

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 802**

51 Int. Cl.:

B21C 23/20 (2006.01)

B21C 23/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.05.2015 PCT/GB2015/051527**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.12.2015 WO15189561**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2015 E 15728083 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.03.2018 EP 3154719**

54 Título: **Un método de fabricación de recipientes para fluidos a presión y aparato para el mismo**

30 Prioridad:

13.06.2014 FR 1455433

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

18.06.2018

73 Titular/es:

LUXFER GAS CYLINDERS LIMITED (100.0%)

Lumns Lane

Manchester M27 8LN, GB

72 Inventor/es:

CHALANDON, BERNARD y

DAVAL, ROMARY

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 672 802 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

Un método de fabricación de recipientes para fluidos a presión y aparato para el mismo

La presente invención se refiere a un método de fabricación de recipientes adaptados para contener fluidos a presión, a la fabricación del aparato para el mismo y a recipientes de presión fabricados usando este método. Más en particular, la presente invención se refiere a un método de extrusión hacia atrás para la fabricación de recipientes metálicos capacitados para contener fluidos bajo presión, al aparato de extrusión para el mismo y a recipientes de presión fabricados según ese método. En particular, aunque no de forma exclusiva, la presente invención se refiere a un aparato y a método de fabricación para cilindros de gas con aro envolvente cerrados por un extremo, adaptados para contener gases a presiones por encima de la presión atmosférica y a cilindros de gas con aro envolvente cerrados por un extremo fabricados por medio de este método.

Actualmente, los recipientes de presión se fabrican en aluminio, acero y materiales compuestos. Los recipientes de presión de Tipo I están formados únicamente con material metálico tal como acero o aleaciones de aluminio. Por el contrario, los recipientes de presión de Tipo II comprenden un recipiente metálico (normalmente fabricado en aluminio) que tiene un manguito de material compuesto filamentosos, formado por ejemplo con una resina epoxi, fibra de aramida y/o de carbono, que circunda la pared lateral cilíndrica solamente del recipiente (mencionado en la presente memoria como aro envolvente). Los recipientes de presión de Tipo II son generalmente más ligeros de peso que los recipientes de presión de Tipo I debido a que la pared metálica del recipiente de un recipiente de presión de Tipo II puede ser más delgada que la de un recipiente de presión de Tipo I sin pérdida de rendimiento. Para ambos recipientes de presión de Tipo I y de Tipo II, la repetida dispensación y relleno del recipiente con gas a presión provoca que el recipiente flexione y que dicha flexión pueda fomentar la propagación de grietas en la pared del recipiente.

Para los recipientes de presión metálicos y de material compuesto, los métodos de fabricación convencionales incluyen la extrusión en caliente y en frío de un lingote que comprende un material metálico, normalmente una aleación de aluminio para recipientes de alta presión. El documento US3648351 proporciona un primer ejemplo de extrusión hacia atrás de un recipiente metálico hueco con un extremo cerrado, en el que se obliga a una placa o lingote de material metálico a extrudir hacia arriba por los lados de un ariete cuyo extremo ejerce presión descendente sobre el lingote en el interior de una cavidad de molde. El documento WO96/11757 describe un método de fabricación mejorado que hace uso de extrusión hacia atrás, en el que dos materiales montados en la cavidad de molde son extruidos conjuntamente.

Adicionalmente, se ha usado auto-pretensado para mejorar la resistencia a la fatiga del recipiente de presión. El auto-pretensado conlleva la aplicación de una presión en el interior del orificio del recipiente, suficiente para deformar plásticamente el metal en la superficie interna. La técnica produce esfuerzos de compresión residuales en, o cerca de, la superficie interna, y esto aumenta la resistencia a la fatiga del recipiente sometido a carga cíclica de presión interna. El documento WO96/11759, en el que se basa el preámbulo de las reivindicaciones 1, 7 y 9 independientes, describe el uso de auto-pretensado en la fabricación de recipientes de presión para provocar que regiones con picos de esfuerzo en la pared del recipiente de presión se muevan hacia fuera desde una superficie de pared interna o externa.

La presente invención busca proporcionar un método de fabricación de un recipiente de presión, un aparato de fabricación y recipientes de presión fabricados usando el método, que mejore la resistencia a la fatiga del recipiente de presión.

La presente invención está destinada también a proporcionar un método de fabricación de un recipiente de presión, un aparato de fabricación y recipientes de presión fabricados usando el método, que reduzca la probabilidad de fallo prematuro.

La presente invención pretende además proporcionar un método de fabricación por extrusión en frío y un aparato de fabricación particularmente adecuado para la fabricación de cilindros y camisas de cilindro de alta presión de aluminio de las series AA6XXX y AA7XXX.

Más aún, la presente invención está destinada a proporcionar recipientes de presión con aro envolvente, cerrados por un extremo, con rendimiento mejorado en comparación con los recipientes de presión convencionales con aro envolvente con un extremo cerrado.

La presente invención busca proporcionar por separado recipientes de presión que cumplan los requisitos reguladores de los estándares de los recipientes de presión tal como: EN12257 y/o ISO11119-1 y que tengan una superficie interna curva compuesta.

