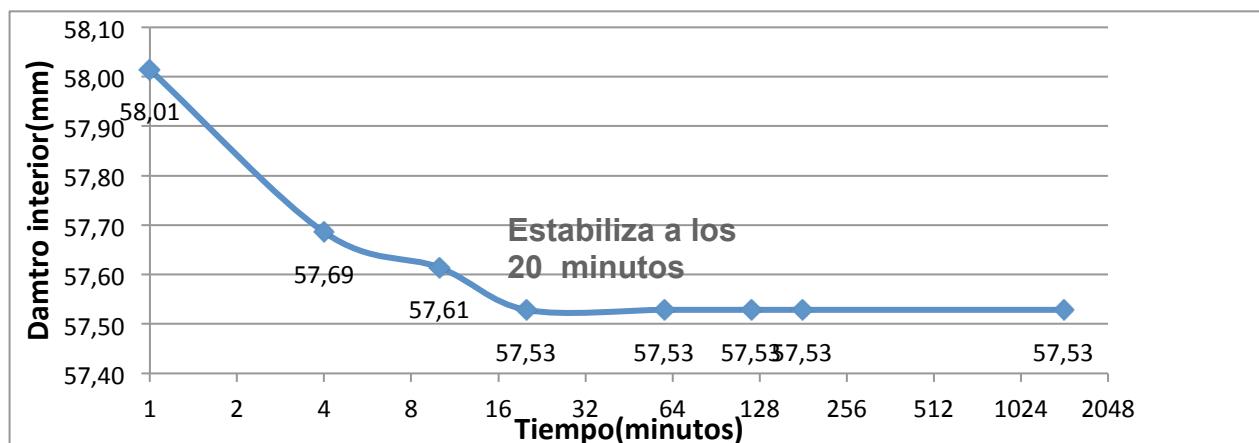


Fig. 46 Diámetro interior frente al tiempo a una temperatura ambiente en la boca pequeña

-Ensayos 2

Objetivo: Analizar cómo influye una rampa de enfriamiento en el tiempo de estabilización de la contracción, y comprobar si estas afectan al valor de la contracción.

Procedimiento: Se procesaron piezas sopladas con un espesor en las bocas de 2mm. Posteriormente se midieron los diámetros interiores a lo largo del tiempo, pero esta vez las piezas se van a dejar en las rampas de enfriamiento de acuerdo al proceso de trabajo establecido para el proceso de fabricación del tubo.

Rampa de enfriamiento: En el proceso de trabajo de este tubo, después de ser soplado, un operario coge el tubo, comprueba que su peso es correcto (620 gramos +/- 10 gramos) y coloca el tubo en el soporte superior de una rampa. Estas piezas son enfriadas por un ventilador eléctrico. El operario va colocando en este soporte superior piezas sucesivamente hasta que este es completado y automáticamente (una a una) son empujadas al soporte inferior según otras van accediendo al soporte superior. El tiempo transcurrido desde que el operario coloca la pieza, hasta que la vuelve a recoger ya en el

soporte inferior es de 13 minutos. Las rampas son diseñadas en función de la geometría de la pieza y del tiempo que le cuesta a esta estabilizar sus dimensiones. Las piezas cuando son retiradas de las rampas, para comprobar que cumplen las dimensiones de acuerdo al plano, son verificadas con unos calibres pasa/no pasa.

