

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 753 853**

51 Int. Cl.:

C22F 1/04 (2006.01)

C22F 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.12.2016 PCT/GB2016/053830**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.06.2017 WO17093767**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.12.2016 E 16809515 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3384062**

54 Título: **Método de conformado de piezas a partir de material laminar**

30 Prioridad:

04.12.2015 GB 201521443

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

14.04.2020

73 Titular/es:

**IMPRESSION TECHNOLOGIES LIMITED (100.0%)
Unit E, Lyons Park, 46 Sayer Drive
Coventry CV5 9PF, GB**

72 Inventor/es:

FOSTER, ALISTAIR

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 753 853 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de conformado de piezas a partir de material laminar

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método mejorado de conformado de piezas y, más particularmente, al conformado de piezas a partir de aleación metálica en lámina en una matriz de prensado. El método resulta particularmente adecuado para el conformado de piezas formadas con una forma compleja que no pueden formarse fácilmente mediante la utilización de las técnicas conocidas.

Antecedentes

Para mejorar el comportamiento medioambiental de los vehículos automóviles, los fabricantes de equipos originales (OEM, por sus siglas en inglés) de vehículos se están moviendo hacia aleaciones ligeras para las piezas formadas. Tradicionalmente han existido contrapartidas considerables entre la resistencia de la aleación utilizada y la conformabilidad de la misma. Sin embargo, técnicas nuevas de conformado, tales como HFQ® han permitido el conformado de partes más complejas a partir de grados de aleación ligera de alta resistencia, tales como las series 2xxx, 5xxx y 7xxx de aleaciones de aluminio (Al).

Las piezas de lámina de aleación de Al de endurecimiento por envejecimiento normalmente se forman en frío en la condición T4 (tratamiento térmico en solución y temple), seguido del envejecimiento artificial para una resistencia más elevada, o en la condición T6 (tratamiento térmico en solución, temple y envejecimiento artificial). Cualquiera de las condiciones introduce varios problemas intrínsecos, tales como la recuperación elástica y la baja formabilidad, los cuales resultan difíciles de resolver. También pueden experimentarse desventajas similares durante el conformado de piezas de otros materiales, tales como el magnesio y sus aleaciones. Con estos procedimientos tradicionales de conformado en frío, con frecuencia la formabilidad mejora en relación inversa a la velocidad del conformado. Dos mecanismos pueden afectar a este resultado: una ductilidad mejorada del material a velocidades de deformación bajas y una lubricación mejorada a velocidades más bajas.

Una desventaja de las técnicas convencionales en las que se lleva a cabo el envejecimiento artificial después del procedimiento de conformado es que los parámetros del procedimiento de envejecimiento no pueden optimizarse para todas las localizaciones de una pieza de manera simultánea. La cinética del envejecimiento está relacionada con el nivel de deformación aplicado, que no es uniforme en toda la pieza conformada. El efecto de ello es que zonas o partes de una pieza conformada pueden ser subóptimas.

En un esfuerzo por superar dichas desventajas, se han realizado diversos esfuerzos y se han inventado procedimientos especiales para superar problemas particulares en el conformado de tipos particulares de piezas.

Una de dichas técnicas utiliza el conformado de tratamiento térmico en solución y temple en matriz fría (HFQ®), tal como indican los presentes inventores en su solicitud anterior (documento nº WO2008/059242. En este procedimiento, un blanco de aleación de Al se trata térmicamente en solución y se transfiere rápidamente a un grupo de herramientas frías que se cierran inmediatamente para formar una pieza conformada. La pieza conformada se mantiene en las herramientas frías durante el enfriamiento de la pieza conformada.

Con el conformado HFQ®, deben revertirse los procedimientos lógicos del conformado en frío tradicional. A temperaturas elevadas (consideradas habitualmente superiores a 0,6 de la temperatura de fusión), el endurecimiento por deformación es muy reducido y, por lo tanto, la deformación presenta una tendencia a localizarse, conduciendo a una baja formabilidad aunque la ductilidad del material sea elevada. Para contrarrestar lo anterior, HFQ® se beneficia del endurecimiento viscoplástico del material a tasas de deformación elevadas, ayudando al flujo del material por la herramienta. De esta manera, la formabilidad mejora al incrementarse la velocidad del conformado.

No deseablemente, mediante el mismo mecanismo, la cantidad de recocido de dislocaciones (recuperación) que se produce durante el conformado también se reduce debido a la reducción del tiempo de conformado. Ello conduce a diferencias de cinética de envejecimiento en diferentes partes de la pieza.

El mecanismo del recocido de las dislocaciones en ocasiones se denomina recuperación estática de las dislocaciones. Para una aleación metálica dada, la tasa de recuperación estática es una función de la temperatura y de la densidad de las dislocaciones. La tasa de recuperación de las dislocaciones es más elevada a mayor temperatura y a mayor densidad de las dislocaciones.

Una microestructura con una densidad elevada inicial de las dislocaciones presentará una tasa de recuperación inicial elevada y, a medida que se reduce la densidad de las dislocaciones, también se reducirá la tasa de recuperación de las dislocaciones.

Para las aleaciones 6xxx, tal como 6082, está bien aceptado que la respuesta de secuencia de precipitación para las aleaciones Al-Si-Mg se basa en los precipitados de Mg₂Si y se representa mediante las etapas siguientes:

5 $SSS \rightarrow \text{zonas de GP} \rightarrow \beta'' \rightarrow \beta' \rightarrow \beta$

en las que SSS indica la solución sólida supersaturada, las zonas GP son las zonas de Guinier-Preston, β'' y β' son las fases metaestables y β es la fase de equilibrio.

10 Se observa un proceso similar en las aleaciones 7xxx. Sin embargo, la química de los precipitados puede variar entre aleaciones dentro de la serie 7xxx.

A título de ejemplo, dos posibles secuencias de precipitación para una aleación 7xxx son:

15 $SSS \rightarrow \text{zonas de GP} \begin{cases} \nearrow \eta' \rightarrow \eta \\ \searrow T' \rightarrow T \end{cases}$

en las que SSS indica la solución sólida supersaturada, las zonas GP son las zonas de Guinier-Preston, β'' y β' son las fases metaestables y β es la fase de equilibrio. Se apreciará que estos son ejemplos y pueden precipitar otros compuestos no deseables.

20 Con el temple del tratamiento térmico en solución resulta deseable garantizar que no se forme ninguna fase de precipitado prima metastable o precipitado estable, ya que estos precipitados reducirán el contenido de aleación supersaturada disponible para precipitar la más deseable microestructura endurecida durante el posterior endurecimiento por envejecimiento.

25 En la práctica, pueden crearse, o identificarse a partir de la literatura, curvas de tiempo-temperatura-precipitación (TTP) para diversas aleaciones. Estas pueden formarse para mostrar la localización de los puntos en donde se formarán fases de precipitado no deseadas o, alternativamente, mostrarán la localización de los puntos en donde las propiedades mecánicas finales resultan afectadas por un temple incompleto. Puede utilizarse cualquiera de las representaciones para determinar la sensibilidad al temple de la aleación, estando basada la última en las propiedades mecánicas macroscópicas finales y la primera en el examen de la microestructura.

30 La eficiencia del temple puede definirse como el porcentaje de propiedades mecánicas que se alcanza en comparación con las obtenidas en un temple infinitamente rápido. Se muestra una representación gráfica típica de una aleación 7075 en la figura 13 de los dibujos adjuntos a la presente memoria, e ilustra dónde está el límite entre la zona de tiempo-temperatura-precipitación que conduce a un temple eficaz a más de 99,5% y la zona de tiempo-temperatura-precipitación, si se invade durante el temple por SHT, que resultaría en una reducción de la respuesta de endurecimiento por envejecimiento superior a 0,5%. La figura ilustra además dónde se encuentra el límite para conseguir una eficiencia del temple superior a 70%. La figura se ha construido a partir de datos de la literatura, de J. Robinson et al., Mater Charact, 65:73-85, 2012 y se utiliza exclusivamente con fines de ejemplo.

35 Es un objetivo de la presente invención proporcionar un procedimiento para conformar piezas metálicas que mitiga o mejora por lo menos uno de los problemas de la técnica anterior, o que proporciona una alternativa útil.

45 **Descripción resumida de la invención**

Según la presente invención se proporciona un método de conformado de una pieza a partir de una lámina de aleación de aluminio o magnesio que presenta una temperatura de solvus de una fase de endurecimiento por precipitación y una temperatura de solidus, comprendiendo el método las etapas de:

- 50
- a. calentar la lámina a una temperatura superior a su temperatura de solvus,
 - b. iniciar la formación de la lámina caliente entre las herramientas casadas de una matriz de prensado y conformado mediante deformación plástica a una forma final, permitiendo simultáneamente que la temperatura media de la lámina se reduzca hasta una primera velocidad predeterminada A, en donde dicha lámina se forma hasta por lo
 - 55 menos 50% de su forma final,
 - c. interrumpir el conformado de la lámina durante un primer periodo de interrupción predeterminado P1 antes de alcanzar dicha forma final y, durante la interrupción, retención de la lámina de material con poca o ninguna deformación, y permitir que la temperatura media de la lámina se reduzca a una segunda velocidad predeterminada B igual o inferior a la primera velocidad predeterminada a fin de permitir una reducción de las dislocaciones,
 - 60 d. mantener la etapa de interrupción durante un tiempo que garantice que la densidad de dislocaciones es reducida, evitando simultáneamente la precipitación de fases no deseadas,
 - e. completar el conformado de la lámina caliente en la forma final, permitiendo simultáneamente que lámina se enfríe a una tercera velocidad C superior a dicha segunda velocidad B.

El material de la lámina puede calentarse hasta una temperatura dentro de su intervalo de temperaturas de tratamiento térmico en solución, durante la etapa (a).

5 El material de lámina puede conformarse hasta por lo menos 90% de su forma final durante la etapa inicial de conformado (b).

10 El método puede incluir un segundo periodo de interrupción P2 después del primer periodo de interrupción P1 y antes de completarse el conformado en la etapa (d). Alternativamente, el método puede incluir múltiples periodos adicionales de interrupción PX, después del primer periodo de interrupción P1 y antes de completarse el conformado en la etapa (d).

Tras completarse el conformado en la etapa (e), el metal de lámina puede mantenerse bajo carga entre las herramientas casadas a fin de reducir adicionalmente la temperatura de la pieza acabada 40.

15 En el caso de que el método incluya uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, uno o más de dichos uno o más periodos de interrupción puede incluir la etapa de retener las herramientas casadas en posición.

20 Alternativamente, en el caso de que el método incluya uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, uno o más de dichos uno o más periodos de interrupción puede incluir la etapa de revertir las herramientas casadas. En una alternativa todavía adicional, en el caso de que el método incluya uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, uno o más de dichos uno o más periodos de interrupción puede incluir la etapa de retener y revertir las herramientas casadas.

25 En el caso de que el método incluya uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, el método puede incluir la etapa determinar el periodo o periodos de interrupción antes de la precipitación de precipitados no deseables a partir de la solución sólida supersaturada.

30 La temperatura de la lámina puede mantenerse entre 350°C y 500°C durante la interrupción de la etapa (b). Alternativamente, la temperatura de la lámina puede mantenerse a una temperatura superior a 250°C durante la interrupción de la etapa (b).

Las herramientas casadas pueden mantenerse a una temperatura de entre -5°C y +120°C durante la etapa de interrupción (b).