La presente invención proporciona por lo tanto un método de conformar un recipiente de presión cerrado por un extremo, comprendiendo el método: posicionar un lingote de un metal extrudible en un molde, teniendo dicho lingote un eje y una superficie delantera; usar un ariete con un eje de simetría longitudinal, una región de cara extrema y una pared lateral sustancialmente cilíndrica para hacer que el metal se extruda impulsando la región de cara extrema del ariete hacia la superficie delantera del lingote a lo largo del eje del lingote con el fin de causar que el

- metal se extruda en el espacio entre el ariete y el molde y a lo largo de la pared lateral cilíndrica del ariete para formar un extruido; y, extraer el extruido del molde y configurar el extremo abierto del extruido para formar un escalonamiento y un cuello, con lo que la región de cara extrema del ariete tiene un perfil superficial que comprende una sección central, al menos un anillo intermedio y un anillo más externo con curvaturas de intersección pero diferentes, de radios: R, r y R_c, respectivamente, conectando la sección central, el al menos un anillo intermedio y el anillo más exterior un punto central donde la cara extrema interseca con el eje longitudinal del ariete, con la pared lateral cilíndrica del ariete a una distancia axial H desde el punto central, teniendo la distancia axial H un rango de entre 0,28ID a 0,5ID, donde ID es el diámetro en sección transversal de la pared lateral cilíndrica del ariete.
- 5
- Con preferencia, la distancia axial H está en el rango de entre 0,3ID y 0,4ID.
- 10
- En una realización particularmente preferida, la distancia axial H es sustancialmente igual a ID/3.
- La sección central tiene con preferencia un radio de curvatura R comprendido en el rango de entre 0,5ID y 1,2ID.
- Más preferiblemente, la sección central tiene un radio de curvatura R sustancialmente igual a 1,1ID.
- Más preferiblemente aún, el anillo intermedio tiene un radio de curvatura r comprendido en el rango de entre 0,1ID y 0,5ID.
- 15
- El anillo intermedio tiene con preferencia un radio de curvatura r comprendido en el rango de entre 0,12ID y 0,13ID.
- En una realización preferida adicional, la región de cara extrema del ariete puede tener un perfil superficial que incluya al menos dos anillos intermedios, cada uno de ellos con un radio de curvatura superficial diferente.
- Con preferencia, el anillo más externo tiene un radio de curvatura R_c en el rango de ID/(3±2).
- Más preferiblemente aún, el anillo más externo tiene un radio de curvatura R_c en el rango de ID/(3±1)
- 20
- El anillo más externo tiene, con preferencia, un radio de curvatura R_c sustancialmente igual a ID/2.
- El método puede comprender además la etapa de someter el recipiente de presión a auto-pretensado.
- El lingote puede comprender una aleación de aluminio de la serie AA6XXX.
- En una realización particularmente preferida, el lingote comprende una aleación de aluminio de la serie AA7XXX.
- 25
- En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un aparato de extrusión para su uso en la fabricación de un recipiente de presión cerrado por un extremo, comprendiendo el aparato de extrusión un molde para recibir un lingote de un metal extrudible y un arete que tiene un eje de simetría longitudinal, una región de cara extrema y una pared lateral sustancialmente cilíndrica, teniendo la región de cara extrema del ariete un perfil superficial que comprende una sección central, al menos un anillo intermedio y un anillo más externo con curvaturas de intersección pero diferentes, de radios: R, r y R_c respectivamente, conectando la sección central, el al menos un anillo intermedio
- 30
- y el anillo más exterior un punto central donde la cara extrema interseca con el eje longitudinal del ariete, con la pared lateral cilíndrica del ariete a una distancia axial H del punto central, teniendo la distancia axial H un rango de entre 0,28ID a 0,5ID, donde ID es el diámetro en sección transversal de la pared lateral cilíndrica del ariete.
- Con preferencia, la distancia axial H está dentro del rango de entre 0,3ID y 0,4 ID.
- En una realización particularmente preferida, la distancia axial H es sustancialmente igual a ID/3.
- 35
- La sección central tiene con preferencia un radio de curvatura R en el rango de entre 0,5ID y 1,2ID.
- Más preferiblemente, la sección central tiene un radio de curvatura R sustancialmente igual a 1,1ID.
- El anillo intermedio tiene con preferencia un radio de curvatura r comprendido en el rango de entre 0,1ID y 0,5ID.
- Más preferiblemente, el anillo intermedio tiene un radio de curvatura r en el rango de entre 0,12ID y 0,13ID.
- 40
- En una realización preferida adicional, la región de cara extrema del ariete puede tener un perfil superficial que incluya al menos dos anillos intermedios, cada uno de ellos con un radio de curvatura superficial diferente.
- El anillo más externo tiene con preferencia un radio de curvatura R_c en el rango de ID/(3±2).
- Más preferiblemente, el anillo más externo tiene un radio de curvatura R_c en el rango de ID/(3±1).
- Más preferiblemente aún, el anillo más externo tiene un radio de curvatura R_c sustancialmente igual a ID/2.
- 45
- En un tercer aspecto, la presente invención proporciona un recipiente de presión cerrado por un extremo, formado con un metal extrudible, comprendiendo el recipiente de presión una sección cerrada por un extremo, una pared