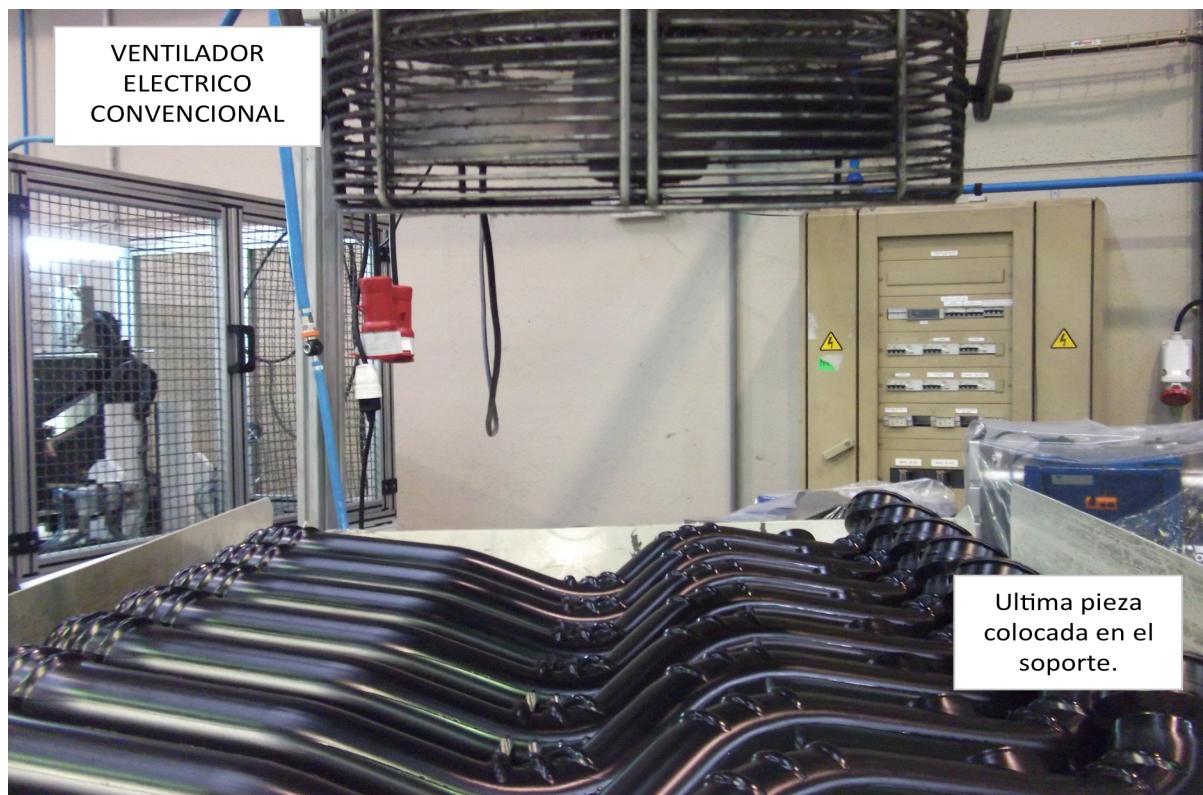


Fig. 47 Pieza F112 enfriadas en la rampa de enfriamiento

A continuación, vemos los resultados obtenidos con este nuevo ensayo y, a la vista de ellos, podemos decir que este tipo de ventiladores no acelera considerablemente el proceso de estabilización, es por ello que más adelante, se hará un nuevo ensayo con estos apagados. **En este caso, las cinco piezas estaban dentro de las tolerancias marcadas cuando fueron retiradas.** Las gráficas 48 y 49 recogen las variaciones del diámetro respecto del tiempo.

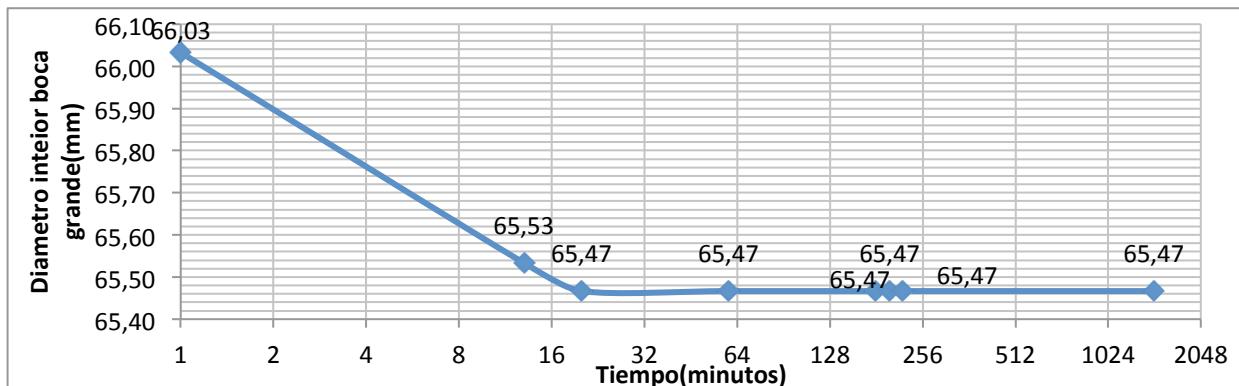


Fig. 48 Diámetro en función del tiempo en piezas enfriadas en la rampa de enfriamiento (boca grande)

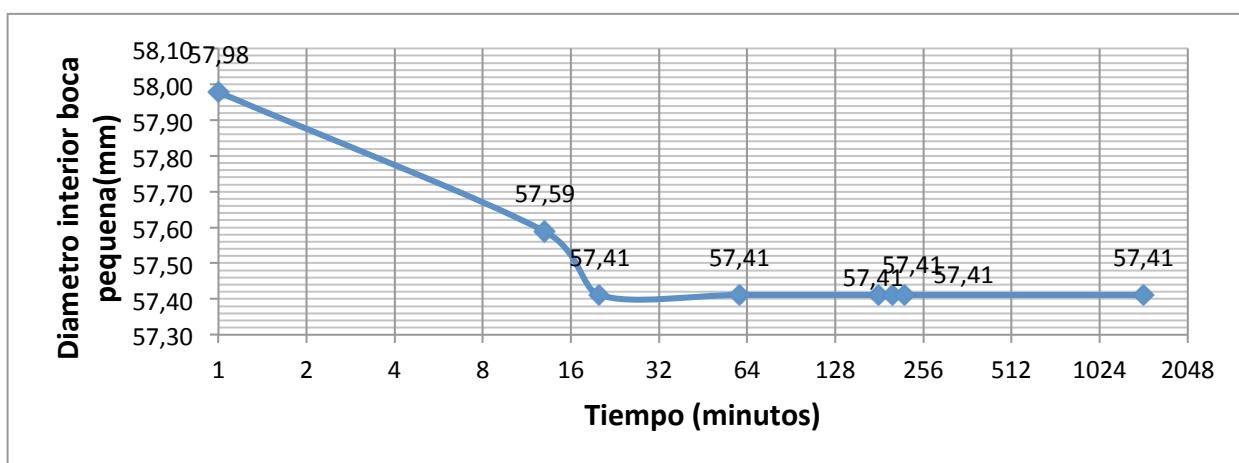


Fig. 49 Diámetro en función del tiempo en piezas enfriadas en la rampa de enfriamiento (boca pequeña)

NOTA: En este caso, las cinco piezas estaban dentro de las tolerancias marcadas cuando fueron retiradas. (65.5 ± 0.3 mm y 57.7 ± 0.3 mm).