35 La aleación que se forma puede ser una aleación de aluminio. Dicha aleación puede seleccionarse de la lista que consiste o que comprenden en las aleaciones 2xxx, 6xxx o 7xxx. La aleación puede ser una aleación de magnesio, tal como, por ejemplo, AZ91.

En una disposición, la lámina se retiene durante la interrupción sin deformación.

40 El método puede incluir la etapa de mantener el blanco de lámina metálica dentro del intervalo de temperaturas de tratamiento térmico en solución hasta completar el tratamiento térmico en solución.

45 En un ejemplo específico, el blanco puede calentarse hasta una temperatura de entre 470°C y 490°C, que es típica de una aleación 7075. En otro ejemplo, el blanco puede calentarse hasta una temperatura de entre 525°C y 560°C, que es típica de una aleación 6082.

50 El método puede incluir además la etapa de retener la pieza acabada entre las herramientas casadas tras completar la etapa (d).

Breve descripción de las figuras

A continuación se describen realizaciones de la presente invención a título de ejemplo y en referencia a las figuras adjuntas, en las que:

55 la figura 1 es un diagrama de flujo que muestra un perfil de operación según procedimientos convencionales;
 la figura 2 es un diagrama de flujo según una realización de la invención;
 las figuras 3A a 3D son diagramas que muestran perfiles de operación según realizaciones de la invención;
 la figura 4 ilustra un perfil típico de posición vs. tiempo para la parte en movimiento de las herramientas casadas,
 60 utilizado en el procedimiento de conformado según un aspecto de la presente invención;
 la figura 5 muestra un modelo de simulación de elemento finito termomecánico acoplado;
 las figuras 6, 7 y 8 ilustran varios resultados de simulación comentados posteriormente en la presente memoria;
 la figura 9 es una representación gráfica de la tasa de temple versus la caída de la temperatura;
 las figuras 10 y 11 ilustran las diferencias entre las tensiones de flujo de material bajo tres condiciones de
 65 conformado, una de las cuales se refiere a la presente invención;

la figura 12 es una representación esquemática del perfil de enfriamiento adoptado por la presente invención, en el que L indica la localización de los puntos de tiempo-temperatura-precipitación en donde se producirán precipitados no deseados;

la figura 13 es un diagrama TTP para una aleación 7075;

la figura 14 es una representación esquemática de una prensa que puede utilizarse mediante el método de la presente invención y que muestra la prensa en posiciones abierta y cerrada.

Descripción específica

La figura 1 ilustra un procedimiento convencional de prensado para conformar piezas a partir de blancos de lámina metálica. La primera etapa comprende calentar el blanco de lámina hasta por lo menos su temperatura de solvus en, por ejemplo, un horno o una estación de calentamiento. La temperatura de solvus es una propiedad intrínseca del metal o aleación específico que se forma. A continuación, el blanco de lámina se transfiere a una prensa, tal como una prensa hidráulica. Se inicia el cierre de la prensa y las herramientas casadas actúan prensando la lámina y conformando la pieza en su forma final en una etapa. La pieza se temple en las herramientas frías y bajo carga, y se endurece por envejecimiento en un horno, obteniendo el nivel deseado de endurecimiento. A continuación, el producto final puede enfriarse y utilizarse. Aunque esta disposición es capaz de conformar formas complejas, la forma final completa de la forma compleja se obtiene rápidamente y la posterior etapa de temple entre herramientas frías puede resultar en una recuperación de las dislocaciones inferior a la deseada y no se consiguen las propiedades deseadas del material.

La presente invención tiene como objetivo reducir y posiblemente eliminar las desventajas de la disposición de la técnica anterior de la figura 1 mediante la adopción del procedimiento de la figura 2, que comparte varias etapas de procedimiento de la técnica anterior pero que introduce una etapa de interrupción que se utiliza para potenciar las propiedades materiales de la pieza final.

A continuación, en referencia específicamente a la figura 2, una lámina metálica o blanco 10 de, por ejemplo, una lámina de aleación se calienta hasta una temperatura igual o superior a su temperatura de solvus y, preferentemente, hasta una temperatura dentro de su intervalo de temperaturas de tratamiento térmico en solución en un horno 20 antes de transferirla a una prensa 30 e insertarla entre las herramientas acopladas frías 32, 34, que están perfiladas con la forma de la pieza deseada 40, tal como en los procedimientos convencionales de la figura 1. La prensa se opera según la presente invención de manera que se reúnen las herramientas de prensado a una primera velocidad predeterminada A para iniciar el conformado del blanco de lámina metálica 10 aunque, antes de completar la etapa de conformado, la prensa 30 se interrumpe y las herramientas acopladas 32, 34 se mantienen en posición y posiblemente se retraen, a medio camino entre su posición inicial y su posición final, en donde se habría completado el conformado de la pieza. Esta etapa de interrupción y las ventajas asociadas a la misma se comentan en detalle posteriormente en la presente memoria, aunque se apreciará que la interrupción reducirá y posiblemente eliminará la carga de conformado durante un corto periodo. Después de completar la etapa de interrupción, se reinicia la prensa 30 y se cierran las herramientas casadas 32, 34 hasta la posición final, completando el conformado de la pieza. De acuerdo con los procedimientos convencionales, la pieza 40 ahora totalmente conformada a continuación se mantiene en las herramientas casadas frías 32, 34 con el fin de templar la pieza ahora conformada. Se lleva a cabo una etapa posterior de endurecimiento por envejecimiento en un horno, tal como en la técnica anterior.

La figura 12 ilustra el procedimiento anterior indicado en mayor detalle y a partir de la cual podrá apreciarse que la lámina 30 se calienta hasta una temperatura superior a su temperatura de solvus antes de introducirla entre las herramientas casadas 32, 34 y el conformado iniciado mediante el desplazamiento mutuo de las herramientas casadas 32, 34 una hacia la otra a una primera velocidad, causando simultáneamente la reducción de la temperatura media de la lámina a una primera velocidad predeterminada A. La etapa de interrupción permite retener la lámina 30 de manera que se produce una deformación reducida o nula, permitiendo simultáneamente reducir la temperatura media de la lámina 30 a una segunda velocidad predeterminada B que puede ser igual o inferior a la tasa predeterminada A. Mediante la provisión de dicha etapa de interrupción, la presente invención es capaz de proporcionar un grado de control de las propiedades materiales finales de la pieza que debe conformarse. Una vez se ha completado la interrupción, se reinicia el procedimiento de prensado y se lleva a cabo el conformado de la lámina caliente en la forma final, causando o permitiendo simultáneamente que lámina se enfríe a una tercera velocidad C superior a dicha segunda velocidad B.

Se apreciará que las etapas de conformado resultan en una deformación plástica del blanco de lámina que se asume en gran medida al nivel de la microestructura mediante la formación de dislocaciones. Las dislocaciones se formarán debido a la deformación plástica y se recuperarán por mecanismos de recuperación dinámica y estática.

La recuperación estática de las dislocaciones es un mecanismo dependiente del tiempo. Por lo tanto, mediante la retención del material con poca o ninguna deformación durante la etapa de interrupción, puede reducirse la densidad de dislocaciones. Sin embargo, la recuperación estática también es un procedimiento dependiente de la temperatura que se produce más rápidamente a temperaturas más elevadas y, de esta manera, resulta deseable mantener el blanco de lámina a una temperatura tan alta como resulte razonablemente posible a fin de permitir la máxima reducción de las dislocaciones.

- 5 En vista de lo anteriormente expuesto, resulta preferente conformar la pieza hasta por lo menos 50%, y preferentemente hasta por lo menos 90%, de su forma final en la etapa de conformado inicial (b), de manera que pueda tener lugar la interrupción mientras la lámina todavía se encuentra a una temperatura media relativamente elevada. Aunque la temperatura media puede variar, se ha encontrado que la lámina debería mantenerse a una temperatura superior a por lo menos 250°C y preferentemente a una temperatura de entre 350°C y 500°C. En un ejemplo específico, el blanco se calienta hasta una temperatura de entre 470°C y 490°C (aleación 7075). En otro ejemplo, el blanco puede calentarse hasta una temperatura de entre 525°C y 560°C (típica de una aleación 6082).
- 10 A medida que la temperatura del aluminio cae a una temperatura inferior a la temperatura de solvus, la microestructura entra en un estado inestable conocido como solución sólida supersaturada. En esta condición, los elementos de la aleación responsables de formar la fase de endurecimiento empezarán a precipitar. En el caso de que se produzca precipitación durante la etapa de conformado, los precipitados no se formarán de la manera correcta y ello afectará negativamente al material final. Por lo tanto, resulta beneficioso que la etapa o etapas de recuperación de las dislocaciones se produzcan a temperaturas suficientemente elevadas para garantizar que la recuperación de las dislocaciones se produce a una velocidad sustancialmente más rápida que la precipitación no deseable a partir de la solución sólida supersaturada.
- 15 Con el fin de reducir la velocidad de enfriamiento durante la interrupción (c), una o ambas herramientas casadas 32, 34 pueden alejarse de la lámina 10 con el fin de permitir que la temperatura de la lámina se equilibre parcial o totalmente. Lo anterior también reduce la velocidad de enfriamiento global de la pieza que se está conformando, ya que las herramientas casadas relativamente frías 32, 34 tendrán menor influencia sobre la velocidad de enfriamiento y, de esta manera, permitirán el máximo tiempo posible para la reducción de las dislocaciones, minimizando simultáneamente la precipitación de los elementos de la aleación.
- 20 Durante las etapas de conformado, el material se encuentra en contacto variable con las herramientas casadas relativamente frías 32, 34. Ello puede dar como resultado un perfil térmico en la lámina con puntos fríos y puntos calientes, tanto en la lámina como en las herramientas casadas 32, 34. En consecuencia, las partes frías del blanco de lámina se recuperarán más lentamente que las partes más calientes. Este problema puede superarse en cierta medida mediante el apartamiento o alejamiento de las herramientas casadas 32, 34 respecto de la lámina, o mediante la reducción de la presión, de manera que se reduzca el contacto térmico durante cualquier interrupción.
- 25 La interrupción anteriormente indicada puede llevarse a cabo en múltiples etapas con el fin de conformar secuencialmente partes de la pieza y permitir la reducción de las dislocaciones sin que la temperatura media del blanco de lámina 10 caiga de manera excesivamente rápida, y a continuación los presentes inventores describen varios perfiles de operación posibles en referencia a las figuras 3A a 3D, las cuales muestran una serie de perfiles de operación que muestran el desplazamiento del pistón (eje y) frente al tiempo (eje x).
- 30 La figura 3A muestra un primer perfil con una primera etapa de prensado 110, en la que las herramientas casadas 32, 34 se acoplan, una primera etapa de interrupción 112, en la que las herramientas se mantienen en posición, y una segunda etapa de prensado 114, en la que las herramientas se cierran en su posición final y la pieza está totalmente formada.
- 35 La figura 3B muestra un segundo perfil con primera y segunda etapas de prensado 112, 114, y una segunda etapa de interrupción 116, en la que las herramientas están invertidas. Durante la etapa de interrupción 116, puede desplazar una o más de las herramientas de manera que no entre en contacto con el blanco de lámina que se está conformando.
- 40 La figura 3C muestra un tercer perfil con primera y segunda etapas de prensado 112, 114, y una tercera etapa de interrupción 118. La tercera etapa de interrupción puede describirse como una etapa de interrupción compuesta, ya que durante la tercera etapa de interrupción 118, las herramientas en primer lugar se revierten (es decir, se desplazan separándolas relativamente) y después se mantienen en posición. Se muestra un cuarto perfil en línea discontinua, mostrando una cuarta etapa de interrupción 119 (también una etapa de interrupción compuesta), en la que las herramientas en primer lugar se mantienen en posición, se revierten y después se mantienen en posición durante un segundo tiempo antes de llevar a cabo la segunda etapa de prensado 14. La tercera y cuarta etapas de interrupción 118, 119 son realizaciones meramente ejemplares y se espera que las interrupciones puedan comprender cualquier combinación de mantener las herramientas en posición y revertir las herramientas, separándolas una de otra.
- 45 La figura 3D muestra un quinto perfil, que presenta una primera etapa de prensado 110, seguido de la primera etapa de interrupción 120 y después una segunda etapa de prensado 122, seguido de una segunda etapa de interrupción 124 y después una etapa final de prensado 126. Durante la primera etapa de interrupción 120, las herramientas se mantienen en posición, aunque durante la segunda etapa de interrupción 124, las herramientas se revierten. La segunda etapa de prensado 122 se lleva a cabo a una velocidad mucho más lenta (es decir, línea menos profunda) que la primera o última etapas de prensado 110, 126.
- 50 Las figuras 3A-D pretenden ser perfiles ejemplares que muestran potenciales métodos de conformado de piezas según la invención. Se encuentra contemplado que sean posibles y resulten deseables muchas combinaciones de las etapas
- 55
- 60
- 65