- lateral sustancialmente cilíndrica con un diámetro interno ID en sección transversal, un escalonamiento y un cuello, y que tiene un eje de simetría longitudinal, comprendiendo el perfil de la superficie interna de la sección de extremo cerrado una sección central, al menos un anillo intermedio y un anillo más exterior con curvaturas intersectantes pero diferentes, de radios: R, r y Rc respectivamente, que conectan la sección central, el al menos un anillo intermedio y el anillo más exterior en un punto central donde la sección de extremo cerrado corta el eje longitudinal con la pared lateral cilíndrica a una distancia axial H del punto central, teniendo la distancia axial H un rango de entre 0,28ID a 0,5ID.
- 5 Con preferencia, la distancia axial H está en el rango de entre 0,3 ID y 0,4 ID.
- En una realización particularmente preferida, la distancia axial H es sustancialmente igual a ID/3.
- 10 La sección central tiene con preferencia un radio de curvatura R comprendido en el rango de entre 0,5ID y 1,2ID.
- Más preferiblemente, la sección central tiene un radio de curvatura R sustancialmente igual a 1,1ID.
- El anillo intermedio tiene con preferencia un radio de curvatura r en el rango de entre 0,1ID y 0,5ID.
- Más preferiblemente, el anillo intermedio tiene un radio de curvatura r en el rango de entre 0,12ID y 0,13ID.
- 15 En una realización preferida adicional, el perfil superficial interno de la sección cerrada por un extremo puede incluir al menos dos anillos intermedios, cada uno de ellos con un radio de curvatura superficial diferente.
- El anillo más externo tiene con preferencia un radio de curvatura Rc en el rango de $ID/(3+2)$.
- Más preferiblemente, el anillo más externo tiene un radio de curvatura Rc en el rango de $ID/(3+1)$.
- En una realización particularmente preferida, el anillo más externo tiene un radio de curvatura Rc sustancialmente igual a ID/2.
- 20 El recipiente de presión cerrado por un extremo puede comprender una aleación de aluminio de la serie AA6XXX.
- En una realización particularmente preferida, el recipiente de presión cerrado por un extremo comprende una aleación de aluminio de la serie AA7XXX.
- Según un aspecto adicional, la presente invención proporciona un recipiente de presión de material compuesto, que comprende un recipiente de presión cerrado por un extremo según se ha descrito con anterioridad, y una manga de un material compuesto.
- 25 El material compuesto puede ser seleccionado a partir de material compuesto de fibra de carbono, fibra de basalto, fibra de aramida y/o fibra de vidrio.
- El método de fabricación y el aparato de fabricación de la presente invención permiten que los recipientes de alta presión cerrados por un extremo puedan ser fabricados usando extrusión en frío o extrusión tibia que tienen una vida útil equivalente o mejorada frente a recipientes de alta presión equivalentes fabricados usando extrusión en caliente, y que consiguen un rendimiento equivalente incluso con un auto-pretensado de presión más baja.
- 30 Una realización de la presente invención va a ser descrita ahora únicamente a título de ejemplo con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:
- 35 La Figura 1 ilustra esquemáticamente una serie de etapas en extrusión hacia atrás de un lingote metálico para formar un recipiente de presión cerrado por un extremo;
- La Figura 2 es una vista en perspectiva a través de una sección transversal del extremo cerrado de un recipiente de presión según la presente invención;
- La Figura 3 es una sección transversal detallada del extremo cerrado del recipiente de presión de la Figura 2;
- 40 La Figura 4 ilustra la relación de los radios de curvatura superficial del extremo cerrado del recipiente de presión de la Figura 2;
- Las Figuras 5a y 5b ilustran las primeras tensiones principales y las tensiones de Von Mises usando análisis de elementos finitos de la base de una camisa de recipiente de presión de aro envolvente convencional, y
- 45 Las Figuras 6a y 6b ilustran las primeras tensiones principales y las tensiones de Von Mises usando análisis de elementos finitos de la base de una camisa de recipiente de presión de aro envolvente conforme a la presente invención.
- Aunque la extrusión en caliente (en la que la extrusión se lleva a cabo típicamente por encima de la temperatura de recristalización) es posible según la presente invención, se prefiere la extrusión en frío y/o la extrusión tibia (en la

que la extrusión se lleva a cabo por debajo de la temperatura de recristalización) que es un procedimiento de coste más bajo. La extrusión tibia se lleva a cabo típicamente con una temperatura inicial del lingote de 100-250 °C, mientras que la extrusión en frío se lleva a cabo típicamente con una temperatura inicial del lingote por debajo de 100 °C, con preferencia a temperatura ambiente. Sin embargo, las condiciones precisas de extrusión no son materia de la presente invención y se pueden emplear condiciones convencionales para la extrusión.

El método de fabricación de un recipiente de presión cerrado por un extremo según se ha mostrado en la Figura 1, incluye el uso de un aparato de extrusión 1 en la extrusión hacia atrás de un lingote metálico 2. Desde un punto de vista general, el lingote de material metálico 2, por ejemplo de una aleación de aluminio, se posiciona en el fondo de una cavidad 3 en un molde 4 (también conocida como manga de extrusión). Un ariete 5, que con preferencia es de sección transversal cilíndrica y con paredes laterales sustancialmente paralelas, se encuentra dispuesto para su movimiento alternativo a lo largo de un eje común X del ariete 5, del molde 4 y del lingote 2. El ariete 5 se inserta en la cavidad de molde 3 de modo que la cara extrema 6 del ariete 5 encaja con la superficie del lingote 2 que se enfrenta hacia la abertura de a cavidad de molde 3. El movimiento alternativo continuado del ariete 5 hacia el extremo cerrado de la cavidad de molde 3 fuerza la región de cara extrema 6 del ariete hacia el lingote metálico 2. Esto provoca que el material metálico del lingote 2 se extruda a lo largo de la superficie de las paredes laterales del ariete 5. La velocidad a la que sale el extruido desde la cavidad de molde 3 está típicamente en la gama de 50/500 cm/min, y se puede proporcionar lubricación (no representada) al menos donde la cara extrema 6 del ariete 5 contacta con el lingote 2 para reducir la presión de extrusión requerida. El movimiento alternativo del ariete 5 continúa hasta que la cara extrema 6 del ariete alcanza una distancia predeterminada por encima del suelo interior de la cavidad de molde 3 generalmente correspondiente con el espesor deseado del extremo cerrado del recipiente de presión resultante. De forma similar, la separación radial de la pared lateral del ariete 5 desde la superficie interna cilíndrica del molde 4 corresponde generalmente con el espesor de la pared lateral cilíndrica del recipiente de presión. De ese modo, el perfil interno del extremo cerrado del recipiente de presión corresponde con el perfil externo del ariete 5.

