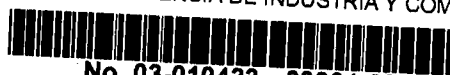


Señores

**SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA
DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES**

E. S. D.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO



No. 03-010433-00004-0000

Fecha: 2009-01-27 12:24:15 Dep. 2020 NUECREACION
Tra. 2 PATENTES Eve: 1 REGDEPOSITO
Act. 444 RESPUESTAREQUE Folios: 30

REFERENCIA

EXPEDIENTE: 03 010433

TRÁMITE: 002

EVENTO: 001

ACTUACIÓN: 430

La suscrita en calidad de apoderada de la sociedad Instituto para la capacitación e investigación del plástico y el caucho - ICIPC -, dentro del expediente de la referencia, por medio del presente escrito me permito dar contestación en documento adjunto al requerimiento notificado por fijación en lista el 30 de octubre de 2008.

De la División, atentamente,

SARA PEREZ GONZALEZ

C.C. No. 42.204.830

T. P. No. 36.608 C.S.J.

Adjunto lo enunciado en treinta (30) folios.

TÍTULO DE LA PATENTE

Método y celda de medición para la determinación de la difusividad térmica de materiales durante el proceso de transferencia de calor por conducción, con rápidos cambios de temperatura, que puede incluir cambio de fase.

RESUMEN

El invento comprende: una Celda de medición semejante a un molde de inyección que comprende como mínimo una cavidad, alimentada lateralmente desde una cámara de alimentación que se llena bajo presión con un material fundido que se desee estudiar, en donde dicha cavidad está formada entre dos bloques metálicos internos removibles, dotados de perforaciones pasantes para la circulación de un medio de atemperamiento y para alojar cartuchos de calentamiento, y aislados lateralmente de los cuerpos que los sujetan por medio de un espacio de aire, dos barras poliméricas aislantes instaladas en los bordes longitudinales de la mencionada cavidad, un par de sensores de presión instalados en forma fija en las superficies mayores paralelas de dicha cavidad y en la mencionada cámara de alimentación, cuatro sensores de temperatura, dos de ellos colocados simétricamente en ambas superficies mayores paralelas de dicha cavidad y los dos restantes colocados a la altura de los centros de los canales de atemperamiento de dicha cavidad, un dispositivo removible, reparable y reutilizable denominado Unidad removible de sensores de temperatura, que posee varios tubos ensamblados en un bloque portador para guiar y fijar un grupo de sensores de temperatura en dicha cavidad en posiciones igualmente espaciadas entre sí y en la dirección del flujo de calor unidimensional que se genera en dicha cavidad durante la operación de la Celda de medición, en donde todos los sensores mencionados están conectados a un sistema convencional de adquisición de datos para el almacenamiento de las señales de dichos sensores durante la operación de la mencionada Celda.

El invento incluye un Método para obtener la difusividad térmica de un material a partir de un mínimo de tres señales de temperatura (tripleta) que describen la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo en tres puntos del cuerpo igualmente espaciados entre si y en la dirección del flujo de calor.

ESTADO DE LA TÉCNICA

Como es ampliamente conocido en los medios científicos y técnicos, la difusividad térmica de materiales como los polímeros termoplásticos muestra una marcada dependencia de la temperatura, así como de la velocidad con la que esta temperatura varía durante procesos de enfriamiento o calentamiento propios de los procesos industriales de transformación de estos materiales en productos. Los valores de esta propiedad son imprescindibles, por ejemplo, para el cálculo o simulación de los procesos de transformación de materiales termoplásticos con miras a su optimización. En el caso del moldeo por inyección, este valor es de especial importancia para la predicción confiable del tiempo de enfriamiento, de las deformaciones y contracciones del producto y en general para la optimización del molde y del mismo proceso de inyección.

La difusividad térmica sólo tiene significado en procesos no estacionarios de flujo de calor. Para medirla confiablemente es necesario pues, someter al espécimen a un régimen de transferencia de calor de este tipo. Actualmente son conocidos numerosos métodos experimentales para tal fin, que utilizan diferentes formas de generar un disturbio en la temperatura del cuerpo, así como de detectarlo. La generación del disturbio puede hacerse en forma de pulso en donde el cambio de temperatura es rápido y rápidamente regresa a su valor inicial, o en forma de una función "step" en donde súbitamente se cambia la temperatura y se mantiene en dicho valor a lo largo del tiempo, o donde el cambio de temperatura posee la forma de una función determinada a lo largo del tiempo, o sea que la temperatura varía en el tiempo siguiendo por ejemplo, un comportamiento lineal ó sinusoidal. Estos disturbios pueden generarse ya sea en un punto, en una zonal lineal o en una superficie del cuerpo bajo estudio. La detección del cambio de temperatura en la zona opuesta a la zona en donde se genera el disturbio se puede captar mediante el empleo de sensores que hagan contacto con el espécimen o no. Los métodos conocidos corresponden pues a alguna de las diferentes combinaciones posibles de la forma de generar el disturbio, la forma del sitio o región en donde se genera el disturbio de temperatura y del sistema empleado para detectar la evolución en una zona alejada a la del disturbio en el cuerpo o espécimen bajo estudio. Ninguno de ellos sin embargo reproduce aceptablemente las condiciones presentes en los procesos industriales, caracterizados por rápidos cambios de temperatura, incluso bajo altas presiones, especialmente durante el enfriamiento, en donde pueden presentarse velocidades del orden de decenas de grados

centígrados por segundo. Los rangos de variación de temperatura obtenibles en equipos de laboratorio para la medición de propiedades térmicas son por lo general del orden de decenas de grados centígrados por minuto.

La mayoría de estos métodos sirven para hallar la difusividad térmica partiendo de la base que esta propiedad no varía sustancialmente durante el proceso de medición, o que es constante a lo largo del recorrido de la onda de temperatura que se genera durante la medición. Esto permite modelar matemáticamente el proceso utilizando soluciones analíticas de la Ec. 1 que describe el proceso de transferencia de calor en conducción, conocida como la ecuación de Fourier, en donde ϑ es la temperatura, t el tiempo, ρ la densidad, c_p el calor específico a presión constante y λ la conductividad térmica del material:

$$(\rho \cdot c_p) \frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \nabla (\lambda \nabla \vartheta) \quad \text{Ec. 1}$$

Para el caso de flujo de calor unidimensional dicha ecuación se simplifica así:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{1}{\rho \cdot c_p} \cdot \frac{\partial \lambda}{\partial x} \cdot \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \quad \text{Ec. 2}$$

En donde α es la difusividad térmica, que de acuerdo a la definición de Lord Kelvin, es igual a:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad \text{Ec. 3}$$

Si la conductividad térmica λ , cambia poco localmente durante el proceso, la Ec. 2 se simplifica así:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \alpha \cdot \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} \quad \text{Ec. 4}$$

Como se puede observar, la difusividad térmica depende de tres propiedades térmicas (λ , ρ , c_p), que en muchos materiales son sensiblemente dependientes de la temperatura, de la velocidad de su cambio e incluso de la presión. Considerar la difusividad térmica como una constante en la solución de la Ec. 2, sólo es aceptable para el caso en el que, para el material bajo estudio, dichas propiedades no varíen apreciablemente bajo las condiciones de la medición. Esto limita por lo tanto la magnitud del cambio de temperatura del ensayo, cuando el material que se estudia muestra una marcada dependencia de dichas variables, como es el

caso de los polímeros. En estos casos, si se desean curvas de difusividad en función de la temperatura, el método a utilizar debe realizarse con cambios muy pequeños de temperatura, que en algunos casos es de solo unas décimas de grado centígrado y repetir el ensayo a diferentes temperaturas hasta cubrir el rango de temperatura deseado. Otros métodos emplean cambios grandes de temperatura que son por lo general lentos, en los cuales la respuesta de los sensores a las variaciones de temperatura no necesita ser muy rápida, o puede ser corregida, tal como se indica por ejemplo en la patente US5,713,665, y en las solicitudes de patente DE19943076A1 y EP1199557A1. Estas curvas sin embargo no son representativas de lo que sucede en el material durante procesos de transferencia de calor bajo condiciones de alta velocidad de cambio de la temperatura.

El otro camino, muy difundido en la literatura científica, es la determinación de la difusividad térmica a partir de Ec. 3, que implica medir la conductividad térmica λ , la densidad ρ , y el calor específico a presión constante c_p del material obtenido por métodos independientes. La conductividad térmica λ se mide, por definición, bajo condiciones estacionarias de flujo de calor. La densidad ρ , aunque es posible medirla bajo diferentes condiciones de presión y temperatura, los métodos actuales sólo permiten medirla a velocidades máximas de variación de temperatura del orden de 30°C/min a 40°C /min. Los calorímetros para la determinación del calor específico c_p sólo logran velocidades de variación de temperatura cercana a 40°C /min en el mejor de los casos y a presiones muy bajas comparadas con las de los procesos industriales.