NOTA 2: Las piezas eran recogidas de la rampa a temperatura ambiente.

La gráfica 50 representa los datos de las piezas enfriadas con rampa de enfriamiento y los datos obtenidos de las piezas enfriadas a temperatura ambiente. Podemos observar, que la rampa tiene una escasa influencia en el tiempo de estabilización de las piezas, pero

como veremos más adelante, no es posible eliminarlas de los procesos actuales de las líneas de fabricación porque aceleran unos minutos la estabilización de las piezas.

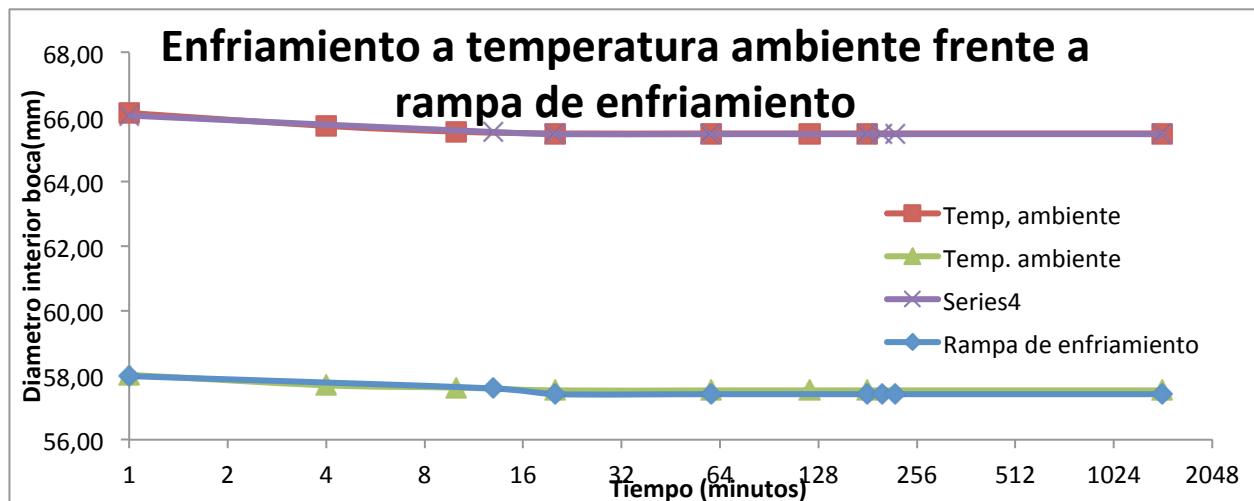


Fig. 50 Gráfica resumen los resultados de los ensayos de la rampa frente a temp. ambiente

Ensayos 3

Objetivo: **Comprobar** cómo influye los distintos medios de enfriamiento en el tiempo de estabilización de la pieza.

Procedimiento: Se procesaron piezas de espesor en la boca de **2mm**. Inmediatamente después de ser sopladas, se les **insufló aire frío** durante 30 segundos y se tomaron las medidas de los diámetros interiores a lo largo del tiempo.(Muestra : 9 piezas)



Fig. 51 Procedimiento de insuflar el aire frío

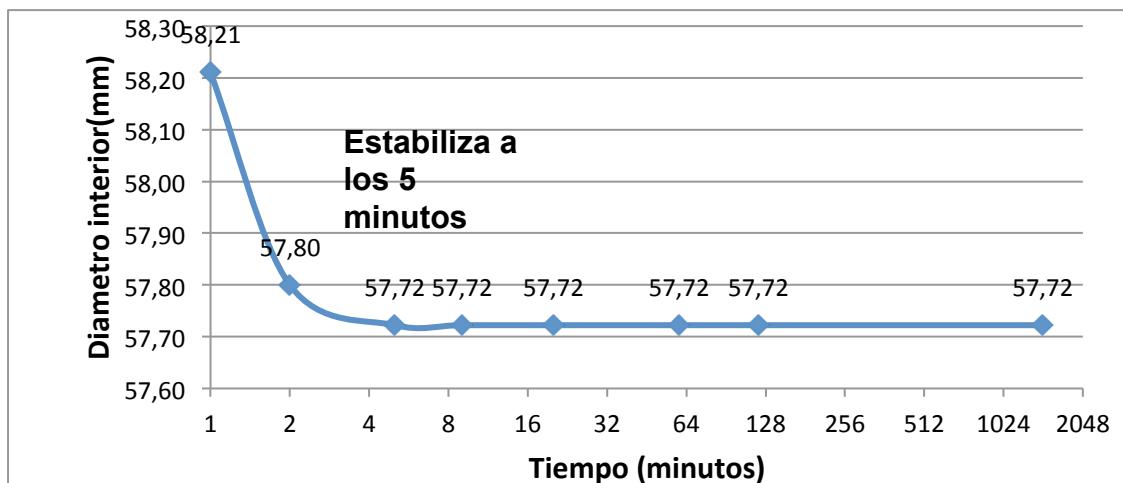


Fig. 52 Diámetro en función del tiempo en piezas enfriadas con aire frío (boca grande)