de interrupción en las figuras 3A a 3D, dependiendo de la forma de la pieza que debe formarse y las propiedades del metal o aleación a partir del cual debe producirse. Por ejemplo, el procedimiento puede comprender múltiples etapas de interrupción, cada una de las cuales puede ser una etapa de interrupción compuesta, tal como se muestra en la figura 3C. La primera y segunda etapas de prensado, y opcionalmente cualesquiera etapas de prensado adicionales según el número de interrupciones, pueden llevarse a cabo todas ellas a diferentes velocidades, dependiendo de los requisitos para la pieza que debe conformarse. Se apreciará además que las velocidades de cada etapa de prensado pueden ser diferentes entre sí. Por ejemplo, la primera o primeras etapas de prensado pueden ser más rápidas que las etapas de prensado posteriores. Además, se apreciará además que las interrupciones pueden ser de diferente duración y que las herramientas 32, 34 pueden o no descargarse o revertirse durante cada interrupción.

Qué perfil de conformado utilizar dependerá de las piezas que se formen y de las propiedades del metal que se utilice. Por ejemplo, puede resultar ventajoso interrumpir el conformado múltiples veces (múltiples etapas de interrupción), ya que la caída de temperatura en el blanco de lámina variará dependiendo del desplazamiento del pistón. El blanco de lámina será enfriado por las herramientas frías cuando se encuentren en contacto; de esta manera, las partes de la matriz y la lámina que estén en contacto antes se equilibrarán antes. De esta manera, puede resultar ventajoso formar una primera parte de la pieza, interrumpir el procedimiento para permitir la reducción de las dislocaciones, y después continuar el conformado para formar una parte adicional de la pieza, y proporcionar una segunda interrupción para permitir la reducción de las dislocaciones en la parte recién formada, antes de completar la operación de conformado.

Tal como se ha mencionado en la introducción, se desea que el procedimiento reduzca y preferentemente elimine la precipitación de precipitados de la fase SSS. Para garantizar que ocurra lo anterior, debe garantizarse que el perfil de temperatura/tiempo del temple finalice cualquier etapa de interrupción antes de que se generen las fases no deseadas y que la velocidad global de temple resulte suficiente para evitar la formación de las fases no deseadas representadas mediante la zona en la figura 12 delimitada por la curva C, formada a partir de las localizaciones de los puntos en que se formarán fases de precipitado a partir de la SSS. Se proporciona un ejemplo específico de material en la figura 13, en el que se genera la curva C considerando las localizaciones de los puntos en que se reducen las propiedades mecánicas a 99,5% y después a 70% de las del material temple óptimamente.

En la figura 4 se muestra un gráfico complejo de posición del pistón vs. tiempo, en el que se han añadido a la carrera dos reversiones de carrera. En ésta se ha mantenido constante el tiempo total de conformado en 1 s, añadiendo aproximadamente 0,1 s en total de reposo. Durante el ciclo de conformado HFQ®, el blanco caliente en primer lugar se deforma entre las herramientas casadas y después se mantiene bajo carga entre las herramientas. Durante la etapa de deformación, se transfiere algo de calor de la lámina a la herramienta. Durante la etapa de retención, la forma final es templada por las herramientas.

El pausado del ciclo de conformado antes de acoplarse las herramientas puede permitir que tenga lugar la recuperación de las dislocaciones. Para resultados óptimos, las herramientas deben hacerse retroceder (revertirse el ciclo). Sin embargo, simplemente retener las herramientas puede proporcionar suficiente tiempo para que se produzca la recuperación.

La pausa (o reversión) debe producirse tan tarde durante el ciclo de conformado como resulte posible, produciéndose además a la temperatura más alta posible a fin de minimizar el nivel de deformación plástica introducido en el material durante la etapa final de acabado. Con este fin, se apreciará que disponer de una primera etapa de conformado que forma la pieza hasta una forma tan próxima a la final como resulte posible maximizará las ventajas de la presente invención, ya que la temperatura de la lámina todavía será elevada, mientras que la cantidad mínima de prensado restante hasta la forma final minimizará la deformación plástica. En la disposición preferente particular, la pieza se prensa hasta más de 90%, y preferentemente hasta 95% a 98% de la forma final en una primera etapa de prensado. Sin embargo, se apreciará que el conformado hasta más de 50% de la forma final en la primera etapa de conformado todavía se beneficiará de la presente invención ya que una parte de las dislocaciones formadas en la deformación temprana se recuperarán, conduciendo globalmente a una reducción parcial de la densidad de las dislocaciones en la pieza acabada.

Se apreciará además que se produce cierto enfriamiento del blanco durante la deformación y que, por lo tanto, existe un equilibrio entre la temperatura del blanco y la deformación remanente.

Existe cierta lógica en disponer de múltiples paradas durante el procedimiento de conformado, ya que ello permitirá una recuperación más rápida del material introducido en la herramienta en las primeras etapas del conformado.

Los cambios instantáneos de la velocidad de la carrera no son posibles y cualquier cambio escalonado de la velocidad incrementará el desgaste de la prensa. Por lo tanto, es más probable que la carrera de la prensa resultará interrumpida reduciendo la velocidad hasta la parada de una manera suave.

La figura 5 muestra un modelo de simulación de elementos finitos termomecánico acoplado que ha sido creado para proporcionar un ejemplo de cómo puede implementarse el método. El modelo destaca la posición final de tres localizaciones sobre la superficie del blanco en las que se monitorizó la historia térmica y deformación plástica equivalente.

Se sometieron a ensayo tres condiciones ejemplares.

- 5 A. Retención de la carrera
- i. Conformado a velocidad de carrera constante hasta 5 mm de totalmente conformado
 - ii. Retención durante 4 s
 - iii. Finalización de la deformación

- 10 B. Reversión de la carrera
- i. Conformado a velocidad de carrera constante hasta 5 mm de totalmente conformado
 - ii. Retención durante 0,5 s
 - iii. Carrera inversa para separar las herramientas
 - iv. Finalizar la carrera después de una retención total de 4 s

- 15 C. Pruebas de referencia.
- i. Conformado a velocidad de carrera constante hasta el conformado total.

20 Las figuras 6, 7 y 8 representan gráficamente las historias de deformación (línea sólida) y temperatura (línea periódica) de las tres posiciones de blanco.

25 Las figuras 6, 7 y 8 revelan que la reversión de las herramientas resulta beneficiosa para mantener la temperatura durante el periodo de reposo. En ambos casos de interrupción, puede observarse que la temperatura puede mantenerse a más de 350°C durante por lo menos 2 s.

30 En el caso de que el tiempo de retención sea excesivamente largo, el enfriamiento lento del material resultará en la formación de precipitados gruesos. Ello limita la capacidad del material de endurecerse por envejecimiento, ya que los elementos en la aleación precipitarán para formar los precipitados gruesos durante el enfriamiento en lugar de los precipitados finos durante el envejecimiento. Es común referirse a este efecto de reblandecimiento como recocido, aunque es diferente del recocido de las dislocaciones (recuperación) indicado anteriormente.

35 La figura 9 muestra el efecto esquemáticamente. Para ser óptimo, el periodo de retención debe producirse a la temperatura del blanco más elevada posible, durante el tiempo más corto posible, garantizando de esta manera que los elementos de refuerzo se mantengan en solución sólida mientras se recuperan las dislocaciones.

40 Se creó un programa de ensayo indicativo para demostrar el procedimiento en equipos de ensayo. Se sometieron probetas de tensión a cualquiera de los tres regímenes siguientes:

Las probetas de tensión se sometieron a cualquiera de los tres regímenes siguientes:

- 45 1. Envejecimiento con cinética mejorada para las dislocaciones
- a. En solución
 - b. Enfriado a la temperatura de ensayo
 - c. Tracción para inducir deformación
 - d. Temple
 - e. Envejecimiento rápido hasta un temple hipoenvejecido

- 50 2. Envejecimiento sin cinética de dislocación
- a. En solución
 - b. Enfriado a la temperatura de ensayo
 - c. Temple
 - e. Envejecimiento rápido hasta un temple hipoenvejecido

- 55 3. Envejecimiento con recocido de las dislocaciones (recuperación)
- a. En solución
 - b. Enfriado a la temperatura de ensayo
 - c. Tracción para inducir deformación
 - d. Interrumpido
 - e. Temple
 - f. Envejecimiento rápido hasta un temple hipoenvejecido

Todas las muestras se hipoenvejecieron utilizando las mismas condiciones de endurecimiento por envejecimiento rápido. Por lo tanto, la resistencia remanente de las muestras será directamente proporcional a la cinética de envejecimiento. Se muestran los resultados en la figura 10.

5 Los resultados muestran una resistencia más elevada de la muestra estirada pero no mantenida a la temperatura. La muestra sin deformación y la muestra con deformación y retención muestran características de rendimiento idénticas. Lo anterior es lo esperado y concuerda con la cinética de envejecimiento de deformación creciente, proporcionando el periodo de retención una recuperación suficiente para eliminar la cinética potenciada de envejecimiento.

10 La figura 11 muestra una serie similar de ensayos en la que se redujo la temperatura de retención a 350°C. La muestra de retención ahora es visiblemente más débil que la referencia. Ello es consistente con la formación de precipitados gruesos. Para la aleación considerada, a 350°C un tiempo de retención de 4 s es excesivamente largo.

15 Tal como entendería el experto en la materia, la temperatura de tratamiento térmico en solución (SHT) es la temperatura a la que se lleva a cabo el tratamiento térmico en solución. El intervalo de temperaturas de SHT varía según la aleación bajo tratamiento. Lo anterior puede comprender calentar la aleación hasta por lo menos su temperatura de solvus, aunque inferior a la temperatura de solidus. El método puede incluir la etapa de mantener el blanco de lámina metálica la temperatura del tratamiento térmico en solución hasta completar el tratamiento térmico en solución.

20 El metal puede ser una aleación. El blanco de lámina metálica puede comprender un blanco de lámina de aleación metálica. La aleación metálica puede comprender una aleación de aluminio. Por ejemplo, la aleación puede comprender una aleación de aluminio de las familias de aleaciones 6xxx, 7xxx o 2xxx. Alternativamente, la aleación puede comprender una aleación de magnesio, tal como una aleación de magnesio endurecida por precipitación, p.ej., AZ91.