Independiente del método utilizado, siempre es necesario obtener una medida de temperatura en el cuerpo. Esta puede ser obtenida directa o indirectamente. Las medidas indirectas miden alguna propiedad que pueda ser correlacionada confiablemente con la temperatura del cuerpo. Cambios en la birrefringencia óptica de materiales transparentes, cambios en la densidad del cuerpo o del aire que lo rodea, Termómetros infrarrojos etc. Estos métodos tienen la ventaja de poder detectar el cambio de la propiedad sin influenciar apreciablemente la temperatura del cuerpo en observación. Ellos funcionan bien para medir gradientes de temperatura en la superficie de cuerpos, pero no pueden detectar confiablemente gradientes de temperatura en su interior, y mucho menos si estos gradientes varían rápidamente durante la medición, o tienen restricciones de resolución espacial, como el caso de los termómetros infrarrojos. Las mediciones

directas implican la presencia de sensores, como termoelementos, termistores, termómetros de resistencia etc. en contacto con el material, que de alguna manera distorsiona la temperatura a medir, pero que pueden ser utilizados tanto en la superficie del cuerpo como en su interior. El error de ~~los~~ estos sensores puede ser cuantificado y sus lecturas e inercia térmica compensadas de tal manera que sus lecturas sean muy confiables. Esto pertenece al estado de la técnica, como aparece en la solicitud de patente DE 199 34 489 A1, la patente US 3,691,405 y la patente US 5,833,365.

Los cambios de fase del material durante la medición arrojan dificultades experimentales que no han sido resueltas satisfactoriamente. En el caso de los polímeros semicristalinos, la formación de estructuras cristalinas durante un proceso de enfriamiento desde el estado fundido, depende enormemente de las condiciones de enfriamiento. Otras dificultades residen en la dilatación o contracción del material durante el proceso de medición, que dificulta garantizar la posición exacta del punto de medición durante el procedimiento, u obliga, como ya se ha mencionado, a realizar la medición bajo cambios pequeños o lentos en la temperatura. Otra suposición muy común, es la de considerar que el cuerpo es homogéneo en su estructura y que sus propiedades térmicas no varían a lo largo del recorrido del disturbio de temperatura en el que se basa la medición. Esto obliga a utilizar dimensiones pequeñas, en particular el espesor, del espécimen bajo prueba. Es ampliamente conocido que en el caso de los polímeros, la orientación molecular influye en las propiedades físicas y térmicas, y que estas aparecen inevitablemente en la mayoría de los procesos típicos de transformación de polímeros, especialmente de termoplásticos. Esto por ejemplo no se puede lograr con los dispositivos explicados en las patentes US 3,570,302, y US 4,933,887. En la primera de éstas, el cambio de temperatura está restringido a un diferencial cercano a los 25°C y en el cual se supone que la difusividad térmica permanece constante, lo que permite emplear una solución analítica de la Ec. 4 que describe el proceso de calentamiento o de enfriamiento unidimensional de un cuerpo. Se supone además que el material no se dilata apreciablemente durante la medición, y que la temperatura de la cara expuesta al líquido alcanza instantáneamente el valor del mismo y se mantiene en dicho valor a lo largo del tiempo. El sistema no funcionaría para un material que alcance durante la medición su temperatura de fusión, ya que el material se desprendería de su sujeción. Esto es válido para la gran mayoría de métodos y dispositivos en donde

el espécimen debe ser un material sólido y debe mantener este estado durante la medición. En la patente US 4,933,887 por ejemplo, el espécimen cilíndrico utilizado no puede llegar a fundirse pues los agujeros en donde se alojan los sensores de temperatura no garantizarían más su posición durante el proceso. En esta patente, el disturbio de temperatura es generado desde una fuente interna asumida como puntual, que se propaga en forma supuestamente esférica dentro del espécimen necesariamente sólido. La evolución de temperatura es obtenida por tres sensores dispuestos axialmente pero a diferentes distancias radiales de la fuente puntual, aunque no aclara que dichos puntos deben estar igualmente espaciados entre sí, para que se cumpla la ecuación que el citado documento plantea y que permite calcular la difusividad térmica a partir de las cuatro lecturas de temperatura. El método requiere que el flujo de calor, que se aporta al espécimen desde su centro, sea conocido y constante durante toda la medición. El dispositivo descrito en dicha patente no puede aplicarse para medir la difusividad térmica durante el enfriamiento, ya que la fuente puntual puede aportar pero no retirar calor del espécimen.

NOVEDAD

El objetivo general de la presente invención es obviar los inconvenientes y limitaciones de los métodos y dispositivos conocidos, proporcionando un dispositivo y un método que permita la determinación confiable de la difusividad térmica de materiales expuestos a rápidos cambios de temperatura por enfriamiento o calentamiento, durante los cuales se pueden presentar cambios de fase, y bajo altas presiones, condiciones todas similares por ejemplo, a las encontradas en los procesos industriales de transformación de materiales termoplásticos.

DESCRIPCIÓN

Para aclarar más la invención y sus ventajas comparadas con las técnicas conocidas, se describe a continuación con la ayuda de los dibujos anexos, las posibles formas de realización del dispositivo y el método de obtención de la difusividad térmica de materiales como los polímeros termoplásticos.

La Fig. 1 muestra esquemáticamente los componentes fundamentales de la Celda de medición, y la Unidad removible de sensores de temperatura en dos de las varias versiones posibles, la **11** y la **15**.

La Fig. 2 muestra un corte esquemático de la Celda de medición con las partes del cuerpo **1** ensambladas y las del cuerpo **2** desensambladas.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente la Unidad removible de sensores, en su variante **15**, integrada a la placa **30** con los sensores embebidos en ella al finalizar el llenado de la cavidad **21** y su enfriamiento posterior.

La Fig. 4 muestra la variante **11**, como una de las variantes posibles, con un detalle de los tubos guía **17** de los sensores **19** de temperatura, sus soportes removibles **16** para guiar y sostener dichos sensores en las posiciones deseadas.

La Fig. 5 muestra un detalle de un corte longitudinal de los tubos guía cónicos **17** de los sensores **19** y sus soportes integrados al bloque portador **18** para sostener dichos sensores en las posiciones deseadas para la variante **15**.

La Fig. 6 muestra un detalle de un corte longitudinal de los tubos guía **17** de los sensores **19** de temperatura en una tercera variante con soportes ajustables **50** por tapones roscados **51** para sostener los tubos guía **17** y por lo tanto los sensores de temperatura **19** en las posiciones deseadas.

La Fig. 7 muestra un corte transversal de la cavidad **21** a la altura de los extremos de los sensores de temperatura que muestra su distribución igualmente espaciada sobre una de las mitades del espesor de dicha cavidad.

La Fig. 8 muestra un ejemplo de las curvas de temperatura obtenidas en una medición con la Celda de medición y una unidad removible de sensores dotada de 6 sensores **19** de temperatura que entregan 6 curvas **80** del material durante la medición. La curva **82** de temperatura de la pared del molde y la curva **81** de presión captada por el sensor **5** para la zona de la cavidad **21** en donde se realiza la medición de temperatura. El eje de las abscisas corresponde al tiempo expresado en segundos y el de las ordenadas, a la temperatura en °C.

La Fig. 9 muestra un ejemplo de la curva de difusividad térmica expresada en mm^2/s para un material termoplástico, obtenida con el método y la Celda descritos en esta invención. El eje de las ordenadas es el de la difusividad térmica del material, expresada en mm^2/s y el de las abscisas el de la temperatura en °C. La curva mostrada se obtiene de una de las cuatro tripletas que se pueden definir de las 6 curvas de la Fig. 8, según el método de la presente invención.

La Celda de medición está compuesta básicamente por los dos cuerpos simétricos **1** y **2** de la Fig. 1. compuestos a su vez por las placas aislantes **9** y las placas metálicas **24** y **25** que sujetan entre sí sendos bloques de metal **20** altamente conductor del calor que conforman las paredes o superficies mayores de la cavidad **21** en donde se inyecta el material a estudiar a través del agujero **3** (omitido en la Fig. 2) hasta la cámara **22**. Esta cámara posee una forma tal que permite que el material fluya desde ella hacia la cavidad **21** a través de su cara rectangular transversal con un frente de flujo plano, como es entendible para un conocedor de la técnica de construcción de moldes de inyección. Su espesor o altura debe ser superior al de la cavidad **21**, para garantizar que su solidificación ocurrirá siempre después de la solidificación del material en la cavidad **21**, y así garantizar que siempre podrá fluir el material bajo estudio hacia dicha cavidad, para compensar la contracción del material a medida que baja su temperatura, cuando la Celda opera en condición de enfriamiento. Dicho espesor mayor, junto con la forma aproximadamente triangular de la cámara **22**, ayuda además a la disminución de caídas de presión en dicha cámara y facilita una distribución uniforme de presión a lo largo de la cara transversal que la comunica con la cavidad **21**, para obtener un frente de flujo plano en ésta. Las dimensiones de las superficies mayores de la cavidad **21** deben ser suficientemente grandes con respecto a su espesor o altura, para que los eventuales flujos de calor en los bordes laterales y transversales de la cavidad **21** no afecten significativamente el flujo principal de calor y éste sea perpendicular a dichas superficies mayores, lo cual garantiza la condición de flujo unidimensional que exige el modelo matemático para hallar la difusividad térmica según la Ec. 6. La cámara **22** forma la sección **31** de la pieza en Fig. 3 y la cavidad **21** la sección **30** de la pieza denominada "placa" en esta invención. La entrada **3** también puede estar ubicada en la línea de partición de la Celda, en este caso la superficie de contacto de las dos placas metálicas **24**, como es usual encontrar en moldes de inyección. En la perforación **27** se instala un sensor piezoeléctrico **6** que sirve para monitorear la presión en el material durante la inyección y en la **13** el sensor **5** que sirve para registrar la presión en la zona de medición de temperatura. Ambos bloques metálicos internos **20** están sostenidos entre las placas **24** y **25**, de tal manera que el contacto con ellas sea mínimo para minimizar el intercambio de calor entre ellas y los bloques internos metálicos **20**. Estos bloques metálicos **20** están aislados de los de sujeción **24** y **25** por un espacio de aire **23** alrededor de las paredes