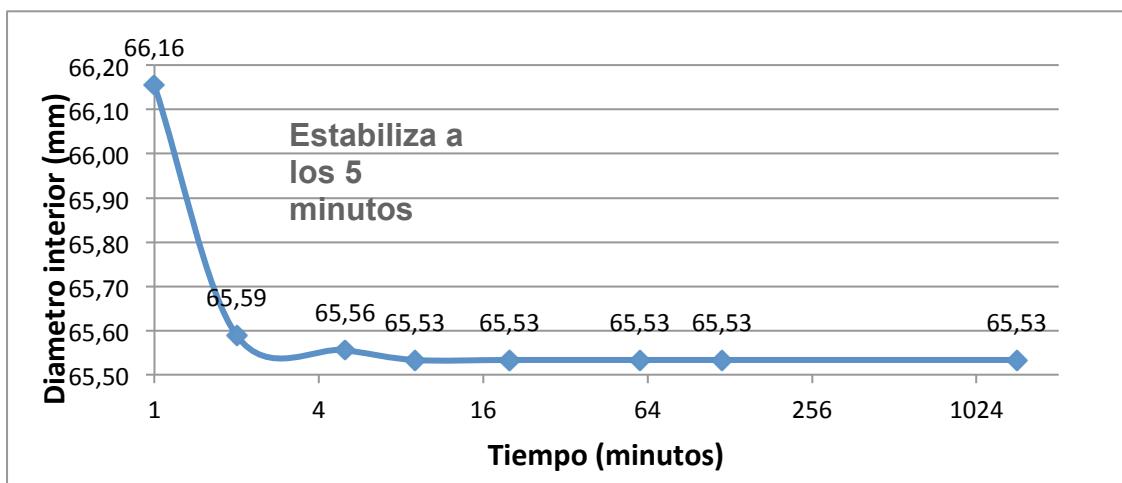


Fig. 53 Diámetro en función del tiempo en piezas enfriadas con aire frío (boca pequeña)

Las gráficas 52 y 53 recogen las variación de diámetro frente al tiempo de las piezas que han sido enfriadas con aire frío. Con este medio de enfriamiento, aire comprimido a presión, la pieza reduce sus dimensiones y, 5 minutos después de haber salido del molde,

estas permanecen invariables. A continuación se adjunta una tabla que incluye el valor de la contracción máxima de las piezas ensayadas anteriormente.

	Enfriadas a Temperatura ambiente		Enfriadas con un ventilador		Enfriadas con aire frio	
	Boca grande	Boca pequeña	Boca grande	Boca pequeña	Boca grande	Boca pequeña
C.máx(mm)	0.63	0.49	0.57	0.57	0.62	0.49

Fig. 54 Tabla resumen del valor de las contracciones máximas

La hipótesis ha sido verificada, la contracción por cada milímetro de espesor es aproximadamente 0.3 mm. La grafica 55 y 56 representa los resultados del diámetro interior frente al tiempo con los 3 tipos diferentes de enfriamiento: aire frio, rampa de enfriamiento y temperatura ambiente para cada una de las bocas. Los valores de contracción son prácticamente los mismos, como podemos ver, con una mayor potencia del medio de enfriamiento acelera, las cadenas moleculares se atraen más rápidamente y por ello la pieza obtiene sus dimensiones finales con mayor rapidez.

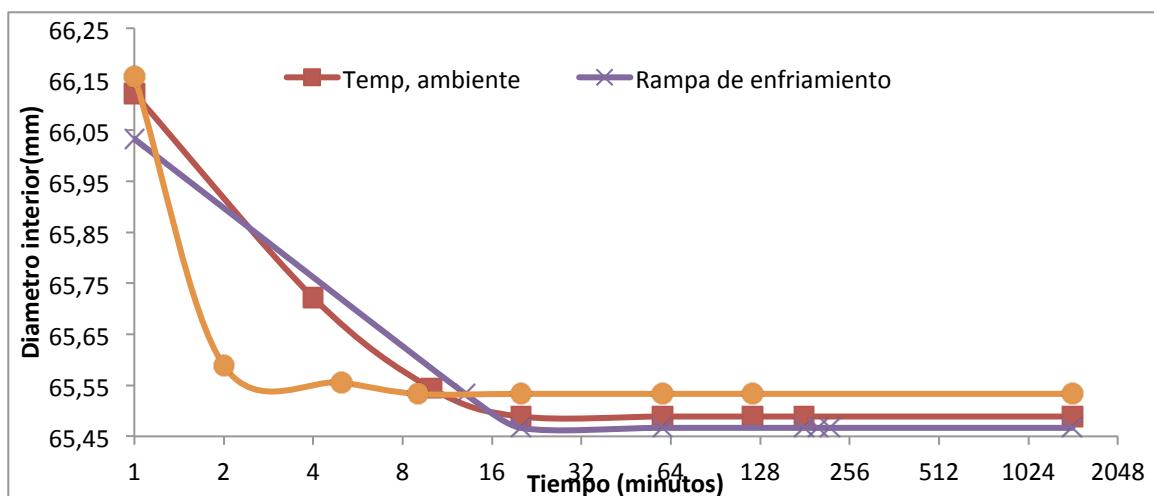


Fig. 55 Diámetros frente al tiempo en la boca grande con los tres tipos de enfriamiento