La formación del extremo cerrado del recipiente de presión da como resultado un extruido inicial con forma de copa en general con una base, paredes laterales paralelas y una parte superior abierta. La parte superior abierta del extruido se iguala a continuación y se calienta, típicamente se calienta por inducción a 300-450 °C, con anterioridad a la formación de un cuello usando técnicas convencionales de estampación o de rotación. El cuerpo hueco resultante se somete a tratamiento térmico; se temple, generalmente en agua fría; y finalmente se envejece. Se pueden llevar también a cabo procesos convencionales de acabado, tal como el auto-pretensado y el granallado, para completar la fabricación del recipiente de presión.

El método de extrusión descrito con anterioridad difiere de la extrusión hacia atrás convencional de un lingote metálico debido al uso de un novedoso e inventivo aparato de extrusión 1. Las características del aparato de extrusión 1 son en general de diseño convencional con excepción de la superficie externa 10 de la cara extrema del ariete 5, lo que se describe con mayor detalle en lo que sigue. Según se ha mencionado con anterioridad, el perfil superficial interno del extremo cerrado del recipiente de presión corresponde al perfil de la superficie externa 10 del ariete 5 y por tanto, la superficie externa 10 del ariete 5 va a ser descrita en la presente memoria haciendo referencia a las Figuras 2 a 4, las cuales muestran, en sección transversal, el extremo cerrado de un recipiente de presión fabricado usando el molde 4 y el ariete 5 del aparato de extrusión 1.

Desde un punto de vista general y con referencia a las Figuras 2 y 3, el recipiente de presión tiene un diámetro externo o exterior OD, el cual es sustancialmente igual al diámetro interno de la pared lateral cilíndrica de la manga de extrusión o molde 4, y un diámetro interno ID que es sustancialmente igual al diámetro cilíndrico externo de la pared lateral externa del ariete 5. La diferencia a entre los diámetros interno y externo corresponde al espesor de la pared lateral 11 sustancialmente cilíndrica del recipiente de presión, es decir, $a = (OD-ID)/2$, lo que corresponde también sustancialmente a la holgura o diferencia radial de las paredes laterales del ariete 5 y del molde 4.

Las características clave del perfil de la superficie externa 10 del ariete 5 incluyen un punto central 12 donde el extremo del ariete 5 corta su eje longitudinal de simetría X, una sección central 13 y al menos dos anillos 14, 15 que conectan el punto central 12 a la pared lateral 11 sustancialmente cilíndrica del ariete 5. Cuando se observa a lo largo del eje X, la sección central 13 y los dos anillos 14 y 15 son todos rotacionalmente simétricos con respecto al eje X y concéntricos entre sí. Por el contrario, se puede ver claramente que los perfiles superficiales de la sección 13 y de los dos anillos 14 y 15 en la sección transversal vertical de las Figuras 3 y 4, tienen curvaturas superficiales diferentes pero intersectantes. En cada caso, la curvatura superficial de la sección central 13, del anillo intermedio 14 y del anillo más externo 15, se extiende entre sus límites y tienen un radio de R, r y Rc, respectivamente.

El punto central 12 yace en el centro de la sección central 13. El perfil superficial de la sección central 13 tiene una curvatura de radio R entre 0,5ID y 1,2ID, más preferiblemente entre 0,8ID y 1,2ID, y más preferiblemente aún es tal que $1ID < R < 1,2ID$. El borde externo de la sección central 13 se une o intersecta con el borde interno de la primera sección de nudillo, mencionada en la presente memoria como anillo intermedio 14, el cual tiene una curvatura de radio r entre 0,11D y 0,51D, más preferiblemente entre 0,11D y 0,251D, y más preferiblemente aún es tal que $0,11D < r < 0,151D$. A su vez, el borde externo del anillo intermedio 14 se une o intersecta con el borde interno de la segunda sección de nudillo mencionada en la presente memoria como el segundo o el más externo anillo 15, que tiene una curvatura de radio $R_c = ID/(3\pm 2)$, más preferiblemente $R_c = ID/(3\pm 1)$, más preferiblemente aún

0,4ID<Rc<0,6ID. Aunque el rango de las curvaturas potenciales para la sección central 13 y los dos anillos 14, 15 se solapan entre sí, para cualquier ariete 5 particular, la sección central y los dos anillos que definen la superficie externa 10 tendrán, cada uno de ellos, una curvatura superficial que difiere de las curvaturas superficiales de los otros, y con el radio de la curvatura superficial del anillo intermedio 14 siempre más pequeño que el de la curvatura de la sección central 13 y del anillo más externo 15.