7

el de la cámara

no es un triángulo

verticales de los bloques internos **20**, para poder reducir a un mínimo todo flujo transversal de calor en dichos bloques, y así obtener un flujo prácticamente unidimensional en los mencionados bloques. Cada uno de los dos bloques internos metálicos **20** posee dos grupos de perforaciones **26** y **28** dispuestos en dos niveles, siendo el grupo **26** el más cercano a la superficie mayor de la cavidad **21** y el grupo **28** el más alejado de la misma superficie. Cada uno de estos bloques internos posee en la superficie que mira hacia la cavidad **21**, un termoelemento **7** situado en dicha superficie, pero parcialmente embebido en el bloque interno **20** de tal manera que parte de su superficie quede expuesta directamente hacia la cavidad **21** sin tener el peligro de que dicho sensor de temperatura ~~no~~ pueda salirse de su alojamiento, como puede observarse en el detalle de la Fig. 6. Esto se logra garantizando que la posición del eje de dicha perforación esté a una distancia de la superficie, menor que su radio. Estos sensores sirven tanto para el monitoreo como para el control de la temperatura de la superficie o pared de la cavidad. A la altura de los centros de perforaciones del grupo **26** se encuentra instalado otro sensor **8** de temperatura en la posición media de dicho grupo, para efectos de control de la temperatura del medio atemperador que circula por dichas perforaciones. El grupo de perforaciones **28** sirve para alojar sendos cartuchos cilíndricos de calentamiento convencionales, no representados en las figuras correspondientes, preferiblemente de alta densidad de potencia, para poder elevar la temperatura de los bloques internos **20** cuando la celda se desee utilizar para calentar el material que ocupe la cavidad, y cuando dicha temperatura esté por encima de la temperatura de ebullición del líquido atemperante que normalmente circula por el grupo de perforaciones **26**.

En la Fig. 1 no están representados tornillos y elementos de unión convencionales que mantienen unidas las placas **9**, **24**, **25** y los bloques internos **20** que conforman sendos cuerpos simétricos **1** y **2**. Estos bloques internos **20** son removibles e intercambiables para facilitar la construcción y reparación de la Celda de medición, y también por ejemplo para que la cavidad **21** formada entre ellos pueda lograrse con diferentes alturas y así posibilitar el estudio de la difusividad en cuerpos con distintos espesores. Durante la operación de la Celda ambos cuerpos simétricos deben mantenerse unidos por algún dispositivo como una prensa o por la unidad de cierre de una máquina de tecnología actual o convencional, que sea capaz de mantener cerrada herméticamente la Celda cuando se inyecte a presión en su interior el material fundido que se desea

analizar. Los elementos de guía para alinear ambos cuerpos durante el cierre y demás detalles constructivos se han omitido en las figuras ya que son elementos convencionales conocidos por cualquier experto en el tema de moldes de inyección.

La Celda de medición posee dos placas de material aislante **9** de la Fig. 2 como el utilizado normalmente en la tecnología de inyección de plásticos, pero con un espesor mínimo de 20mm, para minimizar la transferencia de calor hacia la prensa o dispositivo que sostiene y cierra la Celda de medición durante su operación. Los conductos de los canales de atemperamiento **26** se conectan con tubos convencionales (no representados en la figura) que pasan sin hacer contacto por los agujeros **4** de los cuerpos simétricos **1** y **2** a un sistema (no representado en las figuras) que mantenga en circulación un líquido atemperador convencional, como por ejemplo agua o aceite, a la temperatura deseada para la temperatura de la pared de la cavidad **21** de la Celda de medición. El sistema de circulación debe ser capaz de mantener la temperatura del fluido con una variación inferior a $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ mientras la cavidad **21** esté vacía.

El sensor de presión **5** está instalado en la perforación **13** en el bloque metálico interno que se encuentra sujetado por el cuerpo **1**. La punta activa de este sensor debe quedar a ras de la superficie o pared de la cavidad **21** y está situado en la región central de dicha superficie, para poder garantizar que la presión que mide, es la correspondiente a la región donde se realizan las mediciones de temperatura por los sensores **19** en el interior de la cavidad **21**. Su tamaño debe ser el menor posible, para evitar disturbios en el patrón de flujo de calor dentro del bloque **20** que lo contiene. El segundo sensor **6** de presión está instalado también en el cuerpo **1** en la perforación **27**, en la parte central de la superficie aproximadamente triangular de la cámara **22** y a ras de la misma, y sirve para el registro y monitoreo de la presión del material bajo estudio que se inyecta a la celda a través de la entrada **3** en el cuerpo **1** hacia la cavidad **21**. El sensor **5** y el sensor **6** y los de temperatura **7** y **8** se conectan a un equipo de adquisición de datos convencional provisto de una tarjeta para conversión análoga/digital preferiblemente de 16 bits de resolución, con capacidad de muestrear cada señal mínimo 100 veces por segundo. Las señales de estos sensores sirven para vigilar las condiciones de proceso y su estabilidad en el tiempo. Antes de cerrar la Celda se instala en su interior el dispositivo llamado Unidad removible de sensores de temperatura **11** en el espacio **10** previsto para tal fin en los cuerpos simétricos **1** y

2 y hacia la cara transversal de la cavidad **21**, opuesta a la cara transversal a través de la cual entra el material cuando es inyectado en la cavidad **21**. Las paredes laterales longitudinales de la cavidad se aíslan térmicamente por medio de dos barras removibles **14** de material polimérico.

En la Fig. 1 se aprecia la Unidad removible de sensores de temperatura en dos de sus variantes: la **11** (ver también corte longitudinal en la Fig. 4) y la variante **15** que aparece también la Fig. 3 con su corte longitudinal en la Fig. 5. Esta unidad está formada por un bloque portador **18**, fabricado en un material de baja conductividad térmica, pero suficientemente resistente para soportar las altas presiones reinantes en la cavidad **21** durante la operación de la Celda de medición. Dicho bloque portador posee, en la variante **15**, extensiones prismáticas **32** que mantienen en posiciones preestablecidas los tubos guía **17** (ver también la Fig. 5), a través de los cuales se pueden deslizar, suavemente y sin juego apreciable, los sensores de temperatura **19**. Estos sensores de temperatura deben poseer un diámetro lo más pequeño posible, para afectar mínimamente la temperatura de la zona que se desea medir. Los tubos guía **17** poseen un agujero cilíndrico y se encuentran soportados por sendos cuerpos removibles y aislantes **16** en la variante **11**, que reemplazan las extensiones prismáticas **32** de la variante **15**, o por elementos roscados **51** en los bloques internos metálicos **20**. Estos tubos guía deben estar contruidos de un material suficientemente resistente y rígido para soportar, sin deformaciones o daños, las presiones y temperaturas reinantes en la cavidad **21** durante la operación de la Celda de medición. Para el caso de materiales termoplásticos, la presión puede alcanzar valores tan altos como 200 MPa y la temperatura llegar a unos 350°C . Durante el llenado de la cavidad **21**, estos tubos guía **17** no deben moverse de su posición durante el llenado de la citada cavidad, incluso cuando se esté utilizando un material a analizar con alta viscosidad de fundido, como es el caso de muchos termoplásticos. Dicha posición de los sensores de temperatura **19** es muy crítica y de ella depende la exactitud que pueda alcanzarse en la determinación de la difusividad térmica del material bajo estudio, ya que como se aprecia en la Ec. 6, dichas posiciones afectan el valor Δx^2 . Los soportes de los tubos guía **17**, en cualquiera de sus variantes, deben quedar inmovilizados en forma segura al cerrarse herméticamente la Celda. Esto se logra, haciendo su altura ligeramente superior a la altura o espesor de la cavidad. La compresión que sufren estos soportes mientras la Celda está cerrada, no debe sobrepasar el límite de

deformación permisible del material utilizado para fabricarlos. Dicho material, debe además presentar baja conductividad térmica para no alterar apreciablemente el proceso de enfriamiento o calentamiento en la zona de medición en donde están los extremos de los sensores de temperatura **19**. Independientemente de las variantes utilizadas para el posicionamiento de los sensores de temperatura, estos siempre quedan uniformemente distribuidos entre sí y sobre una de las mitades del espesor de la placa de material a analizar, según se aprecia en la Fig. 7. Los sensores de temperatura **19** deben sobresalir de los tubos guía **17** lo suficiente para que los tubos no alteren la velocidad de respuesta de los sensores **19**. Los soportes de los tubos guía **17**, deben ser delgados para no afectar significativamente las condiciones de temperatura del material en la zona de medición. Los sensores de temperatura **19** deben quedar suficientemente alejados de los bordes laterales de la cavidad **21**, en donde se encuentran los bloques aislantes **14**, para garantizar que dichos sensores no serán afectados por eventuales flujos transversales de calor en la cavidad y así asegurar que están situados en una zona con flujo unidimensional de calor de la forma más exacta posible, tal como lo exige el modelo matemático que describe el proceso, según la Ec. 6. La Unidad removible de sensores de temperatura se coloca en el espacio **10** de tal forma que los sensores de temperatura **19** sobresalgan hacia la cavidad **21** desde su cara transversal opuesta a la de entrada del material, es decir, que sus ejes están ubicados en forma paralela a la dirección del flujo del material bajo estudio cuando se llena dicha cavidad, y por lo tanto paralelos a los planos isotérmicos que se establecen en la cavidad debido al flujo unidimensional de calor en dirección perpendicular a las superficies mayores de la citada cavidad. Cada sensor debe estar calibrado para poder corregir sus lecturas, como es de conocimiento para cualquier conocedor de técnicas de medición de temperatura con termoelementos.