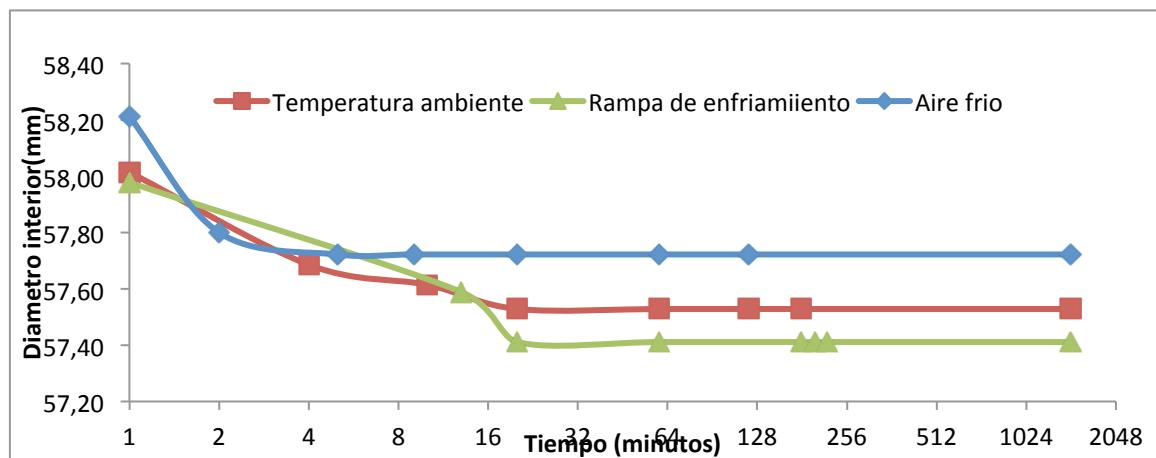


Fig. 56 Diámetros frente al tiempo en la boca grande con los tres tipos de enfriamiento

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo 2, en el cual parecía no acelerar el proceso de enfriamiento el ventilador, se llevo a cabo un nuevo ensayo, ensayo número 4.

Ensayos 4

Objetivo: Comprobar el efecto de los ventiladores actuales sobre las piezas y, así como estudiar la posibilidad de que puedan ser eliminados.

Procedimiento: Se apagó el ventilador y se fueron colocando piezas sucesivamente en la rampa de enfriamiento, siguiendo el proceso establecido (Muestra: 9 piezas). Al tomar la

pieza los minutos pertinentes después (13 min), la pieza no podía ser trabajada por no cumplir las especificaciones del calibre P/NP por no haber contraído lo suficiente y la temperatura era 20 °C superior en ambas bocas respecto a la Temperatura ambiente, que es a la temperatura que se recogían las piezas con el ventilador encendido.

- **Esas mismas piezas 7 minutos después, ya habían contraído lo suficiente. Es decir, para un espesor de 2 mm y un diámetro comprendido entre de 50 mm – 60 mm, las piezas dejan de contraer a los 20 minutos, siendo el medio de enfriamiento la temperatura ambiente.**

Ensayos 5

Objetivo: Comprobar que las piezas pueden ser trabajadas sin tener que esperar pasar por la rampa de enfriamiento, y que un medio de enfriamiento con mayor potencia estabilizaría las piezas antes y serían de la misma calidad.

Procedimiento: Se seleccionaron tubos soplados, se les insufló aire a presión, durante 30 segundos y fueron trabajados de acuerdo al proceso de trabajo de la planta de Mann Hummel Zaragoza. Un operario comprueba las dimensiones de las bocas con los calibres pasa/no pasa y, si las piezas son válidas, se introducen dos juntas de goma en las bocas y se atornillan dos abrazaderas, una en cada boca. Luego una pipeta es soldada en uno de los laterales y finalmente son sometidas a un test de estanqueidad. Estas piezas dos días después son verificadas una a una en el muro de calidad. (Muestra: 10 piezas).

Muro de calidad: Un verificador comprueba de nuevo que las bocas cumplen las dimensiones establecida y que el material efectivamente ha dejado de contraer. También se comprueba el par de apriete de las abrazaderas pero eso no es de interés para el presente estudio.

Además, como ultima comprobación dos tubos del total de la muestra fueron ensayados en un ensayo Pop –off en el que se comprueba la presión que puede soportar el tubo.

Tras la verificación, estas diez piezas fueron catalogadas como válidas.



Fig. 57 Comprobación del par de apriete de las abrazaderas en el muro de calidad

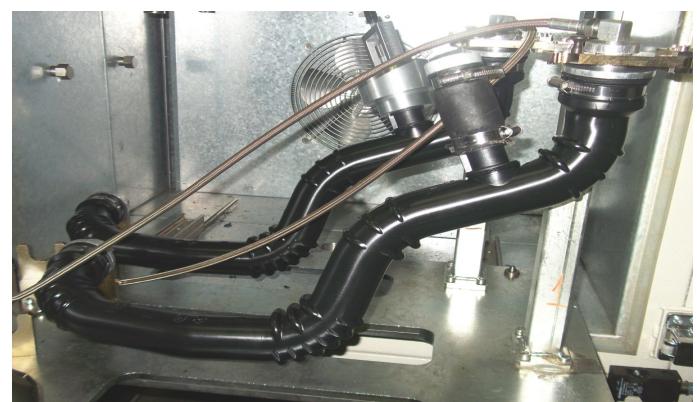


Fig. 58 Comprobación del diámetro interior en el muro de calidad



Fig. 59 Calibres utilizados en el muro de calidad para comprobar el diámetro interior de ambas bocas

Fig. 60 Piezas ensayadas Pop-off



CONCLUSION: PODEMOS REDUCIR EL TIEMPO DE CICLO DE LOS PROCESOS CON MEDIOS DE ENFRIAMIENTO MÁS POTENTES, SIN VERSE ALTERADAS LAS DIMENSIONES FINALES DEL TUBO.