25 La prensa puede comprender un juego de herramientas casadas 32, 34. Las herramientas 32, 34 pueden ser herramientas frías, herramientas calientes o herramientas enfriadas. El inicio del conformado puede comprender acoplar las herramientas, p.ej., reduciendo el desplazamiento entre las herramientas. El completado del conformado puede comprender acoplar las herramientas hasta alcanzar la posición final, en la que la pieza está totalmente formada. En una realización, lo anterior puede producirse cuando el desplazamiento entre las herramientas es mínimo. Se apreciará que el término «frío» es un término relativo, ya que las herramientas deberían estar más frías que la lámina de metal caliente, aunque pueden encontrarse tibias o incluso calientes al tacto. Típicamente, dicho procedimiento puede utilizar herramientas calentadas o enfriadas hasta dentro del intervalo de temperaturas de -5°C a +120°C.

30 El procedimiento puede comprender la transferencia del blanco de lámina a un juego de herramientas frías. El procedimiento puede comprender iniciar el conformado dentro de los 10 s anteriores a la retirada respecto a la estación de calentamiento, de manera que se minimiza la pérdida de calor del blanco de lámina. El procedimiento puede comprender la retención de la pieza formada en las herramientas durante el enfriamiento de la pieza formada.

35 El procedimiento posiblemente puede llevarse a cabo en cualquier prensa que pueda interrumpirse durante su carrera de bajada. La prensa puede ser una prensa hidráulica.

40 El inicio del conformado en una prensa y/o una primera etapa de prensado puede comprender acercar mutuamente las herramientas de la prensa por lo menos 10% del desplazamiento total. Alternativamente, puede comprender cerrar la prensa por lo menos 20, por lo menos 30, por lo menos 40, por lo menos 50, por lo menos 60, por lo menos 70, por lo menos 80, por lo menos 90 o sustancialmente 100% del desplazamiento total. El prensado inicial puede acercar mutuamente las herramientas a 95% del prensado total o incluso hasta que la herramienta se encuentre esencialmente cerrada, aunque antes de aplicar la carga de temple.

45 La interrupción del conformado del componente y/o la etapa o etapas de interrupción pueden comprender uno o más cualesquiera de: pausado o retención de las herramientas de prensado en posición; reversión de la prensa, y combinaciones de los mismos.

50 La reversión de las herramientas de prensado puede comprender separar relativamente una de otra las herramientas. La prensa puede revertirse de manera que una o más de las herramientas, o una parte de las mismas, ya no se encuentre en contacto con el blanco de lámina.

55 Por ejemplo, la interrupción puede comprender mantener las herramientas de prensado en posición, revertiendo después la prensa. Alternativamente, la interrupción puede comprender revertir la prensa, y después mantener las herramientas de prensado en posición. La interrupción puede comprender el pausado o retención de las herramientas de prensado en posición una o más veces, y revertir el prensado una o más veces. Por ejemplo, la interrupción puede comprender en primer lugar mantener las herramientas de prensado en posición, después revertir la prensa, seguido de la retención de las herramientas de prensado una segunda vez en una segunda posición.

5 La etapa de interrupción (por ejemplo, una pausa, retención y/o reversión) puede incorporarse en el procedimiento para coincidir con un cambio entre modos de prensado, p.ej., impulsados por gravedad (p.ej., un descenso rápido) y modos de bajada del pistón alimentados. El tiempo de interrupción total puede ser inferior a 10 segundos y puede ser inferior a 5 segundos, tal como de 4 segundos o de 1 segundo. El tiempo de interrupción total puede ser inferior a 1 segundo, tal como de 0,5 segundos o de 0,2 segundos. El tiempo de interrupción total puede ser de por lo menos 0,1 segundos, o de por lo menos 0,2, 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4 o 5 segundos.

10 El inicio del conformado de la pieza puede llevarse a cabo a una primera velocidad y el completado del conformado de la pieza puede llevarse a cabo a una segunda velocidad, diferente de la primera. La continuación del conformado, es decir, entre interrupciones, puede llevarse a cabo a la primera, segunda o tercera velocidad. En algunas realizaciones, la velocidad del conformado puede permanecer constante o sustancialmente constante durante la etapa de conformado o la etapa de prensado.

15 En una serie de realizaciones, la velocidad del conformado es variable durante una o más de las etapas de conformado, p.ej., el inicio del conformado, la continuación del conformado y/o el completado del conformado. Por ejemplo, la primera etapa de prensado y/o la segunda o adicionales etapas de prensado pueden presentar una velocidad de prensado variable. La velocidad de prensado puede incrementarse durante la etapa, reducirse durante la etapa o combinaciones de las mismas. La velocidad puede alcanzar un máximo o mínimo durante un punto intermedio de la etapa de conformado, p.ej., la velocidad de prensado puede acelerarse a un máximo y después reducirse a cero durante la interrupción. El perfil de velocidades de prensado puede reducirse suavemente hacia el final de la etapa de prensado hasta la interrupción o hasta que se inicie la etapa de interrupción. El perfil de velocidades del prensado puede optimizarse para eliminar los cambios escalonados de velocidad, p.ej. para reducir el desgaste.

25 El procedimiento puede comprender el mantenimiento del blanco de lámina metálica a la temperatura de tratamiento térmico en solución hasta completar el tratamiento térmico en solución. El tratamiento térmico en solución puede haberse completado al entrar en la solución la cantidad deseada del elemento o elementos de aleación responsables del endurecimiento por precipitación o en solución. Por ejemplo, el tratamiento térmico en solución puede haberse completado tras entrar en la solución por lo menos 50% del elemento o elementos de la aleación. Alternativamente, el tratamiento térmico en solución puede haberse completado tras entrar en la solución por lo menos 60, 70, 75, 80, 90, 95 o sustancialmente 100% del elemento o elementos de la aleación. El calentamiento del blanco de lámina de aleación metálica hasta su temperatura de tratamiento térmico en solución puede comprender calentar el blanco de lámina hasta por lo menos su temperatura de solvus. El procedimiento puede comprender calentar el blanco hasta por lo menos su temperatura de solvus, aunque hasta una temperatura inferior a la temperatura de solidus.

35 En una serie de realizaciones, el blanco se calienta hasta por lo menos 420°, 440°, 450°, 460°, 470°, 480°, 500°, 520° o 540°C. En una serie de realizaciones, el blanco se calienta hasta una temperatura no superior a 680°, 660°, 640°, 620°, 600°, 580°, 560° o 540°C. En una realización, el blanco se calienta hasta una temperatura de 470°C a 490°C (típica de la aleación 7075). En otra realización, el blanco se calienta hasta una temperatura de 525°C a 560°C (típica de la aleación 6082).

40 Se apreciará que la lámina presentará una temperatura de liquidus a la que todos los componentes de la misma se encuentran en la fase líquida y que el procedimiento se lleva a cabo a una temperatura inferior a la temperatura de liquidus.

45 Mediante los procedimientos anteriormente indicados, resulta posible formar una pieza mejorada a partir de un blanco de lámina metálica, que presenta una cantidad reducida de dislocaciones, no resultando negativamente afectada por la precipitación durante las etapas de conformado.

50

REIVINDICACIONES

1. Método de conformado de una pieza a partir de una lámina de aleación de aluminio o de aleación de magnesio que presenta una temperatura de solvus y una temperatura de solidus de una fase de endurecimiento por precipitación, comprendiendo el método las etapas de:
 - a. calentar la lámina a una temperatura superior a su temperatura de solvus,
 - b. iniciar la formación de la lámina caliente entre las herramientas casadas de una matriz de prensado y conformado mediante deformación plástica a una forma final, permitiendo simultáneamente que la temperatura media de la lámina se reduzca hasta una primera velocidad predeterminada A, en donde dicha lámina se forma hasta por lo menos 50% de su forma final,
 - c. interrumpir el conformado de la lámina durante un primer periodo de interrupción predeterminado P1 antes de alcanzar dicha forma final y, durante la interrupción, retención de la lámina de material con poca o ninguna deformación, y permitir que la temperatura media de la lámina se reduzca a una segunda velocidad predeterminada B igual o inferior a la primera velocidad predeterminada a fin de permitir una reducción de las dislocaciones,
 - d. mantener la etapa de interrupción durante un tiempo que garantice que la densidad de dislocaciones es reducida, evitando simultáneamente la precipitación de fases no deseadas,
 - e. completar el conformado de la lámina caliente en la forma final, permitiendo simultáneamente que lámina se enfríe a una tercera velocidad C superior a dicha segunda velocidad B.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la lámina se calienta hasta una temperatura comprendida en su intervalo de temperaturas de tratamiento térmico en solución durante la etapa (a).
3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que dicha lámina se forma hasta por lo menos 90% de su forma final durante la etapa inicial de conformado (b).
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 y que incluye un segundo periodo de interrupción P2 después del primer periodo de interrupción P1 y antes de completarse el conformado en la etapa (e).
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 y que incluye múltiples periodos adicionales de interrupción PX después del primer periodo de interrupción P1 y antes de completarse el conformado en la etapa (e).
6. Método según la reivindicación 1 y en el que el método incluye uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, y en el que uno o más de dichos uno o más periodos de interrupción incluye la etapa de retener las herramientas casadas en posición.
7. Método según la reivindicación 1 y en el que el método incluye uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, y en el que uno o más de dichos uno o más periodos de interrupción incluye la etapa de revertir las herramientas casadas.
8. Método según la reivindicación 1 y en el que el método incluye uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, y en el que uno o más de dichos uno o más periodos de interrupción incluye la etapa de retener y revertir las herramientas casadas.
9. Método según la reivindicación 1 y en el que el método incluye uno o más periodos de interrupción P1, P2, PX, y en el que el método incluye la etapa de terminar el periodo o periodos de interrupción antes de la precipitación de precipitados no deseables a partir de la solución sólida supersaturada.
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la temperatura de la lámina se mantiene a una temperatura de 350°C a 500°C durante la interrupción de la etapa (c).
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la temperatura de la lámina se mantiene a una temperatura superior a 250°C durante la interrupción de la etapa (c).
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, y que incluye la etapa de mantener las herramientas casadas a una temperatura de -5°C a +120°C durante la interrupción de la etapa (c).
13. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, y en el que la aleación comprende una aleación de las aleaciones 2xxx, 6xxx o 7xxx.
14. Método según la reivindicación 1, y en el que la lámina se mantiene durante la interrupción sin deformación.

15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 y que incluye la etapa de mantener el blanco de lámina metálica a la temperatura del tratamiento térmico en solución hasta completar el tratamiento térmico en solución.
- 5 16. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15 y que incluye la etapa de retener el componente acabado 40 entre las herramientas casadas después de completar la etapa (e).