Las variaciones de realización para los soportes de los tubos guía **17**, explicadas arriba, no son las únicas posibles y por lo tanto no deben tomarse como una limitación de las reivindicaciones de la Celda de medición de esta invención. En la Fig. 6 se puede ver por ejemplo, otra opción para fijar los tubos guía **17** de los sensores de temperatura **19**, que consiste en una pareja de cilindros **51** ajustables por la sección roscada **50** en las posiciones requeridas por los sensores.

La separación de los sensores entre sí, en la dirección transversal de la cavidad **21**, es importante para evitar que dos o más sensores de temperatura queden en

el mismo recorrido del flujo de calor, perpendicular a las superficies mayores paralelas de la cavidad **21**, es decir, que no generen una “sombra térmica” para sus vecinos durante el flujo de calor, lo cual afectaría apreciablemente las lecturas de temperatura correspondientes. La diferencia entre las distancias de los sensores a las dos superficies mayores o paredes de la cavidad **21**, debe ser igual para todos los sensores. Esta condición es indispensable para que la solución numérica de la Ec. 4 sea válida, tal como se explica más adelante. El espesor o altura de la cavidad **21** puede lograrse por otros métodos diferentes al intercambio de los bloques **20** por otros de diferente altura, como podría ser por ejemplo, el empleo de placas o suplementos sobre estos bloques o cualquier otro sistema de dominio general dentro de los conocedores de la construcción de moldes de inyección.

El procedimiento para utilizar la Celda de medición descrita, se explica a continuación.

Se instala la Celda de medición, con su entrada **3** acoplada de modo hermético a un dispositivo apto para inyectar el material bajo estudio en estado fundido, preferiblemente una máquina inyectora de tecnología actual o convencional, que genere en forma reproducible la presión y la temperatura necesaria en el material bajo estudio, para inyectarlo en la cámara **22** y de allí a la cavidad **21** de la Celda de medición, de acuerdo a la técnica moderna de inyección.

Una vez se alcanza un estado térmico estacionario en la Celda, se inserta la unidad removible de sensores de temperatura **11** o **15** en el espacio **10** de uno de los cuerpos simétricos **1** o **2**; se cierra herméticamente la Celda de medición y se activa la grabación de señales para iniciar la inyección del material a analizar. El proceso de toma de señales se mantiene hasta que la temperatura media del material alcance el valor deseado para finalizar el proceso, por ejemplo 5°C por encima del valor ajustado para las paredes de la cavidad **21** de la Celda de medición.

El primer proceso de medición se realiza durante el enfriamiento del material bajo estudio desde el estado fundido. La temperatura de las paredes de la cavidad **21** de la Celda se puede ajustar con el sistema de atemperamiento que hace circular un líquido atemperante a través de los grupos **26** de perforaciones de los bloques metálicos internos **20** para obtener diferentes condiciones de enfriamiento; así mismo se ajustan la temperatura del fundido y la presión de inyección con el fin de

realizar mediciones bajo condiciones típicas de procesamiento industrial del material. Para este primer proceso, la única condición necesaria para la temperatura inicial del material, es que éste se encuentre fundido a ella y termine a una temperatura suficientemente baja, por lo general cercana a la temperatura ambiente, pero nunca superior o cercana a la temperatura de ablandamiento del material bajo estudio. Esto último es importante para poder extraer fácilmente la placa formada por las secciones **30** y **31** en la Celda de medición, junto con la Unidad removible de sensores, los cuales quedan embebidos en la sección **30** al terminar el proceso como se muestra en la Fig. 3 en donde para facilidad de comprensión se ha dibujado la placa como un cuerpo transparente en la sección que contiene los sensores de temperatura **19**.

Una vez terminado el proceso de toma de datos descrito en el párrafo anterior, se procede a abrir la Celda de medición y a extraer la Unidad removible de sensores de temperatura, integrada a la placa formada de material a analizar.

Esta Unidad removible de sensores, ya integrada con la placa del material a analizar; se puede utilizar para realizar un proceso de calentamiento opcional, que permite obtener la información necesaria para calcular la difusividad térmica del material durante un proceso de calentamiento, de una manera similar a la utilizada en el enfriamiento. Para ello se lleva la Celda de medición a la temperatura deseada, ya sea con ayuda del líquido atemperante que circula por las perforaciones **26** o con ayuda de cartuchos eléctricos convencionales (no representados en las figuras) instalados en las perforaciones **28** si es necesario, por ejemplo cuando la temperatura deseada esté por encima de la de ebullición del líquido atemperante utilizado. Una vez alcanzado el estado estacionario, detectado con ayuda de los sensores **7** y **8** de temperatura de los bloques internos **20**, se activa la grabación de señales, se introduce rápidamente la Unidad removible de sensores de temperatura integrada con la placa que tiene embebidos los sensores **19** y se cierra herméticamente la Celda de medición. El proceso se continúa hasta alcanzar el material una temperatura media cercana, por ejemplo 5°C por debajo de la de las paredes de la cavidad **21**.

Para extraer el dispositivo **11** o **15** de fijación de los sensores de temperatura de la placa **30** de material a analizar, la temperatura de la placa debe estar al menos 5°C por debajo de la temperatura de solidificación del material a analizar. Este proceso de enfriamiento posterior a la medición puede acelerarse utilizando el sistema de atemperamiento. En este estado, la placa puede ser retirada del

dispositivo de fijación de los sensores de temperatura halándola cuidadosamente en la dirección axial de los sensores de temperatura, quedando la citada Unidad removible lista para otra medición bajo enfriamiento.

El procedimiento matemático para obtener la difusividad térmica del material bajo estudio, a partir de mínimo tres valores de temperatura (tripleta), se basa en la siguiente expresión obtenida de la Ec. 4

$$\alpha = \frac{(\partial g / \partial t)}{(\partial^2 g / \partial x^2)} \quad \text{Ec. 5}$$

En esta ecuación se observa que la difusividad térmica queda expresada como el cociente entre la velocidad de enfriamiento en un punto del cuerpo, dividida por el Laplaciano o la variación del gradiente local de la temperatura en el mismo punto, en un instante dado.

La Ec. 5 se puede discretizar de la siguiente forma:

$$\alpha(X_i, g_{i,j}, g'_{i,j}, p) = \frac{(g_{i,j+1} - g_{i,j}) / \Delta t}{(g_{i+1,j} + g_{i-1,j} - 2g_{i,j}) / \Delta x^2} \quad \text{Ec. 6}$$

En donde:

- α = difusividad térmica del material bajo estudio en mm^2/s
- i = Subíndice que indica la posición del sensor central de una tripleta de temperaturas
- j = Subíndice que expresa el intervalo del tiempo
- Δx = separación entre sensores de temperatura de la tripleta y medida en la dirección del flujo de calor, expresado en mm
- Δt = diferencia de tiempo entre los valores tomados de las curvas de temperatura, expresado en s
- $g'_{i,j}$ = Velocidad de cambio de temperatura en la posición i , para el tiempo dado por j , expresada en $^{\circ}\text{C}/\text{s}$
- $g_{i,j}$ = Temperatura para la posición central X_i de una tripleta en el tiempo dado por j , expresada en $^{\circ}\text{C}$
- $g_{i,j+1}$ = Temperatura central de una tripleta (posición X_i) en el tiempo $j+1$, expresada en $^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_{i+1,j}$ = Temperatura para la posición X_{i+1} más alejada de la pared de la cavidad en una tripleta y en el tiempo j , expresada en °C

$\vartheta_{i-1,j}$ = Temperatura para la posición X_{i-1} , más cercana a la pared de la cavidad en una tripleta y en el tiempo j , expresada en °C

p = Presión en la cavidad en la zona de medición de temperatura, expresada en Mpa ~~MPa~~ MPa

En dicha Ec. 6 se indica que la difusividad térmica α depende de la temperatura ϑ , de la velocidad de cambio de ésta ϑ' y de la presión p reinante en el punto de observación de posición X_i . Se observa además que para obtener la difusividad térmica del material en un punto X_i del cuerpo y para un instante dado del proceso de conducción de calor no estacionario, en el cual reina una temperatura y una presión conocidas, basta dividir la velocidad del cambio de temperatura en la posición central X_i de tres puntos de medición, calculada como el cambio de temperatura en ese punto durante un pequeño intervalo de tiempo Δt y dividirla por el cambio del gradiente local de temperatura o el Laplaciano de la misma, en el punto central X_i . Para esto último es necesario entonces conocer las temperaturas en dos posiciones simétricas (X_{i-1} , X_{i+1}) con respecto al punto central X_i de medición de temperatura, que estén separados en la misma cantidad Δx , en el mismo instante.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL DISPOSITIVO Y DEL MÉTODO DESCRITOS

A continuación se explica un ejemplo de la aplicación del dispositivo de esta invención para obtener las lecturas de temperatura necesarias para poder calcular la difusividad de un material de acuerdo con la Ec. 6:

Se ha tomado como material un Polietileno de alta densidad para alimentar una máquina inyectora convencional en la cual se ha instalado un dispositivo construido de acuerdo a lo descrito en esta invención, que posee en su interior una cavidad que conforma una placa de 60 mm x 60 mm y de 4 mm de espesor. El material se funde en la unidad correspondiente de la máquina inyectora y lo mantiene a 230°C. La Celda se lleva a una temperatura estable de 40°C, con ayuda de un sistema convencional de recirculación de agua. Una vez verificados estos dos valores de temperatura, se introduce la Unidad removible según la variante 15, con 6 sensores de temperatura espaciados 6 mm entre sí. El sensor más cercano a la pared está a $0,50 \pm 0,01$ mm y el más alejado está en el centro de

la altura de la cavidad o sea a $2,00\pm0,01$ mm de distancia a ambas paredes. El incremento de estas distancias de cada sensor a una de las paredes principales de la cavidad es constante e igual a $0,30\pm0,01$ mm. Se inicia la toma de señales y se inyecta el material a una presión cercana a los 20 MPa. El proceso continúa hasta que la temperatura media del material se acerca a los 40°C de la pared de la cavidad **21**. Todas las señales de temperatura y presión fueron almacenadas cada 0,2 s y convertidas a valores digitales con una resolución de $0,06^{\circ}\text{C}$ en un sistema de adquisición de datos ajustado a las especificaciones dadas en la presente invención. Una vez obtenidas las curvas, se corrigieron de acuerdo a los valores de calibración obtenidos para cada sensor **19** de temperatura de la unidad removible de sensores según las técnicas conocidas para estas tareas de medición.

En la Fig. 8, aparecen 6 curvas **80** que representan los resultados de medición de la evolución de la temperatura interna de la placa obtenida, para 6 diferentes posiciones de medición dentro de ella. La curva de temperatura **82** es la de la pared de la cavidad **21** durante el proceso y la **81** es la correspondiente a la variación de presión en la zona de medición de temperaturas.

EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA

La Tabla 1 muestra la estructura requerida en los datos para poder ser analizados según la Ec. 6. En ella, cada fila de datos contiene, en su orden, el tiempo transcurrido desde el comienzo del proceso de enfriamiento, expresado en segundos, las temperaturas de la tripleta en grados centígrados para ese instante de tiempo y la presión reinante en la cavidad en la zona de medición de temperatura expresada en MPa y para el mismo instante de tiempo.

Tabla 1

Tiempo [s]	...	Temperatura en posición i-1 [°C]	Temperatura en posición i [°C]	Temperatura en Posición i+1 [°C]	...	Presión en la cavidad [MPa]
.....						
11,40	..	150,28	159,52	165,25	..	18,46
11,60	..		158,29		..	
.....						

El valor de la difusividad térmica obtenido para la temperatura media del intervalo $(159,52^{\circ}\text{C}+158,29^{\circ}\text{C})/2=158,91^{\circ}\text{C}$ y a una presión media de 18,23 MPa y para la

posición central X_i de la tripleta en el interior del cuerpo y de acuerdo con la Ec. 6 es de $0,11 \text{ mm}^2/\text{s}$. Esto se repite para todos los renglones del archivo de datos. Para la presentación final de la curva de difusividad térmica, los valores obtenidos se aproximan de acuerdo a las técnicas numéricas usuales, a una línea suave con el menor error cuadrático. Las seis curvas de temperatura del ejemplo permiten formar 4 tripletas (1-2-3, 2-3-4, 3-4-5, 4-5-6) de temperaturas adyacentes para obtener 4 curvas diferentes de la difusividad térmica para las condiciones reinantes en cada uno de los cuatro sensores en las posiciones centrales de las tripletas correspondientes. La Fig. 9 muestra un ejemplo de curva para difusividad térmica obtenida de la segunda tripleta de datos de la Fig. 8 con el sensor central a 1,4 mm de la pared más cercana, es decir la tripleta 2-3-4.

El método descrito para obtener la difusividad térmica no se limita a materiales termoplásticos. Sólo es necesario disponer de una tripleta de temperaturas para puntos igualmente espaciados en la dirección del flujo de calor para un proceso de conducción de calor unidimensional no estacionario en un material sometido a un cambio rápido de temperatura.

REIVINDICACIONES

¿no de
mínimo de
superficie?

1. Celda de medición semejante a un molde de inyección que comprende como mínimo una cavidad, alimentada lateralmente desde una cámara de alimentación que se llena bajo presión con un material fundido que se desee estudiar, en donde dicha cavidad está formada entre dos bloques metálicos internos removibles dotados de un sistema de enfriamiento y calentamiento y aislados lateralmente de los cuerpos que los sujetan por medio de un espacio de aire, dos barras poliméricas aislantes instaladas en los bordes longitudinales de la mencionada cavidad, un par de sensores de presión instalados en forma fija en las superficies mayores paralelas de dicha cavidad y en la mencionada cámara de alimentación, cuatro sensores de temperatura, dos de ellos colocados simétricamente en ambas superficies mayores paralelas de dicha cavidad y los dos restantes colocados a la altura de los centros de los canales de atemperamiento de dicha cavidad, un dispositivo removible, reparable y reutilizable denominado Unidad removible de sensores de temperatura, que posee varios tubos guía ensamblados en un bloque portador para guiar y fijar un grupo de sensores de temperatura en dicha cavidad en posiciones igualmente espaciadas entre sí y en la dirección del flujo de calor unidimensional que se genera en dicha cavidad durante la operación de la Celda de medición, en donde todos los sensores mencionados están conectados a un sistema convencional de adquisición de datos para el almacenamiento de las señales de dichos sensores durante la operación de la mencionada Celda.
2. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada por poseer una cavidad plana rectangular cuyas medidas longitudinal y transversal superan como mínimo 15 veces su altura o espesor.
3. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada por poseer una cámara con forma aproximadamente triangular con espesor o altura superior a 2,5 veces el espesor de la mencionada cavidad que alimenta a ésta por uno de sus bordes transversales.
4. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la mencionada cavidad está formada por dos bloques internos removibles

①
no superando

no superando

no superando

e intercambiables fabricados en un material metálico cuya conductividad térmica es al menos 100 veces mayor que la del material a estudiar.

no
superf.

5. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la mencionada cavidad posee en sus dos bordes paralelos longitudinales, dos barras removibles fabricadas con material que no funde a la temperatura máxima del proceso y con una conductividad térmica al menos 100 veces menor que la del material de los dos mencionados bloques internos que conforman la citada cavidad.

no
superf.

6. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque cada uno de los dos bloques metálicos internos removibles mencionados, posee una perforación cilíndrica, paralela a las superficies mayores que conforman las dos caras rectangulares paralelas de la mencionada cavidad, pero perpendicular a los bordes longitudinales de la misma, con su eje a una profundidad menor que su radio, con una longitud mínima de 40 veces su diámetro, y de diámetro igual al de los mencionados sensores de temperatura que se instalan en dicha superficie, de tal forma que dicho agujero cilíndrico quede abierto hacia la cavidad en un arco menor que 180° .

no
superf.

P

7. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque sus dos mencionados bloques metálicos internos removibles e intercambiables están dotados de perforaciones pasantes paralelas a las caras rectangulares de la mencionada cavidad, dispuestas en dos niveles, en donde el grupo de perforaciones situado en el nivel más cercano a la superficie de dicha cavidad permite la circulación de un fluido atemperante convencional.

8. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque los mencionados bloques internos removibles e intercambiables metálicos están dotados de perforaciones pasantes paralelas a las caras rectangulares de la mencionada cavidad, dispuestas en dos niveles, en donde el grupo de perforaciones situado en el nivel más alejado de la superficie de dicha cavidad permite alojar cartuchos convencionales de calentamiento eléctricos de alta densidad de potencia.

9. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque sus dos citados bloques metálicos internos removibles están aislados térmicamente por un espacio de aire, de mínimo 1mm de espesor, entre

no
superf.

sus paredes verticales y las de los cuerpos que los sujetan en la mencionada Celda de medición,

10. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la mencionada cavidad posee un sensor de presión de un diámetro no superior a 2,5 mm instalado en la zona central de dicha cavidad y dentro de uno de los cuerpos metálicos removibles de dicha Celda de medición.
11. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque posee una Unidad removible de sensores de temperatura que mantiene posicionado a cada sensor, en posición estable con una precisión superior al 0,5%, paralela a las caras mayores de la citada cavidad y a una distancia nominal preestablecida entre el eje de cada sensor y cada una de las superficies principales paralelas de la mencionada cavidad, de tal manera que queden uniformemente distribuidos sobre una mitad del espesor de la citada cavidad y sobre la dimensión transversal de la misma, pero alejados de los bordes longitudinales de la citada cavidad en donde está instalados las mencionadas barras removibles, no menos de 4 veces el espesor de dicha cavidad y cuidando que los extremos de los citados sensores o puntos de medición queden situados en la zona media de la citada cavidad o sea equidistante de los bordes transversales de ésta.
12. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la mencionada Unidad removible de sensores de temperatura permite la instalación precisa y segura de sensores de temperatura, cilíndricos, delgados y convencionales, en el borde transversal de la mencionada cavidad y opuesto al borde transversal de la misma que está conectado a la cámara de alimentación de la mencionada Celda de medición.
13. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la mencionada Unidad removible de sensores de temperatura permite la fijación de mínimo 3 sensores de temperatura, cilíndricos convencionales, preferiblemente de máximo 0,25 mm de diámetro.
14. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la mencionada Unidad removible de sensores de temperatura posee tubos guía con un diámetro interior que permite la fijación ajustada de los

no
segunda

no
segunda

mencionados sensores de temperatura, sobresaliendo éstos de los citados tubos preferiblemente 10 veces su diámetro.