8.4 Ensayos sobre las piezas MB1097

Ensayo 1

Objetivo: Analizar cómo influye el cambio de geometría de la pieza sobre el valor de la contracción del diámetro interior de la misma.

Procedimiento: Se midieron piezas inmediatamente después de ser sopladas y se tomaron las medidas de los diámetros interiores a lo largo del tiempo a temperatura ambiente (Muestra: 9 piezas).

En la figura 61 se representan los datos de los diámetros interiores frente al tiempo, vemos que **en esta nueva geometría, la pieza estabiliza sus dimensiones antes**, pero el valor de la contracción sigue la ecuación formulada previamente.

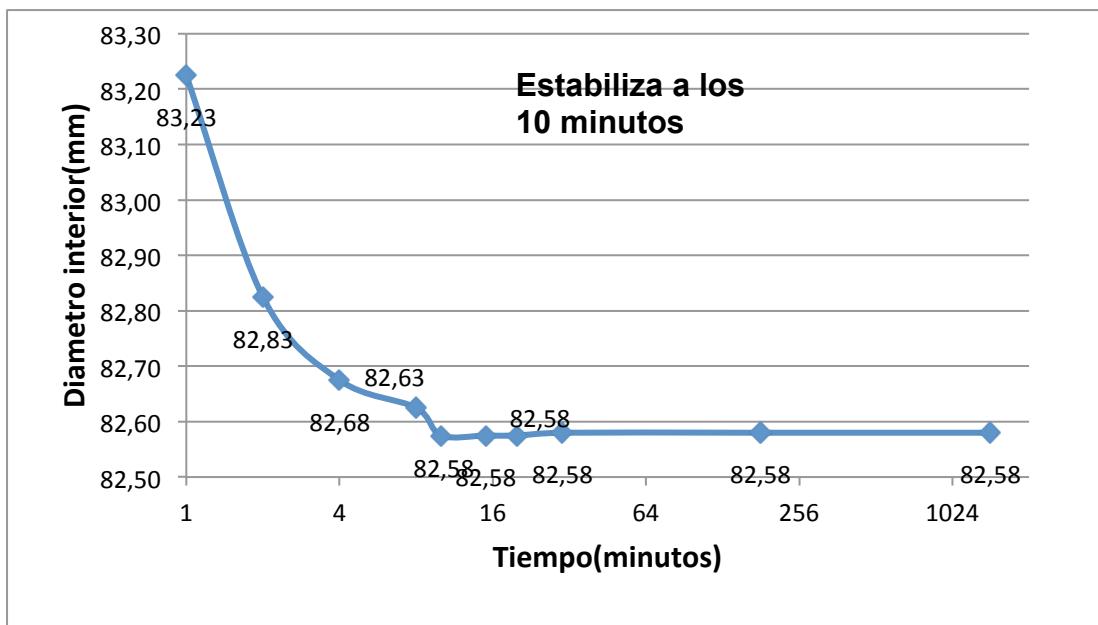
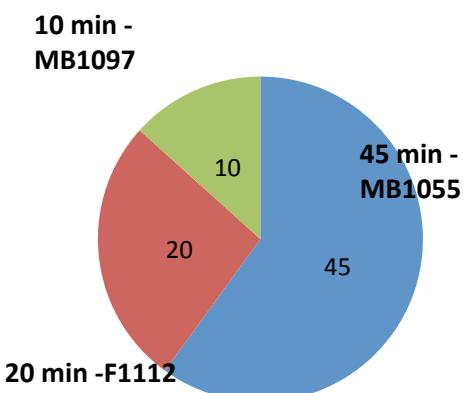


Fig. 61 Variación del diámetro interior frente al tiempo

El diagrama 62 representa el tiempo que le cuesta estabilizar las dimensiones
tiempo de estabilización en condiciones normales de piezas de espesor 2mm



de las bocas a temperatura ambiente y con 2 mm de espesor a todos los tubos ensayados. Como vemos la geometría es un factor que determina el tiempo de estabilización. Todas las piezas partían con la misma temperatura del parisón, pero unas estabilizaban antes que otras.

Fig. 62 Tiempo de estabilización en piezas de esp

Ensayo 2

Objetivo: Analizar cómo el método de enfriamiento sobre el valor de la contracción del diámetro interior de la misma.