Con referencia a la Figura 4, dado que la sección central 13 es rotacionalmente simétrica con respecto al eje X, el radio R de curvatura superficial de la sección central se mide desde un punto (origen) hasta una distancia R a lo largo del eje X. Además, la intersección de la sección central 13 con el anillo intermedio 14, la intersección del anillo intermedio 14 con el anillo más externo 15, y la intersección del anillo más externo 15 con la pared lateral cilíndrica 11 están, cada una de ellas, combinadas para asegurar que no haya discontinuidades en el perfil superficial del extremo del ariete 5 que pudieran ir en detrimento de la resistencia del cilindro. Esto requiere que en cada intersección las tangentes a las curvaturas de las superficies a cualquier lado de la unión (siendo las tangentes ortogonales a la línea de la unión) estén sustancialmente alineadas y con preferencia sean comunes. En el caso de la intersección del anillo más externo 15 con la pared lateral cilíndrica 11, la tangente a la curvatura superficial del anillo más externo 15 (ortogonal a la línea de la intersección) está sustancialmente alineada con la superficie de la pared lateral cilíndrica 11.

Una sección transversal tomada a través del ariete 5 en la unión del anillo más externo 15 con la pared lateral cilíndrica 11 interseca el eje X a una distancia H por encima del punto central 12. La distancia H está entre 0,28ID y 0,5ID, más preferiblemente entre 0,3ID y 0,40ID, y más preferiblemente aún $H = ID/3$. Puesto que la tangente a la curvatura superficial del anillo más externo 15 está sustancialmente alineada con la pared cilíndrica 11 en la unión del anillo más externo 15 con la pared lateral 11, el radio Rc de la curvatura superficial del anillo más externo se mide desde un punto (origen) que yace en el plano de la sección transversal a través del ariete 5, a una altura H por encima del punto central 12.

Por lo tanto, para asegurar que la curvatura del anillo intermedio 14 se combina tanto con la de la sección central 13 como con la del anillo más externo 15, el radio r del anillo intermedio 14 se mide desde un punto (origen) correspondiente a la intersección de Rc-r y R-r. Además, el diámetro en sección transversal IDC del centro del anillo intermedio 14 es menor que, o igual a, $OD-(3xa)$, donde OD es el diámetro cilíndrico externo del recipiente de presión (igual al diámetro cilíndrico interno del molde 4), y a es el espesor de la pared del recipiente de presión (igual a la separación de las paredes laterales cilíndricas del molde 4 y del ariete 5).

Aunque las Figuras ilustran un único anillo intermedio 14, el perfil de la superficie interna del cilindro de presión (y por tanto también el perfil de la superficie externa del ariete 5) puede comprender más de un anillo intermedio teniendo cada anillo intermedio su propio radio de curvatura superficial y combinando cada uno de los anillos intermedios en sus bordes con los bordes de los anillos adyacentes, es decir, estando las tangentes a la curvatura superficial de cada anillo intermedio en los bordes del anillo intermedio sustancialmente alineadas con las tangentes a las curvaturas superficiales de los anillos adyacentes. Además, aunque las Figuras ilustran que la curvatura superficial de la sección central 13 está definida por un único radio, también se ha previsto que la central 13 pueda consistir en una sección central interna que sea sustancialmente plana y una sección central externa, concéntrica con la sección central interna, que tenga una curvatura superficial de radio R.

Ejemplo 1

Un primer conjunto de dimensiones ejemplares para un molde 4 y un ariete 5 de un aparato de extrusión según la presente invención y las dimensiones correspondientes de la camisa de cilindro de AA7060 de 5 litros realizada usando el molde y el ariete, se exponen a continuación.

Altura total del cilindro = 465 mm

Peso total del cilindro = 4,8 kg.

Ariete y Molde	Camisa de cilindro de AA7060 de 5 litros	(mm)
Diámetro interno del molde	OD	140
Diámetro externo del ariete	ID	129
Separación radial del molde desde la superficie cilíndrica del ariete	a	5,5
Altura axial del extremo contorneado del ariete hasta la pared lateral cilíndrica	H	43
Radio de anillo más interno de la superficie de ariete contorneada	R	146

Segundo radio de anillo de superficie de ariete contorneada	r	16
Radio del anillo más externo de la superficie de ariete contorneada	Rc	64

Ejemplo 2

5 Un segundo conjunto de dimensiones ejemplares para una camisa de aleación AA7060 de aro envolvente de fibra de carbono de 2 litros convencional (y las correspondientes dimensiones del molde 4 y del ariete 5 de un aparato de extrusión convencional) (**Configuración A**) y de forma similar para una camisa de aleación AA7060 de aro envolvente de fibra de carbono de 2 litros (y sus correspondientes molde y ariete) (**Configuración B**) conforme a la presente invención, se exponen a continuación.

	Configuración A (mm)	Configuración B (mm)
OD	96,7	96,7
ID	88,5	88,5
a	4,1	4,1
H	22	29,5
R	105	101
r	11	11
Rc	44,4	44,4
a' (en H)	4,08	4,13

10 Los resultados comparativos de la prueba de falla de rendimiento para recipientes de presión fabricados bajo extrusión en frío usando el aparato descrito en el Ejemplo 2 y de camisas de aleación de aluminio 7060 de aro envolvente de 2 litros (**Configuración A**) fabricados usando extrusión en frío y un molde de extrusión hacia atrás convencional, han sido recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1

Configuración A			Configuración B	
Número de ciclos de relleno hasta fallo	Sitio de fallo		Número de ciclos de relleno hasta fallo	Sitio de fallo
11749	0	Muestra 1	20226	2
10954	1	Muestra 2	16255	2
12076	1	Muestra 3	17918	2
9614	0	Muestra 4	15190	3
9820	1	Muestra 5	18680	2
		Muestra 6	15681	2