*no
superior*

15. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la citada Unidad removible de sensores de temperatura posee tubos guía fabricados en un material de resistencia mecánica y térmica suficientes para no deformarse a las temperaturas y presiones reinantes en la citada cavidad durante la operación de la mencionada Celda de medición, con un diámetro interior suficiente para el desplazamiento axial suave pero ajustado de los mencionados sensores de temperatura de la Unidad removible de sensores durante su instalación o eventual recambio y con un diámetro exterior en la zona de medición, no superior a 2,5 veces el diámetro de dichos sensores de temperatura.

*no
superior*

16. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque la mencionada Unidad removible de sensores de temperatura posee un bloque portador para la fijación de los mencionados tubos guía, fabricado con un material no metálico de suficiente resistencia mecánica y térmica para soportar la presión y temperatura reinantes en la mencionada cavidad durante el empleo de la citada Celda de medición.

17. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque los mencionados tubos guía de la citada Unidad removible de sensores de temperatura, están soportados por cuerpos de soporte integrados al mencionado bloque portador de dicha Unidad removible cuya altura es superior a la altura de la cavidad sin excederla en un 1%, cuyo espesor no es superior a 1,5 mm y que dejan sobresalir los citados tubos guía una longitud preferiblemente de 40 veces el diámetro de los sensores de temperatura.

*no
superior*

18. Celda de medición según la reivindicación 1 caracterizada porque los mencionados tubos guía de la citada Unidad removible de sensores de temperatura, están soportados por cuerpos de soporte removibles e independientes del mencionado bloque portador de dicha Unidad removible, cuyo espesor no es superior a 1,5mm, su altura es superior a la altura de la cavidad sin excederla en un 1% e instalados a una distancia del extremo de cada uno de los citados tubos guía preferiblemente de 40 veces el diámetro de los sensores de temperatura.

*no
superior*

19. Método para obtener la difusividad térmica de un material a partir de un mínimo de tres señales (tripleta) que describen la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo en tres puntos de un cuerpo sometido a un proceso de enfriamiento, fabricado con el citado material, bajo estudio, igualmente espaciados entre sí y en la dirección del flujo de calor que se genera durante el citado proceso de enfriamiento, utilizando una Celda de medición como la descrita en la reivindicación 1, caracterizado por los siguientes pasos:

- Instalar mínimo tres sensores de temperatura en la citada cavidad de forma tal que se garantice la posición de cada uno de estos sensores durante todo el proceso, de tal forma que las respectivas posiciones queden igualmente espaciadas entre sí y respecto a una de las superficies paralelas mayores de la citada cavidad repartidas sobre una de las mitades del espesor de la citada cavidad, en la dirección del flujo de calor que se genera durante el proceso de enfriamiento o calentamiento.
- Llevar el material que se desea estudiar a una temperatura superior a su temperatura de fusión lo suficientemente alta, llamada temperatura inicial, para que el mencionado material pueda fluir y llenar la citada cavidad.
- Estabilizar la temperatura de las dos superficies internas paralelas mayores de la mencionada cavidad mediante el empleo de un sistema convencional de recirculación de líquido atemperante con temperatura regulada, a un valor que permita que el material bajo estudio sufra un enfriamiento brusco por debajo de su temperatura de solidificación al entrar a la cavidad y que la presión alcance una temperatura media, llamada temperatura final, al menos 10°C por debajo de la temperatura de ablandamiento del material bajo estudio.
- Iniciar la toma de señales de temperatura y presión en la mencionada cavidad inmediatamente antes de iniciar el llenado bajo presión de la citada cavidad con el material bajo estudio, y mantener dicha toma de señales durante todo el proceso de enfriamiento, usando un sistema de adquisición de datos que permita el almacenamiento de las señales de temperatura y presión para su posterior análisis.
- Cerrar herméticamente la citada celda de medición.

(2)

P.
no
suficiente

- Inyectar en la mencionada cavidad el material termoplástico cuya difusividad térmica se desea medir, a la mencionada temperatura inicial, y manteniendo una presión constante en el material fundido que se inyecta de tal manera que la presión en la citada cavidad alcance el valor deseado para la medición y que constituya junto con las temperaturas inicial y final mencionadas, otro parámetro o condición de la medición aquí descrita.
- Finalización de la toma de señales de temperatura y presión, cuando la temperatura media del material haya llegado a la mencionada temperatura final.
- Extracción de la pieza formada en la citada cavidad con el material inyectado y con los sensores de temperatura embebidos en ella.
- Calcular a partir de los datos obtenidos durante el proceso, tanto la velocidad de enfriamiento en la posición central de cada tripleta de sensores, como la variación local del gradiente de temperatura para esa misma posición en diferentes instantes del proceso.
- Calcular la difusividad térmica del material bajo estudio para cada valor deseado de temperatura que esté entre la temperatura inicial y final del mencionado proceso de enfriamiento y para los diferentes instantes a lo largo de la duración del enfriamiento, dividiendo la velocidad de enfriamiento calculada para el sensor central de cada tripleta, por el correspondiente valor de la variación local del gradiente de temperatura en dicha posición, para los diferentes instantes del proceso de enfriamiento en los cuales se hayan registrado las señales.

20. Método para obtener la difusividad térmica de un material a partir de un mínimo de tres señales (tripleta) que describen la evolución de la temperatura a lo largo del tiempo en tres puntos de un cuerpo que están igualmente espaciados entre si y en la dirección del flujo de calor que se genera durante un proceso de calentamiento, en donde el citado cuerpo o espécimen de prueba puede ser el obtenido en los pasos descritos en el método de la reivindicación 19, y de acuerdo con los siguientes pasos:

- Estabilizar la temperatura de las dos superficies internas paralelas mayores de la cavidad de una Celda de medición como la descrita en

3

P. difusiv
dad

no separado

la reivindicación 1 a un valor al menos 5°C por encima de la temperatura final deseada para el proceso de calentamiento, mediante el empleo de un sistema convencional de recirculación de líquido atemperante con temperatura regulada o de calentamiento eléctrico si dicha temperatura final excede la de ebullición del líquido atemperante del citado sistema de recirculación.

- Iniciar la toma de señales de temperatura y presión en la mencionada cavidad usando un sistema de adquisición de datos que permita el almacenamiento de las señales de temperatura y presión generadas durante el proceso de calentamiento que se genera a partir del siguiente paso.
- Instalar rápidamente el espécimen de prueba con al menos tres sensores de temperatura embebidos en él, en la citada cavidad, observando que dicho espécimen se encuentre en equilibrio térmico a la temperatura ambiente que se denomina temperatura inicial del proceso de calentamiento.
- Cerrar herméticamente la citada celda de medición.
- Finalizar la toma de señales de temperatura y presión cuando la temperatura media del espécimen haya alcanzado la mencionada temperatura final.
- Enfriar la celda de medición, si es necesario, utilizando un sistema convencional de atemperamiento de fluido recirculante para bajar la temperatura del mencionado espécimen a una temperatura suficientemente baja para que el material esté lo suficientemente rígido y que permita su extracción de la citada cavidad.
- Abrir la citada celda y extraer de su cavidad el espécimen de prueba con los sensores de temperatura embebidos en él.
- Calcular a partir de los datos obtenidos durante el proceso, tanto la velocidad de calentamiento en la posición central de cada tripleta de sensores, como la variación local del gradiente de temperatura para esa misma posición en diferentes instantes del proceso en donde se han registrado los mencionados datos.
- Calcular la difusividad térmica del material bajo estudio para valores de temperatura que estén entre la temperatura inicial y final del mencionado proceso de enfriamiento y para los diferentes instantes

de tiempo, en los que se han registrado las citadas señales, dividiendo la velocidad de enfriamiento calculada para el sensor central de cada tripleta, por el correspondiente valor de la variación local del gradiente de temperatura en dicha posición, para los diferentes instantes del proceso de enfriamiento.