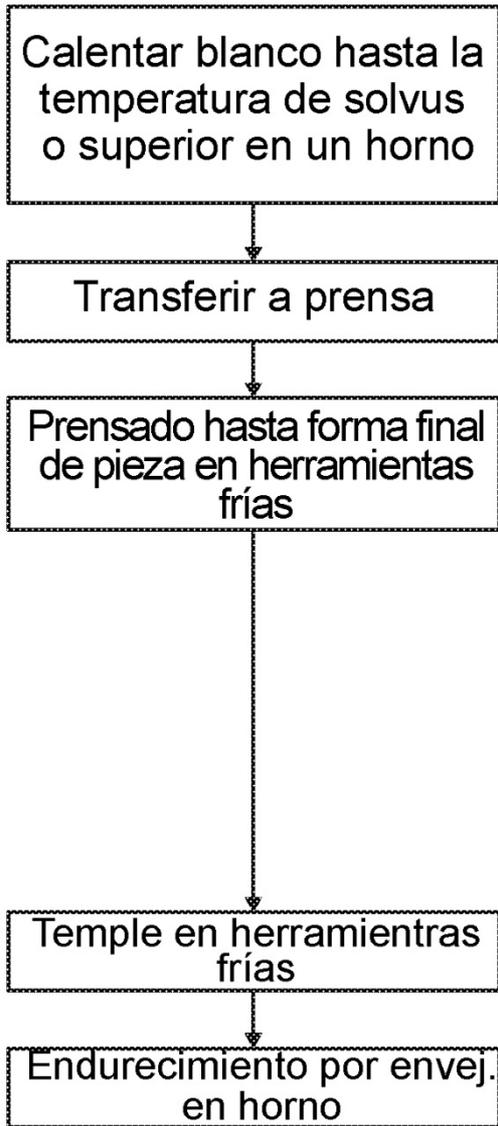


Fig. 1

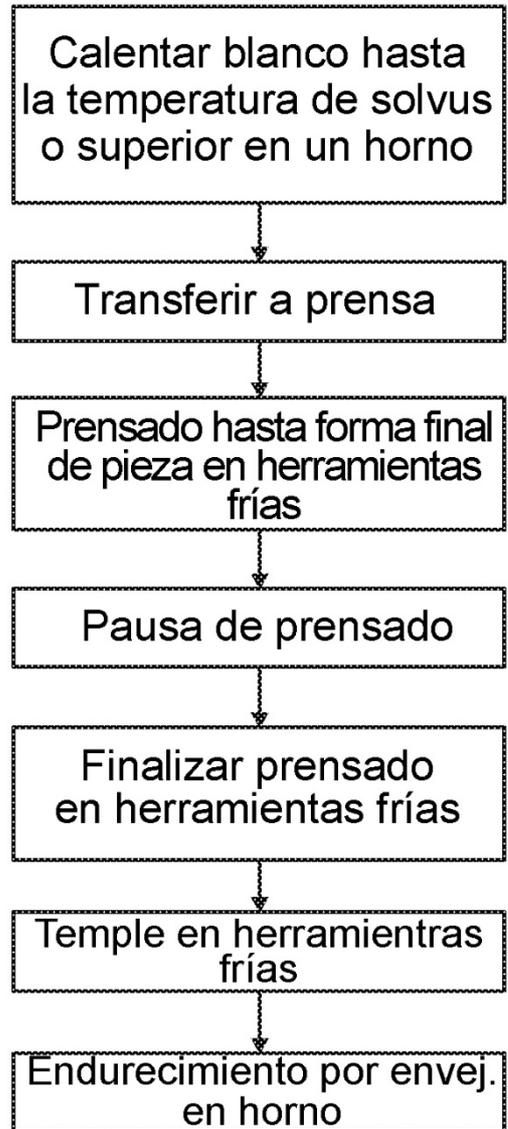


Fig. 2

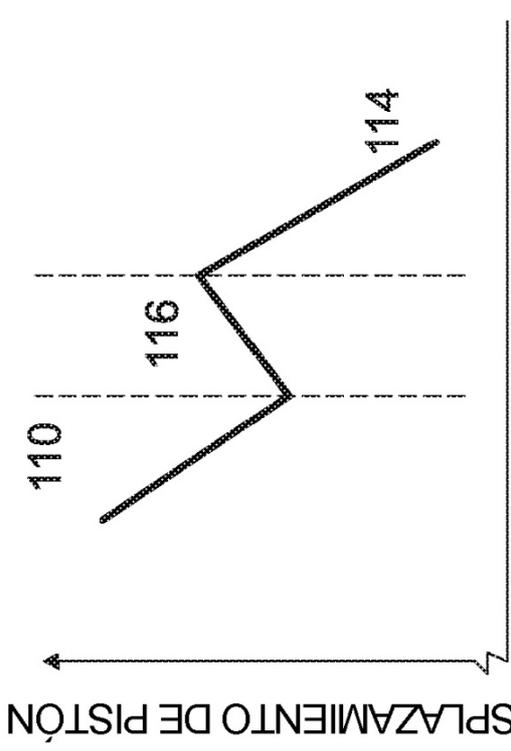


Fig. 3B

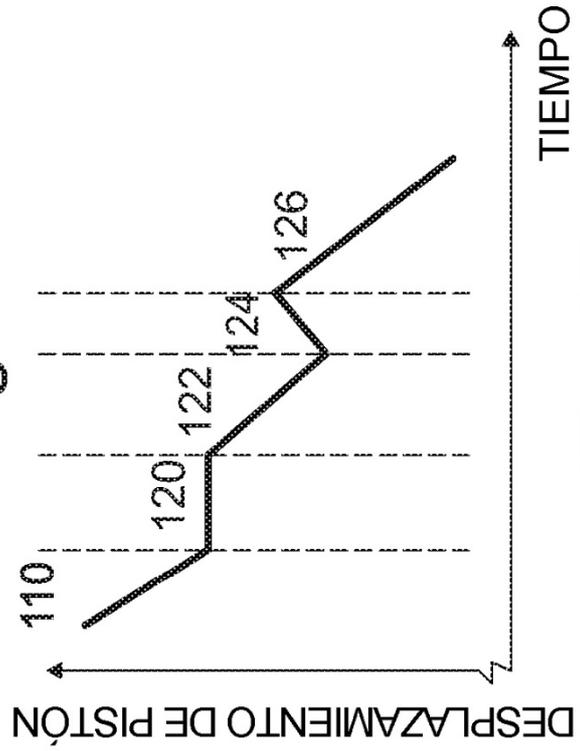


Fig. 3D