Procedimiento: Se midieron piezas inmediatamente después de ser sopladas y se tomaron las medidas de los diámetros interiores después de enfriar en la rampa de enfriamiento durante 6 minutos. (Muestra: 9 piezas)



Fig. 63 Tubos MB1097 en la rampa de enfriamiento

Como podemos ver en el siguiente grafico de barras 64, el material estabiliza sus dimensiones en los primero 6 minutos, con el soporte del ventilador como medio de enfriamiento. **Las piezas sufren una contracción de 0.59 mm para un espesor de 2 mm.**

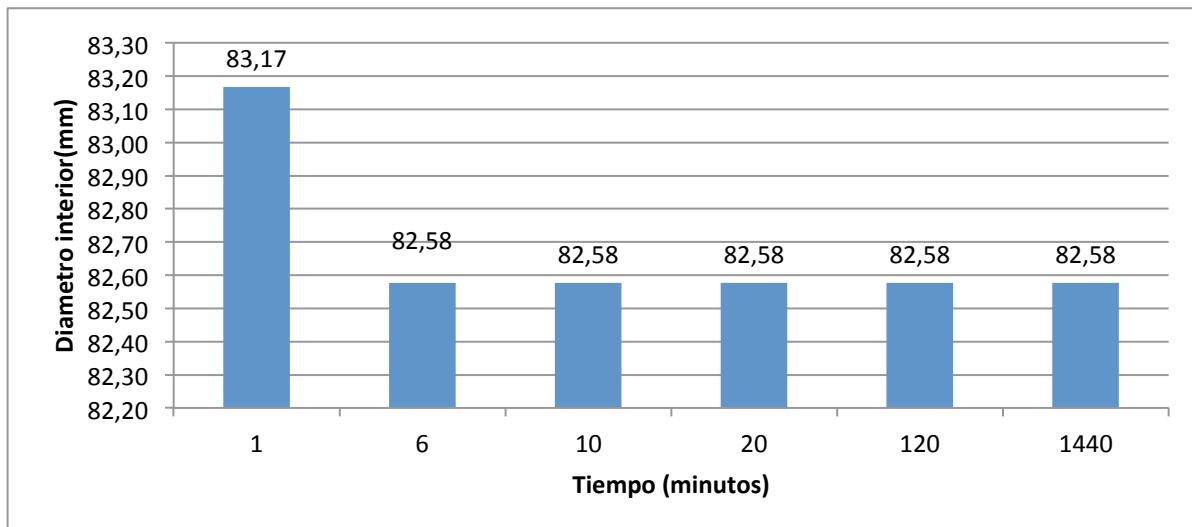


Fig. 64 Variación del diámetro respecto al tiempo en el tubo MB1097

La figura 65 representa los datos conjuntos para este tubo ensayado. Como podemos comprobar nuevamente, los valores de las dimensiones de la pieza estabilizada son los mismos pero con un ventilador logran reducir 4 minutos el proceso de estabilización de las dimensiones.

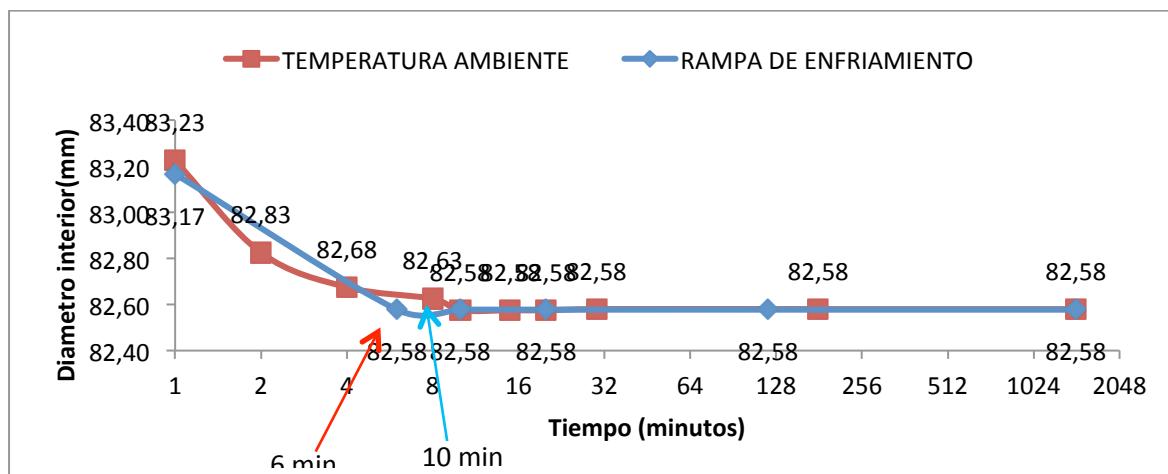


Fig. 65 Variación del diámetro en función del tiempo en diferentes medios de enfriamiento

8. CONCLUSIONES GENERALES

-EL FACTOR QUE DETERMINA EL VALOR DE CONTRACCIÓN DE LAS BOCAS DE LOS TUBOS SOPLADOS ES EL ESPESOR DE ÉSTAS. A mayor espesor en las bocas, mayor contracción es la contracción.

-Por cada milímetro de espesor de la boca, la reducción del diámetro interior media será de 0.3 mm, aproximadamente, para el material Hytrel ®. La ecuación de la recta obtenida es

$$Y=0.47x - 0.28; \text{ siendo } Y \text{ el valor de contracción máxima, } x \text{ el espesor de la boca}$$

-La geometría de la pieza **no influye** en el valor de la contracción pero el tiempo de estabilización de la pieza sí que depende de ella. El cambio de geometría podría, en algunos casos, dificultar el flujo de aire por el interior del tubo, haciendo que el enfriamiento fuera más lento y, por tanto, su tiempo de estabilización.