- 15 Sitio de fallo 0 = fuga, posición desconocida
 Sitio de fallo 1 = rotura en el fondo del cilindro
 Sitio de fallo 2 = fuga en el cuerpo del cilindro, y
 Sitio de fallo 3 = fuga en el escalonamiento

5 Las características de vida útil y de fallo de las camisas de aleación de aluminio 7060 de aro envolvente de 5 litros (**Configuración B**) fabricadas bajo extrusión en frío usando el aparato descrito en el Ejemplo 1 anterior, fueron comparadas con las de las camisas de aleación de aluminio 7060 de aro envolvente de 5 litros (**Configuración A**) fabricadas también usando extrusión en frío, pero con un molde de extrusión hacia atrás convencional. Los resultados en términos de vida útil (número de ciclos de relleno hasta el fallo) y los sitios de fallo se exponen a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2

	Configuración A	Configuración B
Núm. de cilindros de prueba	5	11
Número mínimo de ciclos de relleno hasta el fallo	10736	15343
Número máximo de ciclos hasta el fallo	16513	20000
Número promedio de ciclos hasta el fallo	14067	17754
Sitios de fallo	1 x fuga en cuerpo del cilindro 2 x fuga en parte inferior del cuerpo del cilindro 1 x rotura en la parte inferior del cilindro	10 x fuga en el cuerpo del cilindro 1 x prueba detenida sin fuga

10 Los resultados de las Tablas 1 y 2 muestran claramente una mejora significativa en cuanto a rendimiento de falla en comparación con recipientes de presión convencionales equivalentes.

15 Se realizaron veintisiete recipientes de presión de prueba que tenían el conjunto de dimensiones definido en el Ejemplo 1, hasta su fallo. Cinco grupos, cada uno de ellos con cinco recipientes de presión, se sometieron a una prueba cíclica de presión habiendo tenido cada grupo de recipientes de presión una cantidad diferente de auto-pretensado. Los dos recipientes de presión restantes (que no habían tenido auto-pretensado) fueron sometidos a prueba de estallido. Cada uno de los recipientes de presión de la prueba era un recipiente de presión de aleación de aluminio 7060 de aro envolvente de fibra de carbono de 5 litros, fabricado en un proceso de extrusión hacia atrás en frío usando un molde 4 y un ariete 5 que tenían las dimensiones establecidas en el Ejemplo 1. Los detalles de la cantidad de auto-pretensado para cada grupo de recipientes de presión y los resultados de las pruebas se definen a continuación en la Tabla 3.

20

Tabla 3

Número de muestras de prueba	Presión de auto-pretensado	Valor (BAR)	Granallado interno	Resultados: número promedio de ciclos de relleno hasta el fallo
5	Sin	0	SÍ	14084 (a)
5	Valor aprobado	640	SÍ	18470 (a)
5	Valor aprobado + 10%	704	SÍ	24517 (a)
5	Valor aprobado + 20%	768	SÍ	26116 (b)
5	Valor aprobado	640	NO	15856 (a)
2	Sin	0	NO	Presión de estallido = 832 BAR Volumen de expansión = 512 cm ³

- (a) representa fallo en la pared del cuerpo del cilindro
- (b) representa fallos en diferentes partes del cilindro

5 En las pruebas anteriores, dos de los recipientes de presión sometidos a un 110% de la presión de auto-pretensado y tres de los recipientes de presión sometidos a un 120% de la presión de auto-pretensado mostraron desprendimiento de fibras de carbono de la manga externa.

10 Según se discute en el documento WO96/11759, se sabe que la efectividad del auto-pretensado en cuanto a la mejora del rendimiento a la fatiga es dependiente del diseño del extremo cerrado del recipiente de presión. Por ejemplo, los recipientes de presión con extremos cerrados semiesféricos no presentan mejoras significativas en cuanto rendimiento a la fatiga cuando se someten a auto-pretensado. Por el contrario, se sabe que los recipientes de presión con extremos cerrados en forma de plato semielipsoidal o torisférica proporcionan un rendimiento mejorado con el auto-pretensado. De ese modo, el auto-pretensado ofrece un rendimiento al fallo mejorado para los recipientes de presión que tienen un extremo cerrado unido a una pared lateral cilíndrica mediante una región de nudillo. La presión de auto-pretensado está por lo general entre un 75% y un 95% de la presión de estallido mínima según el estándar relevante. Los cilindros de gas de alta presión de aluminio están normalmente diseñados de modo que el esfuerzo en la pared lateral cilíndrica a la presión de servicio no exceda de la mitad del límite elástico de la aleación, y que la presión de estallido del cilindro sea al menos 2,5 veces la presión operativa. De ese modo, en un cilindro de aleación de aluminio de la serie AA7XXX que tenga, por ejemplo un límite elástico de 450 MPa, el diseño debe ser tal que los esfuerzos de la pared no excedan de 225 MPa.

20 La información de las Tablas 1 a 3 muestra claramente que los recipientes de presión con aro envolvente fabricados según el método y el aparato de la presente invención, se benefician también el auto-pretensado y del granallado, ofreciendo una mejora sorprendente de cuanto al comportamiento de fallo en comparación con los recipientes de presión convencionales equivalentes. Esto permite que los recipientes de presión según el método y el aparato de la presente invención proporcionen un rendimiento de fallo al menos equivalente y potencialmente mejorado a presiones de auto-pretensado más bajas.