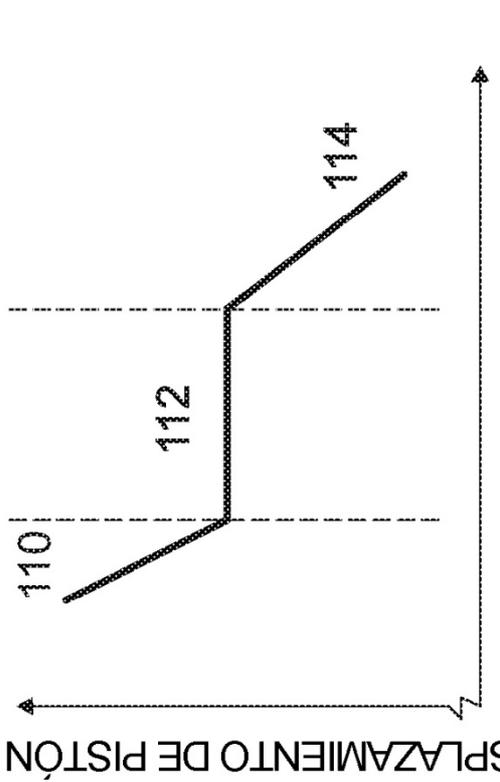


Fig. 3A

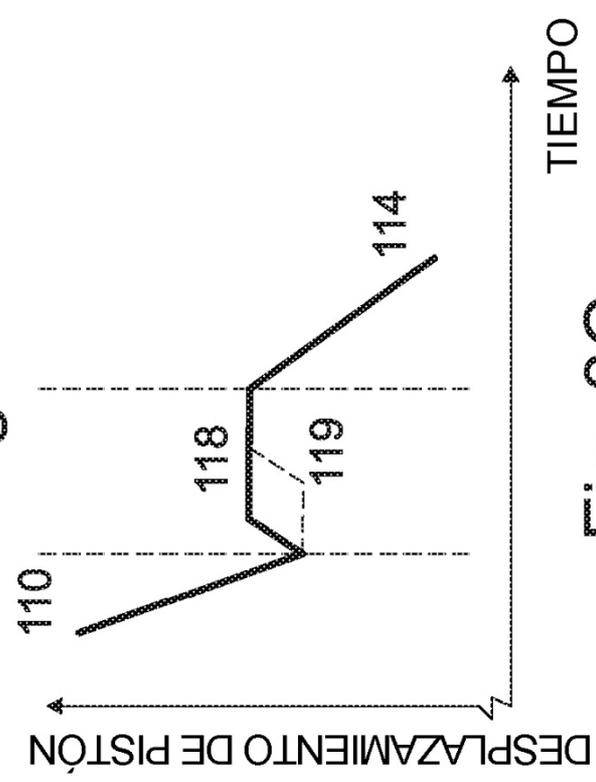


Fig. 3C

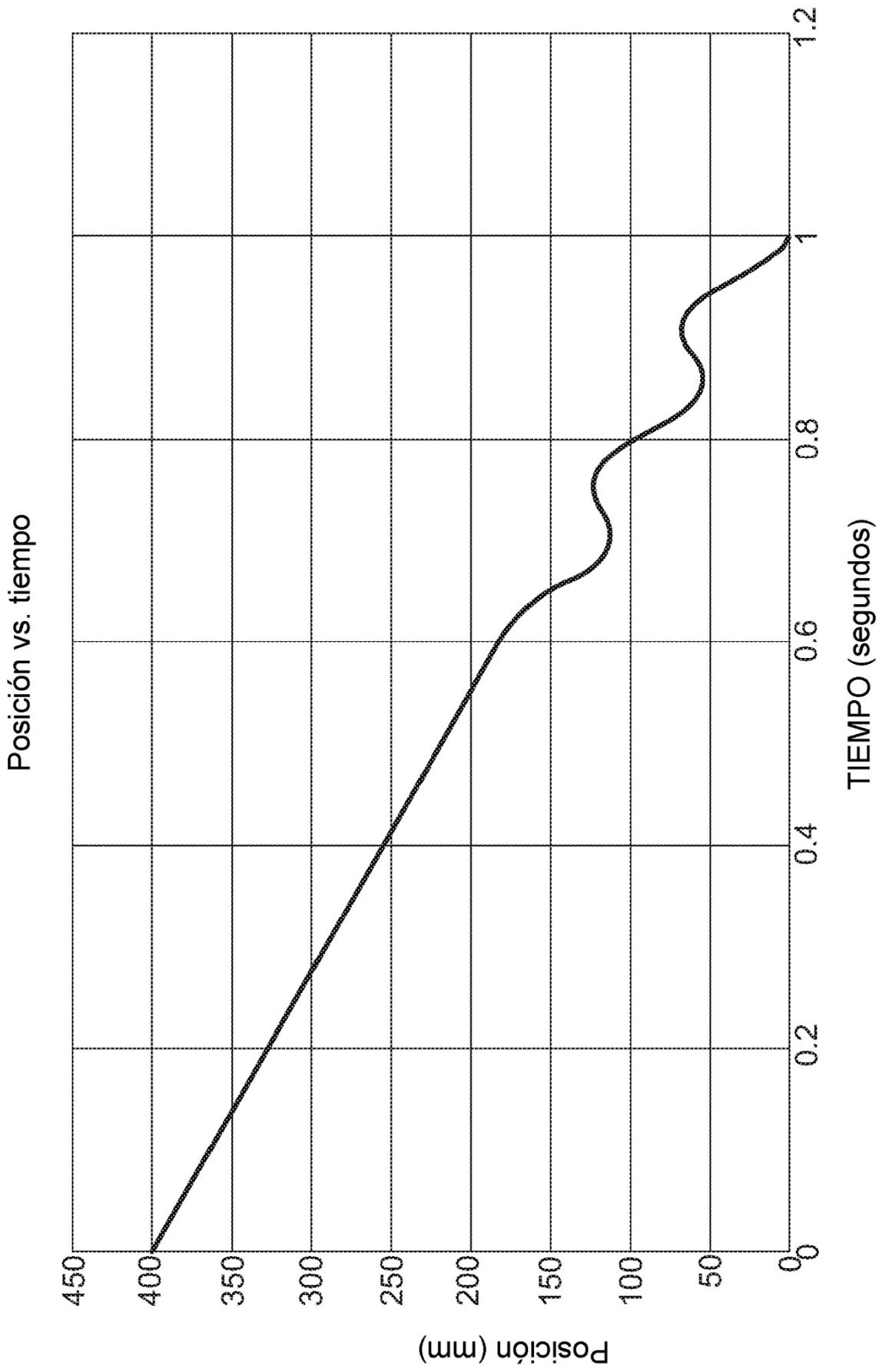


Fig. 4

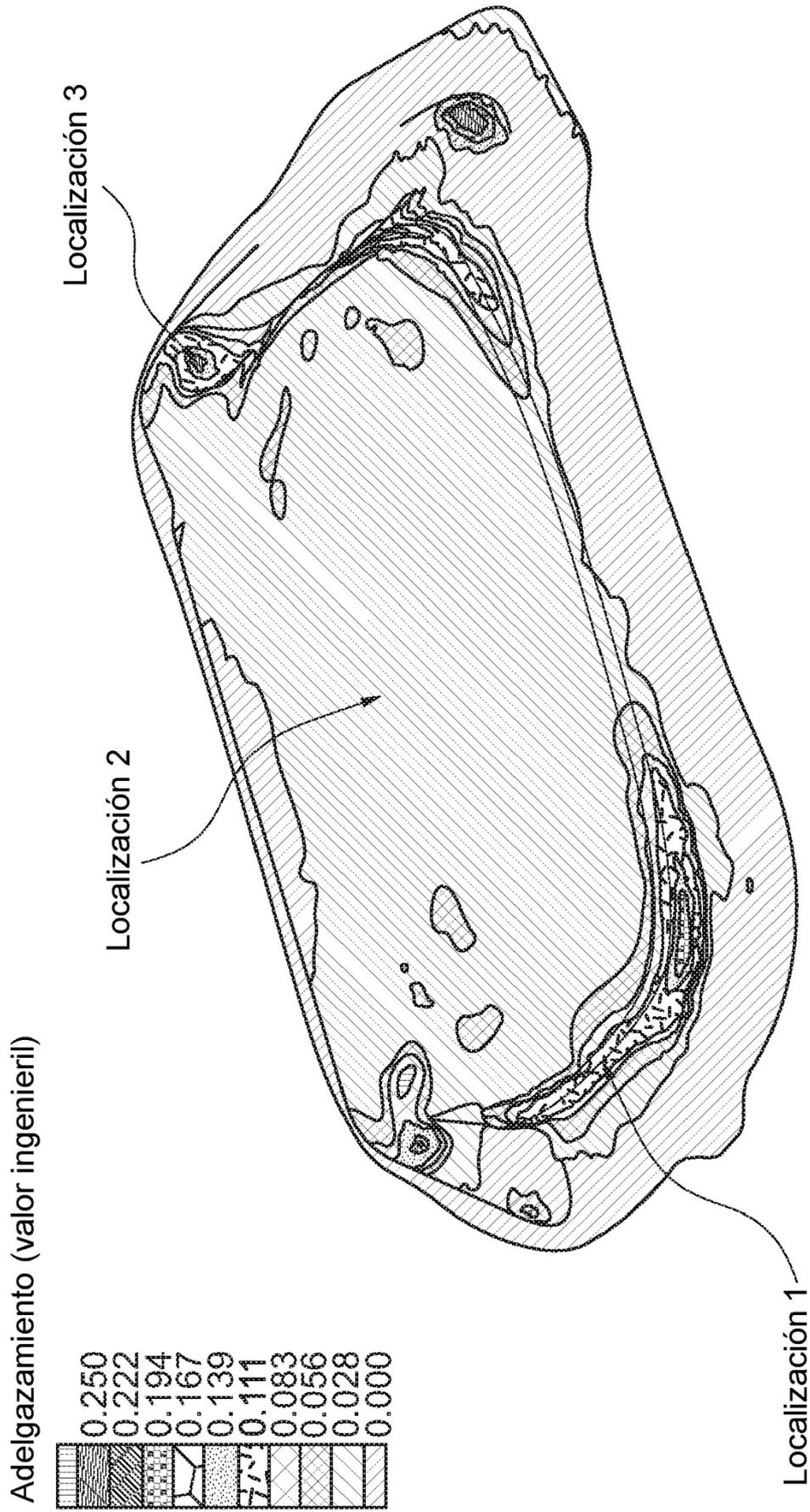


Fig. 5