-La temperatura a la que la pieza sale de la sopladora **no influye** en el valor de la contracción. Piezas con mayor cantidad de material salen a mayor temperatura y le costará más estabilizar sus dimensiones, pero finalmente tendrá las mismas dimensiones que una que hubiera permanecido más tiempo en el molde y por tanto, hubiera tenido una temperatura de salida menor.

-El cambio de geometría podría, en algunos casos, dificultar el flujo de aire por el interior del tubo, haciendo que el enfriamiento fuera más lento y, por lo tanto, su tiempo de estabilización, mayor.

-El medio de enfriamiento no influye en el valor de la contracción de la pieza, pero cuanto mayor es la potencia del medio de enfriamiento, menor es el tiempo de estabilización de la pieza.

9. IMPLEMENTACIONES EN LAS LINEAS DE TRABAJO DE MANN HUMMEL SPAIN

- **PROBLEMA ACTUAL 1:** No existe un calibre para que los técnicos de soplado puedan controlar las dimensiones de la pieza en caliente.
- **SOLUCION:** Diseñar unos calibres PASA/ NO PASA, que sean 0.3 veces mayores por mm de espesor de la boca a los calibres pasa/no pasa en frio.

-Nota: Dependiendo del proceso, la pieza podría ser trabajada directamente sin esperar los minutos pertinentes de la rampa de enfriamiento. El problema radica en que no es aconsejable que el operario manipule la pieza a altas temperaturas por el riesgo a quemaduras.
- **VENTAJAS:**
 - En el arranque de línea, el técnico de soplado no tendrá que esperar que las piezas enfríen en la rampa de enfriamiento para comprobar si cumplen las dimensiones, sino que, PUEDEN COMPROBAR INMEDIATAMENTE LAS DIMENSIONES DE LA PIEZA CON LOS NUEVOS CALIBRES. Entonces, una vez estabilicen el proceso, pueden disponerse a otra tareas.
 - Los técnicos de soplado controlaran las dimensiones de la pieza en caliente con la ayuda de calibres, a diferencia de hoy, que se basan en la experiencia.
- **PROBLEMA ACTUAL 2:** Algunas piezas son consideradas NO ok y por ello depositadas en un contenedor rojo (contenedor en el cual se arrojan las piezas que no cumplen las especificaciones de diseño) por pasar por el calibre pasa, después del ciclo de la rampa de enfriamiento, cuando en realidad son piezas buena, solo que no han estabilizado todavía sus dimensiones.

• **SOLUCION:**

1. Diseñar rampas con mayor capacidad de piezas, y así asegurar que la pieza ya ha estabilizado una vez es recogida por el operario.
2. Implementar en los procesos ESTACIONES DE AIRE FRÍO que aceleren el proceso de estabilización de la pieza.

10. BIBLIOGRAFIA

- ✓ “*Ingeniería de materiales para industria y construcción*”. Autores: Jesus Martin San Jose, Maria Antonieta Madre Sediles; Mira Editores 2004
- ✓ “*Tecnología de polímeros*”. Autores: M. Beltran, A. Marcilla.
<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>
- ✓ “*Blow moulding*”. Autores : Rosie Galea, Gilbert Chandler College; Dept. of Food Science and Agribusiness, Institute of Land and Food Resources, the University of Melbourne, 1998
- ✓ “*Características técnicas Hytrel*”,
http://www2.dupont.com/DuPont_Home/en_US/index.html
- ✓ <http://www.albis.com/es-es/index.php?page=1,1&lang=de-de>
- ✓ “*Contracciones y deformaciones en las piezas de plástico*”. Autor: Juan Márquez Sevillano.
<http://wikifab.dimf.etsii.upm.es/wikifab/images/5/56/07Contracciones08.pdf>
- ✓ “*Contracción. Calculo practico*”. Fundación Ascamm, centro tecnológico.
<http://personales.ya.com/jcmarin/download/Contraccion%20-%20calculo%20practico.pdf>
- ✓ “*Descripción del procesos de extrusión-soplado*”.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/tello_c_vr/capitulo2.pdf
- ✓ “*Blow Moulding*”. <http://www.ril.com/downloads/pdf/blow%20moulding.pdf>
- ✓ “*Injection moulding pocketbook*”. Special Publication from Mannesmann Demag Kunststofftechnik, 1997.

- ✓ “*Guide to Flawless Injection Moulding*” by Martin Bichler ; 1999 Huthing.
- ✓ “*The Injection Molders handbook*” by John Goff and Tony Whelan; Demag Hamilton 1991.
- ✓ “*Plásticos. Selección de materiales termoplásticos*”.
<http://www.etsimo.uniovi.es/usr/fblanco/leccion4.SeleccionTERMOPLASTICOS.pdf>
- ✓ “*Materiales y procesos de fabricación*”. E.P. Degarmo, J. T. Black, R. A. Kosher; 2 edición, Editorial Reverte S. A.
- ✓ *La web de los adhesivos* <http://losadhesivos.com/termoestable.html>
- ✓ “*Know your part well before sizing machine & tooling*”, by Robert S.
<http://industrialblowmolding.com/?p=48>