25 El análisis de elementos finitos (FEA) de un recipiente de presión de aro envolvente fabricado usando el método y el aparato descritos con anterioridad ha puesto de relieve que el perfil interno del extremo cerrado de los recipientes de presión conforme a la presente invención da como resultado tensiones máximas notablemente más bajas en comparación con recipientes de presión con un perfil interno convencional en el extremo cerrado.

30 Con FEA, la estructura (en este caso el extremo cerrado del recipiente de presión) se rompe en muchas piezas pequeñas (número finito de elementos) de diversos tipos, tamaños y formas. Se supone que los elementos tienen un patrón de deformación simplificado (lineal o cuadrático, etc.) y están conectados en "nodos" situados normalmente en las esquinas o los bordes de los elementos. Los elementos son ensamblados a continuación matemáticamente usando reglas básicas de mecánica estructural, es decir, equilibrio de fuerzas y continuidad de desplazamientos, dando como resultado un gran sistema de ecuaciones simultáneas. Resolviendo el sistema de ecuaciones simultáneas, se puede obtener la configuración deformada de la estructura bajo carga y se pueden calcular las tensiones y deformaciones internas a partir de la configuración deformada.

40 El modelo de elementos finitos (FEM) se basó en una camisa de aleación de aluminio 7060 y una manga de material compuesto de carbono con ID=88,5 combinado con 4 conjuntos diferentes de dimensiones para el perfil superficial interno del recipiente de presión: Análisis 1, Análisis 2, Análisis 3 y Análisis 4. El FEA sometió cada Análisis a las siguientes etapas de carga: presión de auto-pretensado = 600 BAR; presión de servicio = 300 BAR; presión de prueba = 450 BAR y estallido mínimo de diseño = 752 BAR, para identificar la primera tensión principal y la tensión de Von Mises a la presión de prueba de 450 BAR después del auto-pretensado cuyos resultados se exponen en la Tabla 4 que sigue; el Análisis 1 corresponde a un recipiente de presión convencional ajustado para que incorpore tres radios de intersección concéntricos, mientras que el Análisis 4 corresponde a un recipiente de presión fabricado usando el método y el aparato descritos con anterioridad, siendo Análisis 4 una realización particularmente preferida. Los Análisis 2 y 3 se incluyeron solamente con fines comparativos.

Tabla 4

	Primera Tensión Principal (Mpa)	Tensión de Von Mises (Mpa)	H (mm)	R (mm)	r (mm)	Rc (mm)
Análisis 1	318	306	22	105	11	44,2
Análisis 2	323	308	22,125	77,36	8,85	88,5
Análisis 3	285	278	22,125	111,2	14,5	29,5
Análisis 4	241	235	29,5	100,5	11	44,25

5 Las Figuras 5a y 5b muestran las tensiones principales y las tensiones de Von Mises para el Análisis 1, y las Figuras 6a y 6b muestran las tensiones principales y las tensiones de Von Mises para el Análisis 4. Las Figuras 5 y 6 muestran que la ubicación de la tensión máxima en la región de nudillo se mantiene sustancialmente igual para el Análisis 1 y el Análisis 4 (lo mismo es también cierto para el Análisis 2 y el Análisis 3, no representados). Las Figuras 5 y 6 muestran también que para recipientes de presión de Tipo II fabricados usando el método y el aparato descritos en lo que antecede, la tensión máxima de Von Mises se mantiene en la superficie interna del recipiente de presión incluso después del auto-pretensado. Sin embargo, los resultados de la Tabla 4 muestran claramente que el valor absoluto de la primera tensión principal y de la tensión de Von Mises son significativamente más bajas para el Análisis 4 que para cualquiera de los otros Análisis. También el FEA muestra que los factores principales que contribuyen a rebajar la tensión máxima son el valor de H y el de Rc.

10 El método y el aparato que anteceden son particularmente adecuados, aunque sin limitación, para la fabricación por extrusión en frío de recipientes de presión para las series AA6XXX y AA7XXX de aleaciones de aluminio (según el Registro 2009 de la Aluminium Association Inc.) y para las camisas tanto de cilindros de Tipo I como de cilindros de Tipo II, respectivamente, que cumplen los requisitos de fatiga de los estándares de recipientes de presión con aro envolvente, por ejemplo, el EN12257 y el ISO11119-1 y los estándares correspondientes en otras regiones del mundo. Además, con el método y el aparato que anteceden, los cilindros de Tipo II que al menos se emparejan con, y con frecuencia superan, el rendimiento de fallo de cilindros convencionales equivalentes, pueden ser fabricados usando auto-pretensado a presiones más bajas.