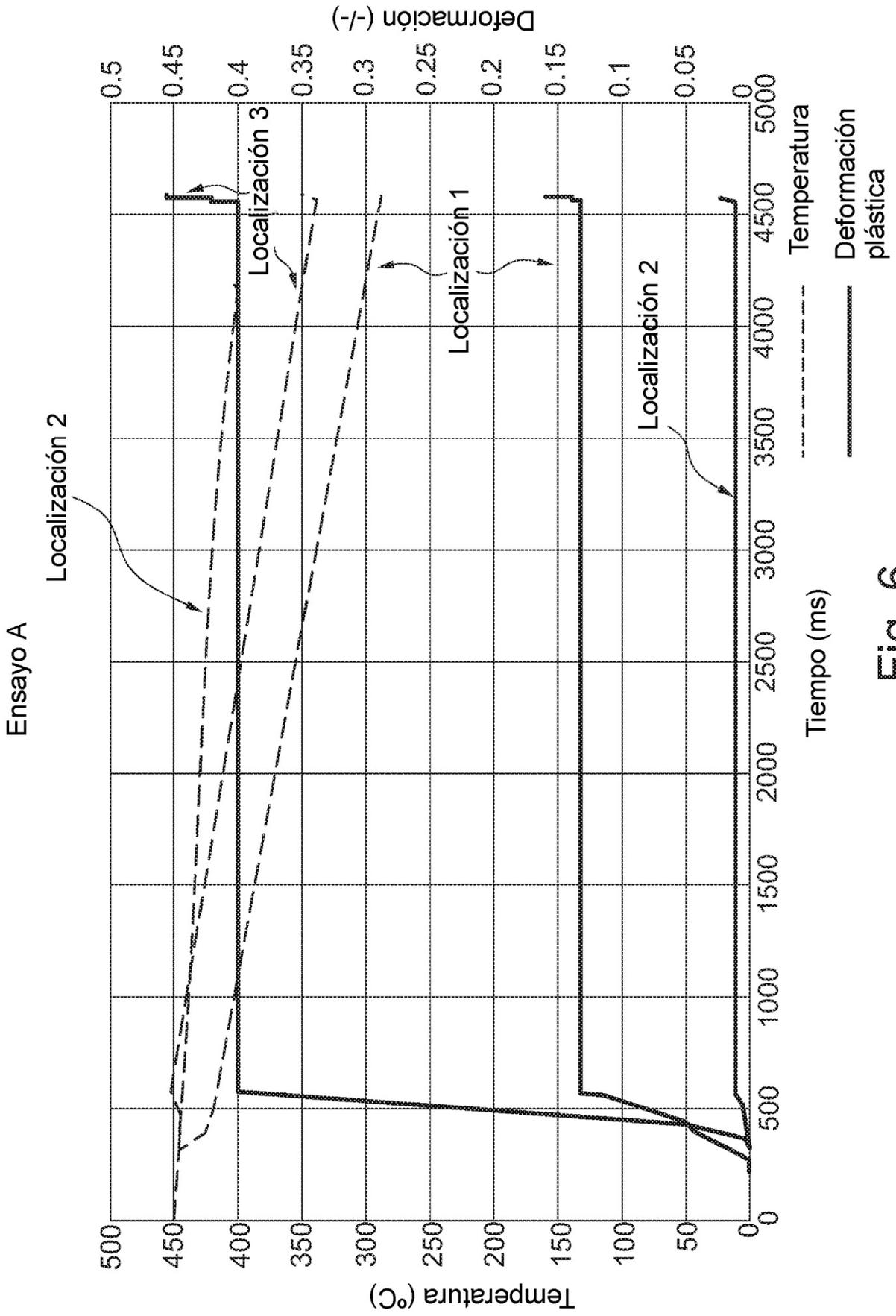


Fig. 6

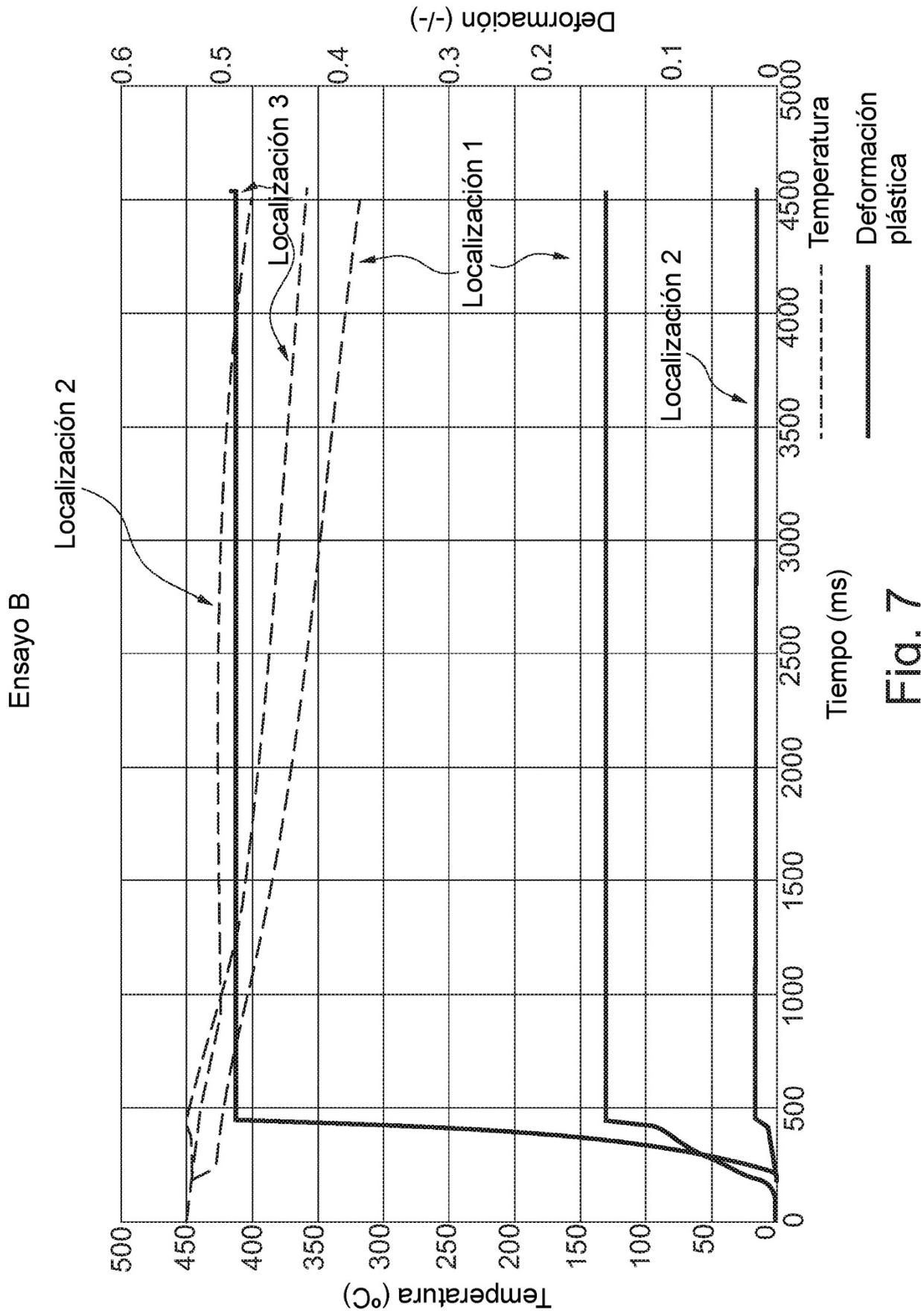


Fig. 7

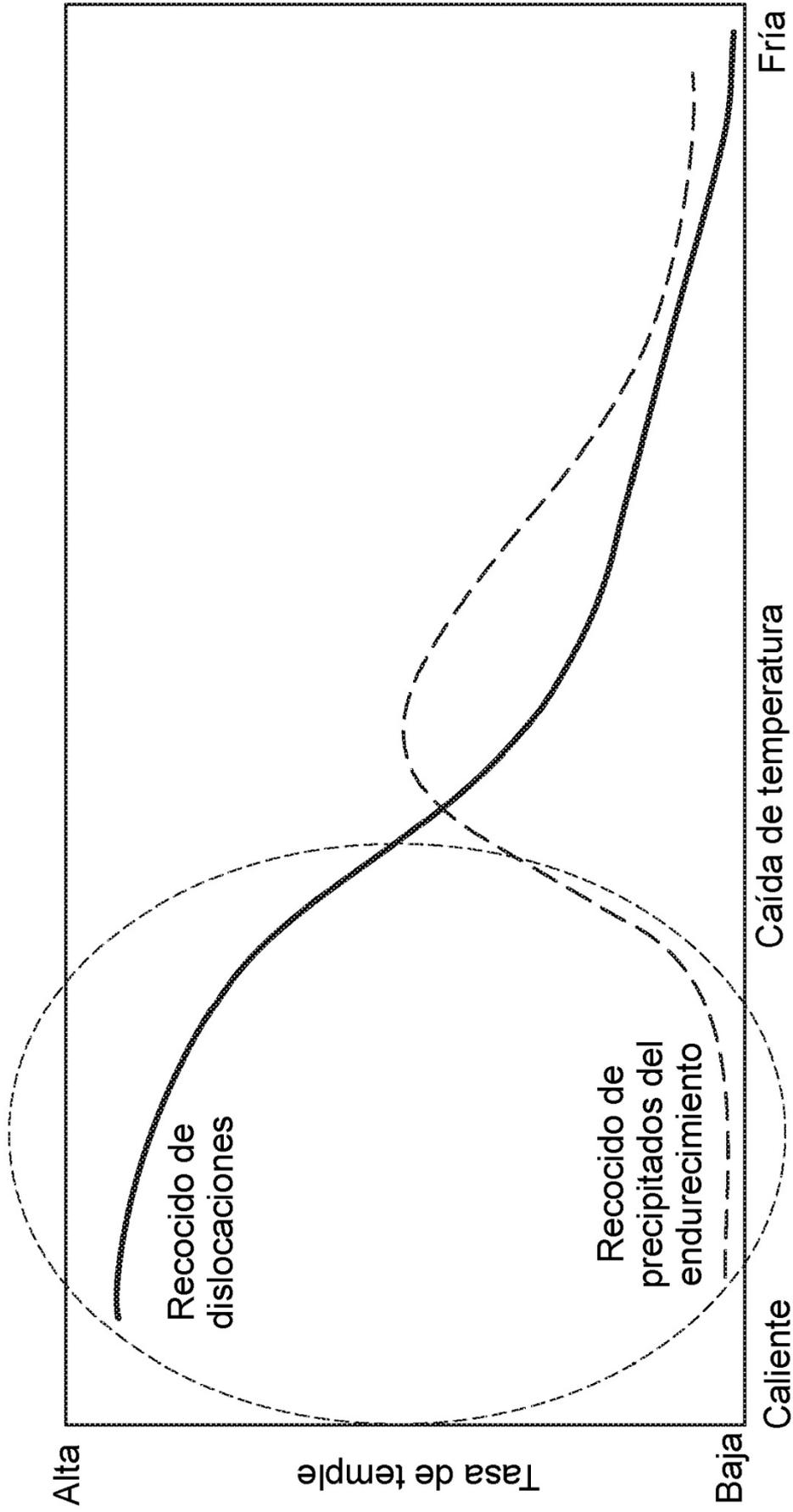


Fig. 9

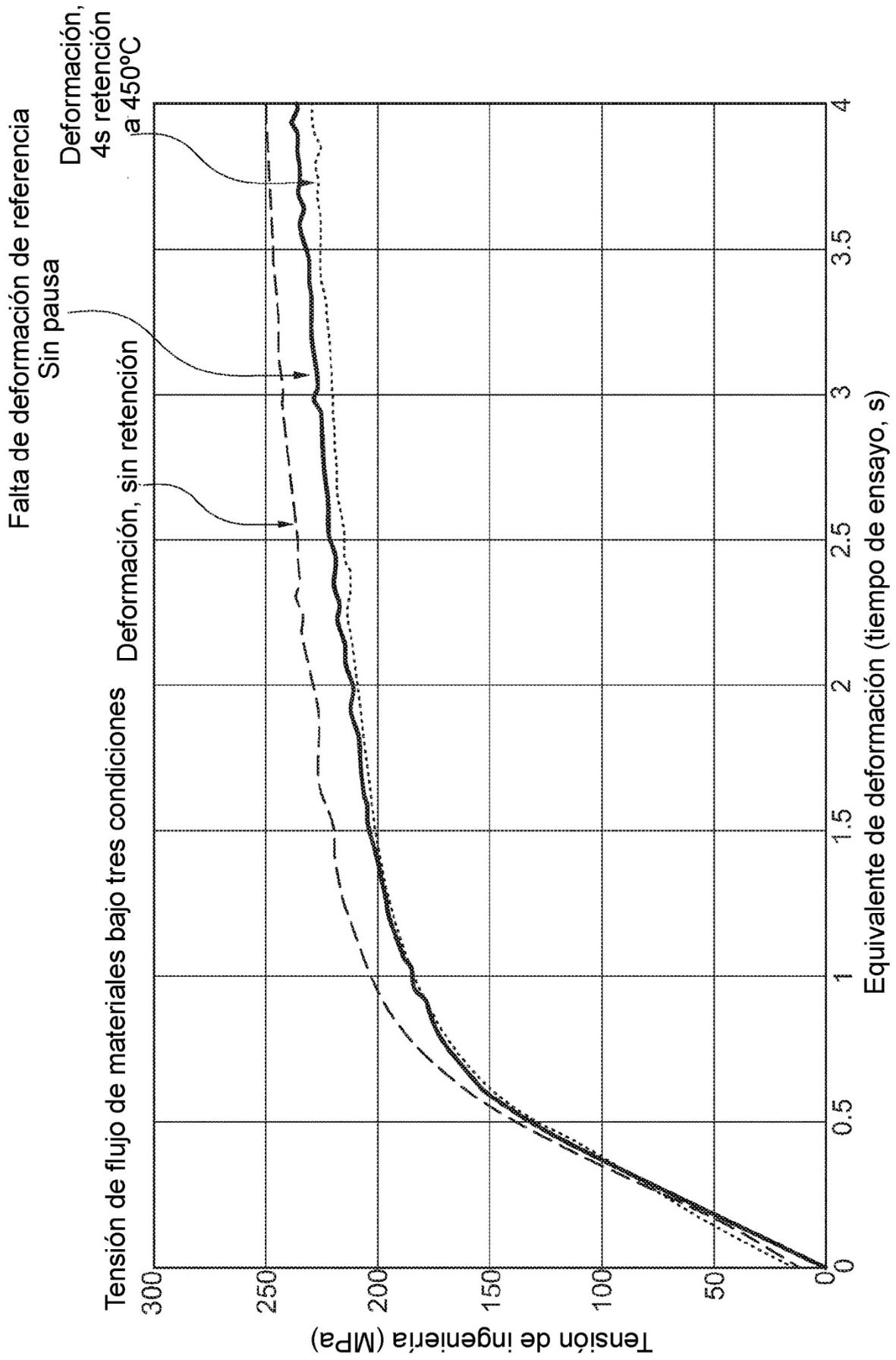


Fig. 10