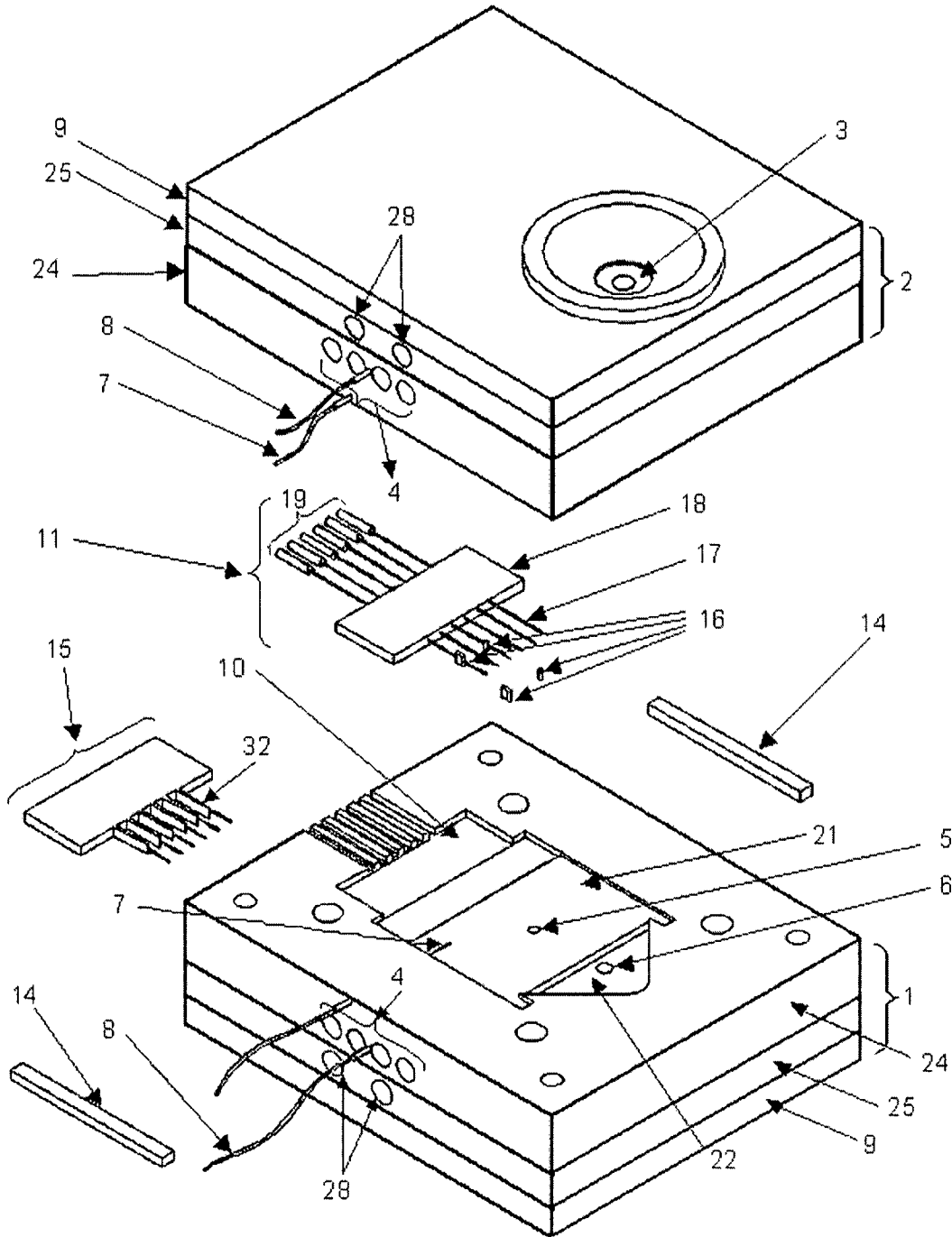


Fig. 1

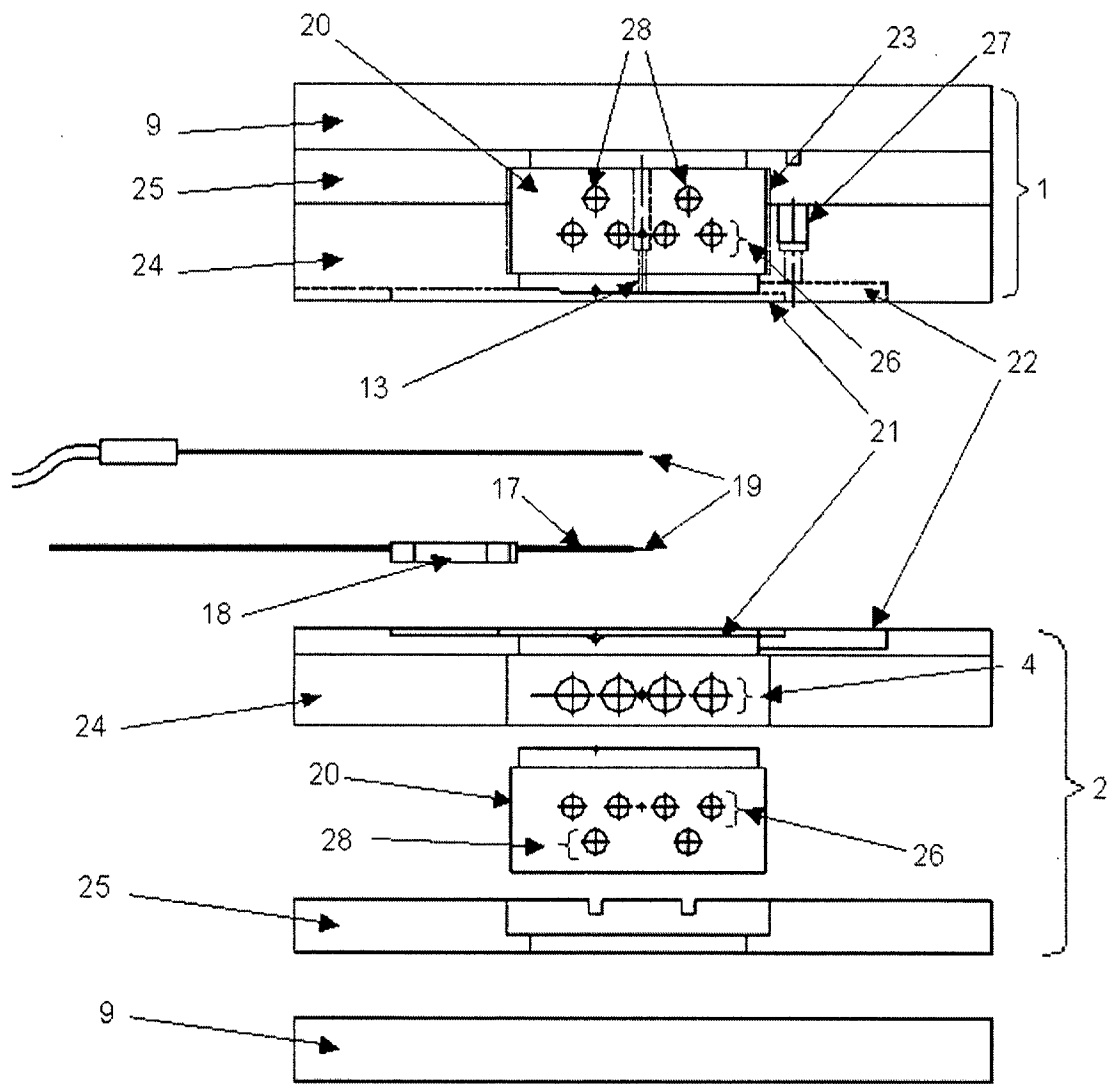


Fig. 2

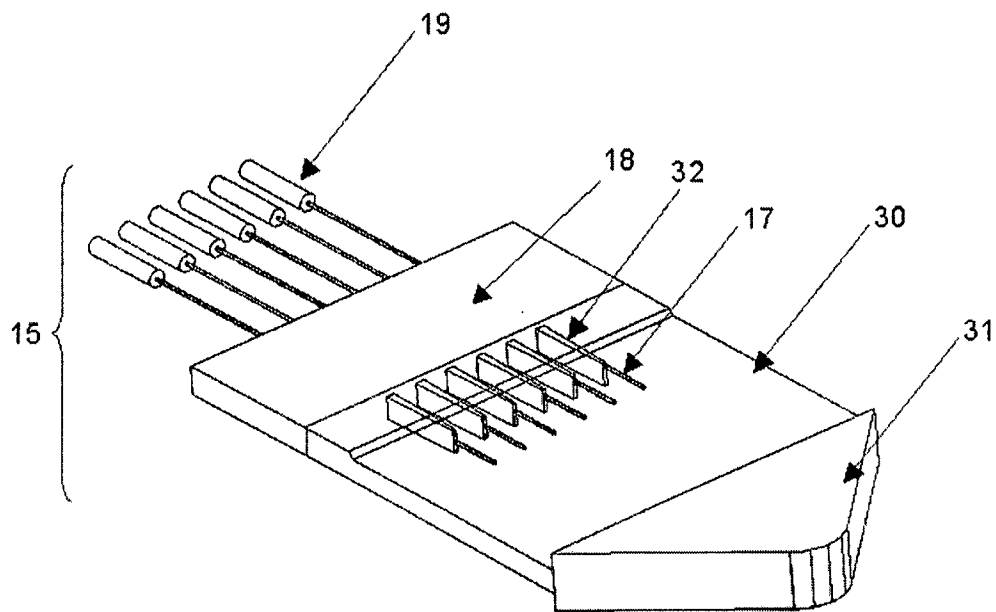


Fig. 3

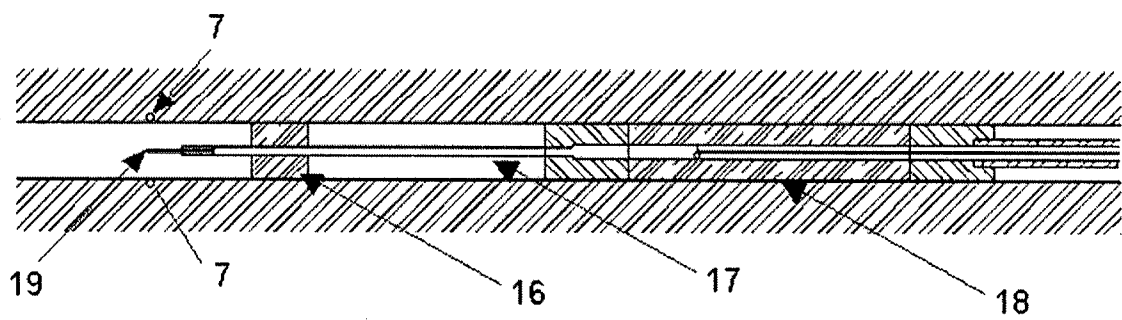


Fig. 4

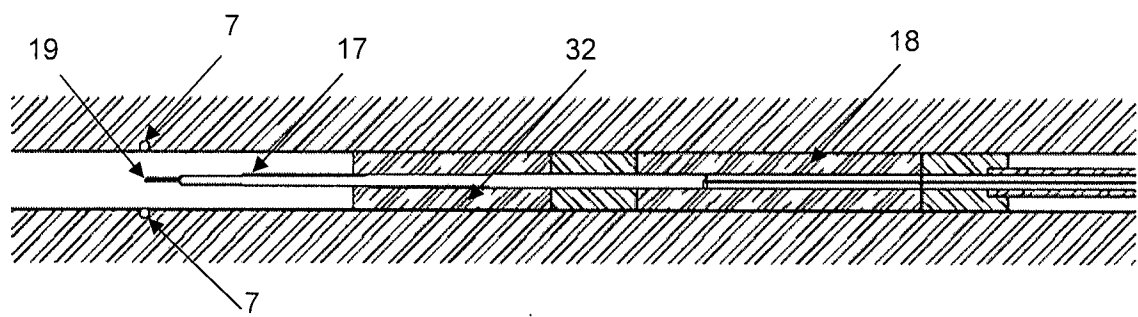