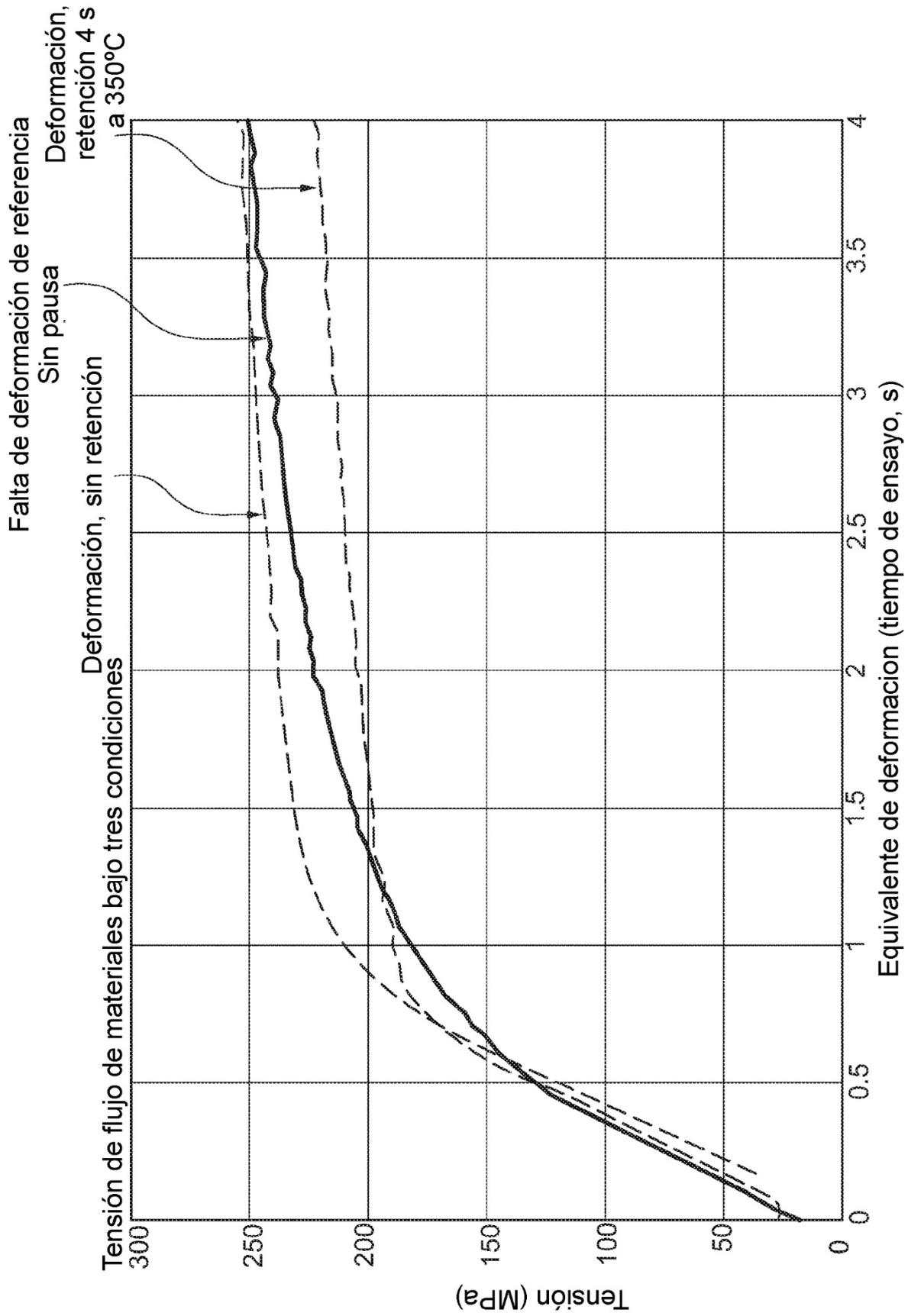


Fig. 11

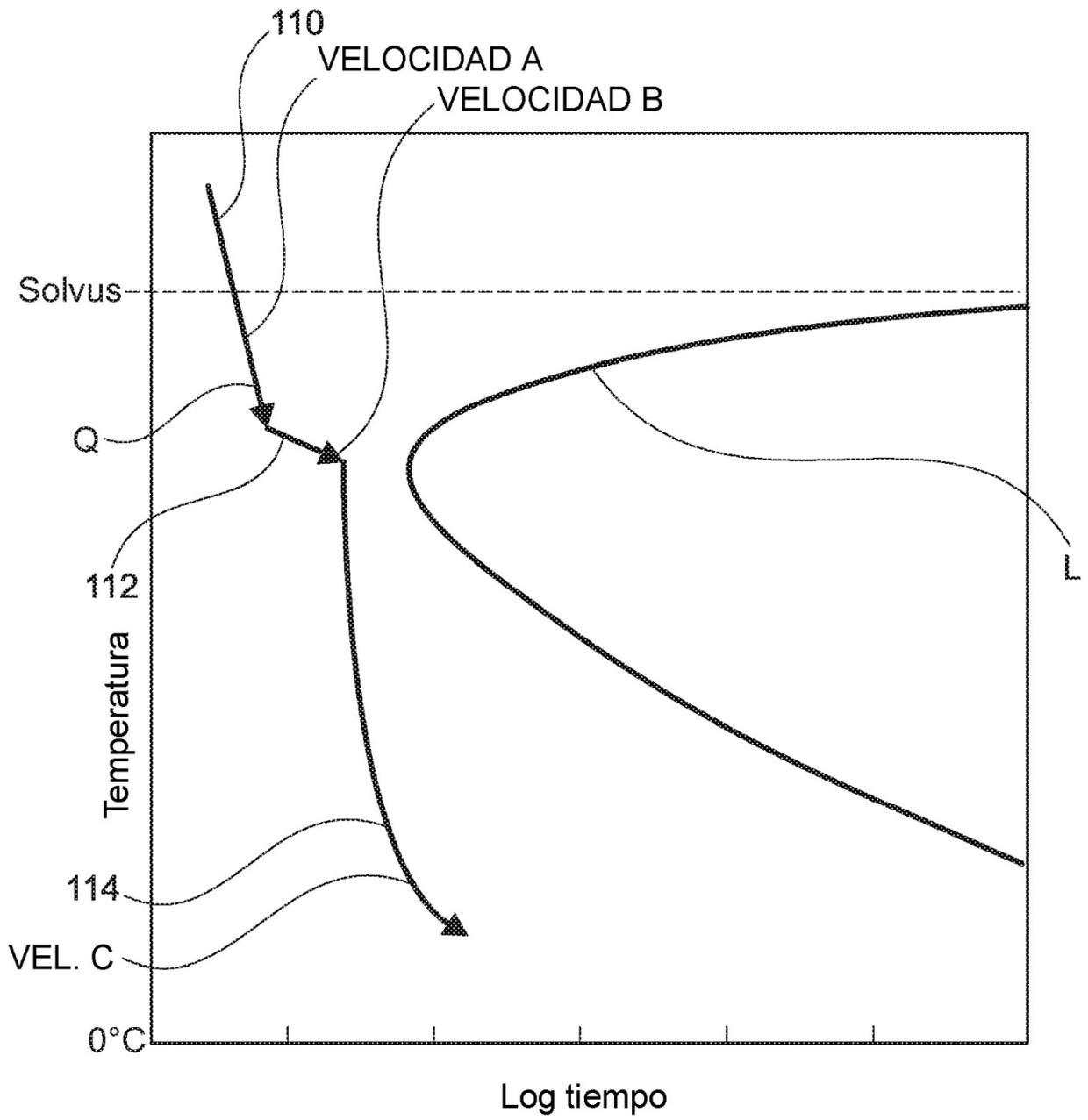


Fig. 12

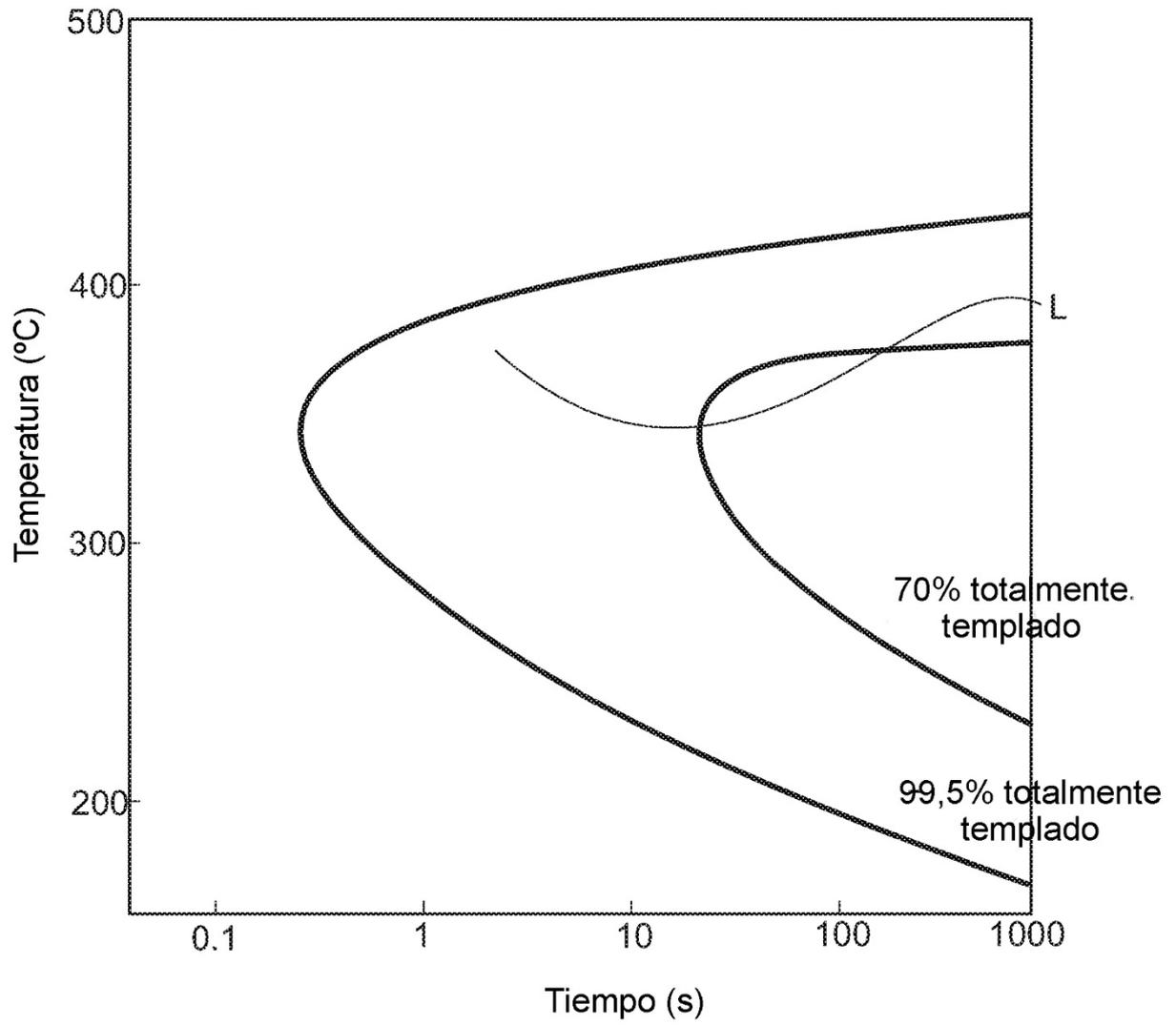


Fig. 13

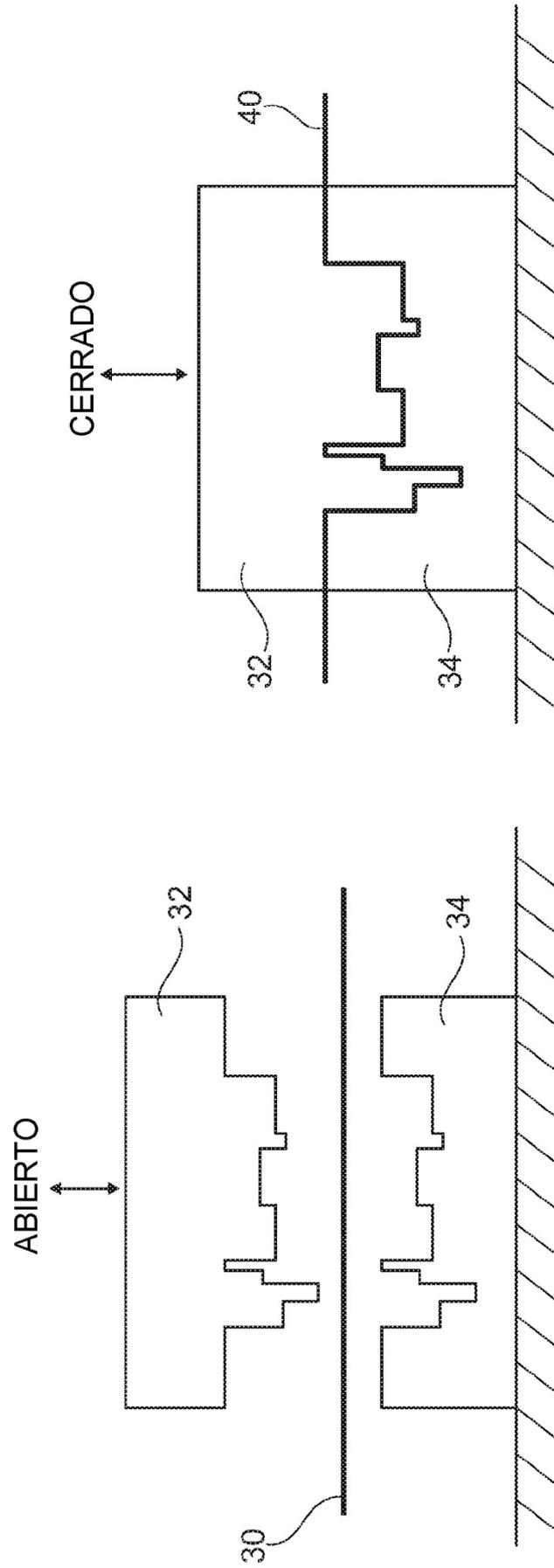


Fig. 14