Fig. 5

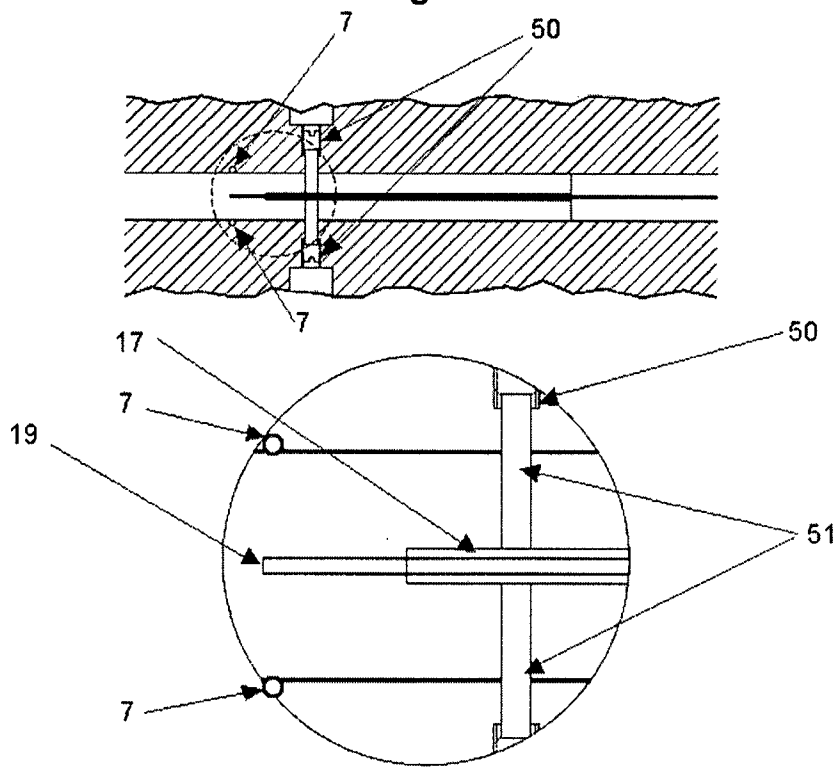


Fig. 6

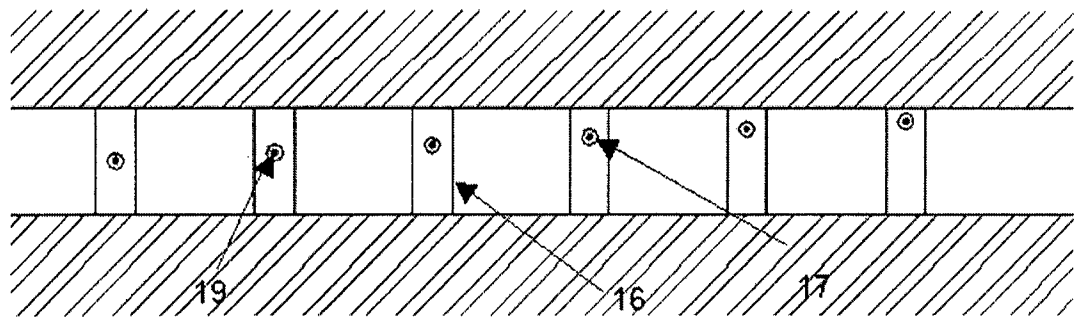


Fig. 7

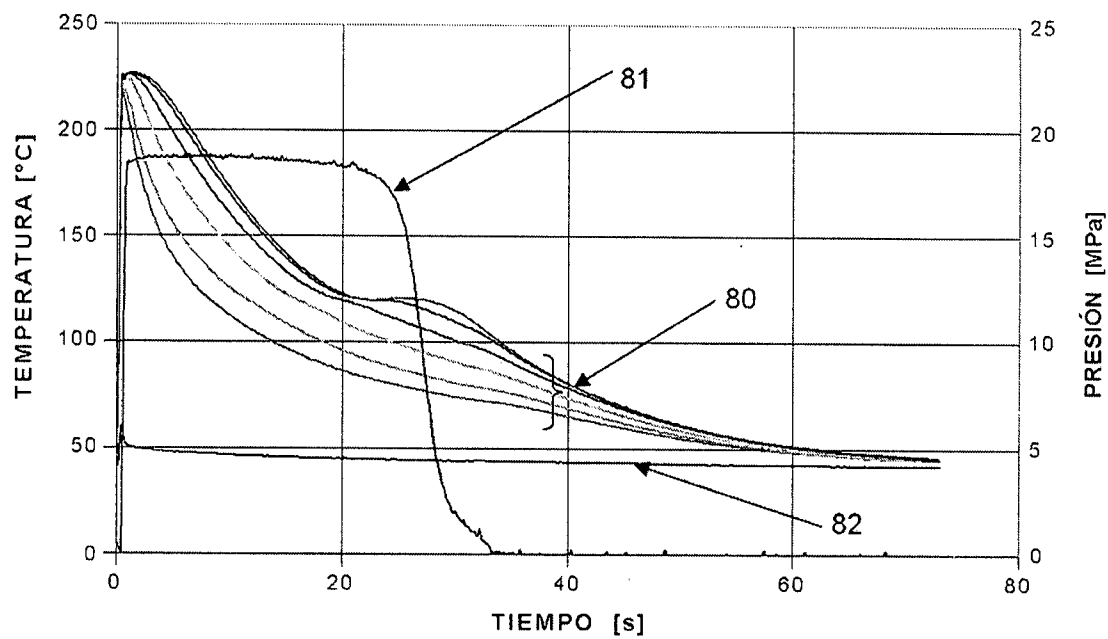


Fig. 8

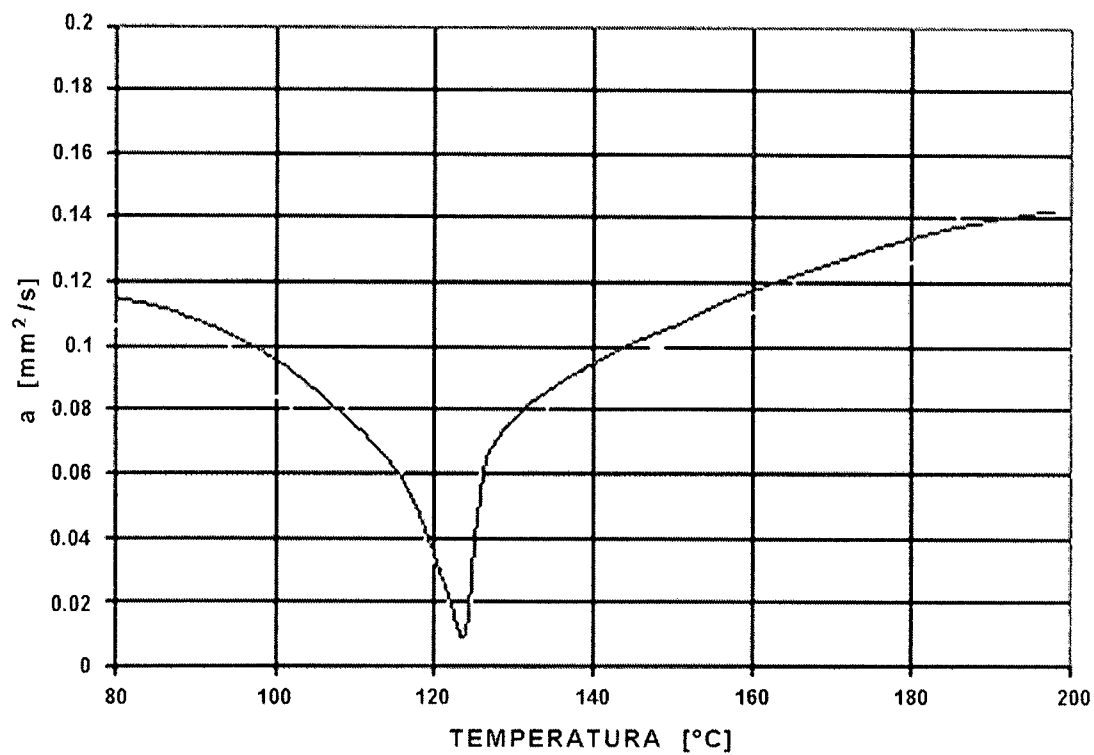


Fig. 9