15 Se debe entender que las realizaciones descritas con anterioridad son solamente ejemplos seleccionados de realizaciones preferidas. Se pueden introducir cambios en el método de fabricación, en el aparato de fabricación y en los recipientes de presión fabricados mediante el método y el aparato descritos con anterioridad sin apartarse del alcance de la invención según se reivindica en las reivindicaciones que se acompañan.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método de conformación de un recipiente de presión cerrado por un extremo, comprendiendo el método:
 posicionar un lingote (2) de un metal extrudible en un molde (4), teniendo dicho lingote (2) un eje y una superficie delantera;
- 5 usar un ariete (5) con un eje longitudinal de simetría (X), una región de cara extrema (6) y una pared lateral (11) sustancialmente cilíndrica para provocar que el metal se extruda al impulsar la región de cara extrema (6) del ariete (5) hacia la superficie delantera del lingote a lo largo del eje del lingote con el fin de hacer que el metal se extruda en el espacio entre el ariete (5) y el molde (4) y a lo largo de la pared lateral cilíndrica (11) del ariete para formar un extruido, y
- 10 retirar el extruido del molde (4) y conformar el extremo abierto del extruido para formar un escalonamiento y un cuello,
 caracterizado porque la región de cara extrema (6) del ariete (5) tiene un perfil superficial (10) que comprende una sección central (13), al menos un anillo intermedio (14) y un anillo más externo (15) con curvaturas superficiales intersecantes pero diferentes de radios R, r y Rc, respectivamente, conectando la sección central (13), el al menos un anillo intermedio (14) y el anillo más externo (15) un punto central (12), donde la región de cara extrema (6) interseca con el eje longitudinal del ariete (5), con la pared lateral cilíndrica (11) del ariete a una distancia axial H desde el punto central (12), teniendo la distancia axial H un rango de entre 0,28ID a 0,5ID, donde ID es el diámetro en sección transversal de la pared lateral cilíndrica (11) del ariete.
- 15
- 2.- El método según se reivindica en la reivindicación 1, en donde la distancia axial H está en el rango de entre 0,3ID y 0,4ID.
- 20
- 3.- El método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección central (13) tiene un radio de curvatura R comprendido en el rango de entre 0,5ID y 1,2ID.
- 4.- El método según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el al menos un anillo intermedio (14) tiene un radio de curvatura r en el rango de entre 0,1ID y 0,5ID.
- 25
- 5.- El método según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la región de cara extrema (6) del ariete (5) tiene un perfil superficial que incluye al menos dos anillos intermedios (14), cada uno de ellos con un radio de curvatura superficial diferente.
- 6.- El método según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el anillo más externo (15) tiene un radio de curvatura Rc sustancialmente igual a ID/2.
- 30
- 7.- Aparato de extrusión (1) para su uso en la fabricación de un recipiente de presión cerrado por un extremo, comprendiendo el aparato de extrusión (1) un molde (4) para recibir un lingote (2) de un metal extrudible y un ariete (5) que tiene un eje longitudinal de simetría (X), una región de cara extrema (6) y una pared lateral (11) sustancialmente cilíndrica, caracterizado porque la región de cara extrema (6) del ariete (5) tiene un perfil superficial (10) que comprende una sección central (13), al menos un anillo intermedio (14) y un anillo más externo (15) con curvaturas superficiales intersecantes pero diferentes, de radios R, r y Rc, respectivamente, conectando la sección central (13), el al menos un anillo intermedio (14) y el anillo más externo (15) un punto central (12), donde la cara extrema interseca con el eje longitudinal del ariete (5), con la pared lateral cilíndrica (11) del ariete (5) a una distancia axial H desde el punto central (12), teniendo la distancia axial H un rango de entre 0,28ID a 0,5ID, donde ID es el diámetro en sección transversal de la pared lateral cilíndrica (11) del ariete.
- 35
- 8.- El aparato de extrusión según se reivindica en la reivindicación 7, en donde la región de cara extrema (6) del ariete (5) tiene un perfil superficial (10) que incluye al menos dos anillos intermedios (14), cada uno de ellos con un radio de curvatura superficial diferente.
- 40
- 9.- Un recipiente de presión cerrado por un extremo, formado con un metal extrudible, comprendiendo el recipiente de presión un sección extrema cerrada, una pared lateral cilíndrica (11) con un diámetro interno ID en sección transversal, un escalonamiento y un cuello, y teniendo un eje longitudinal de simetría (X), caracterizado porque el perfil superficial interno de la sección extrema cerrada comprende una sección central (13), al menos un anillo intermedio (14) y un anillo más externo (15) con curvaturas intersecantes pero diferentes, de radios R, r y Rc, respectivamente, conectando la sección central (13), el al menos un anillo intermedio (14) y el anillo más externo (15) un punto central (12) donde la sección extrema cerrada interseca con el eje longitudinal (X), con la pared lateral cilíndrica (11) a una distancia axial H desde el punto central (12), teniendo la distancia axial H un rango de entre 0,28ID a 0,5ID.
- 45
- 50
- 10.- El recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en la reivindicación 9, en donde la distancia axial H está en el rango de entre 0,3ID y 0,4ID.

- 11.- El recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 9 ó 10, en donde la sección central (13) tiene un radio de curvatura R en el rango de entre $0,5ID$ y $1,2ID$.
- 12.- El recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, en donde el anillo intermedio (14) tiene un radio de curvatura r en el rango de entre $0,1ID$ y $0,5ID$.
- 5 13.- El recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en donde el perfil superficial interno de la sección extrema cerrada incluye al menos dos anillos intermedios (14), cada uno de ellos con una radio de curvatura superficial diferente.
- 14.- El recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en donde el anillo más externo (15) tiene un radio de curvatura R_c en el rango de $ID/(3\pm 2)$.
- 10 15.- El recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, que comprende una aleación de aluminio de la serie AA6XXX.
- 16.- El recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, que comprende una aleación de aluminio de la serie AA7XXX.
- 15 17.- Un recipiente de presión de material compuesto que comprende un recipiente de presión cerrado por un extremo según se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16 y una manga de un material compuesto.
- 18.- Un recipiente de presión de material compuesto según se reivindica en la reivindicación 17, en donde el material compuesto incluye una o más de entre una fibra de carbono, fibra de basalto, fibra de aramida y fibra de vidrio.

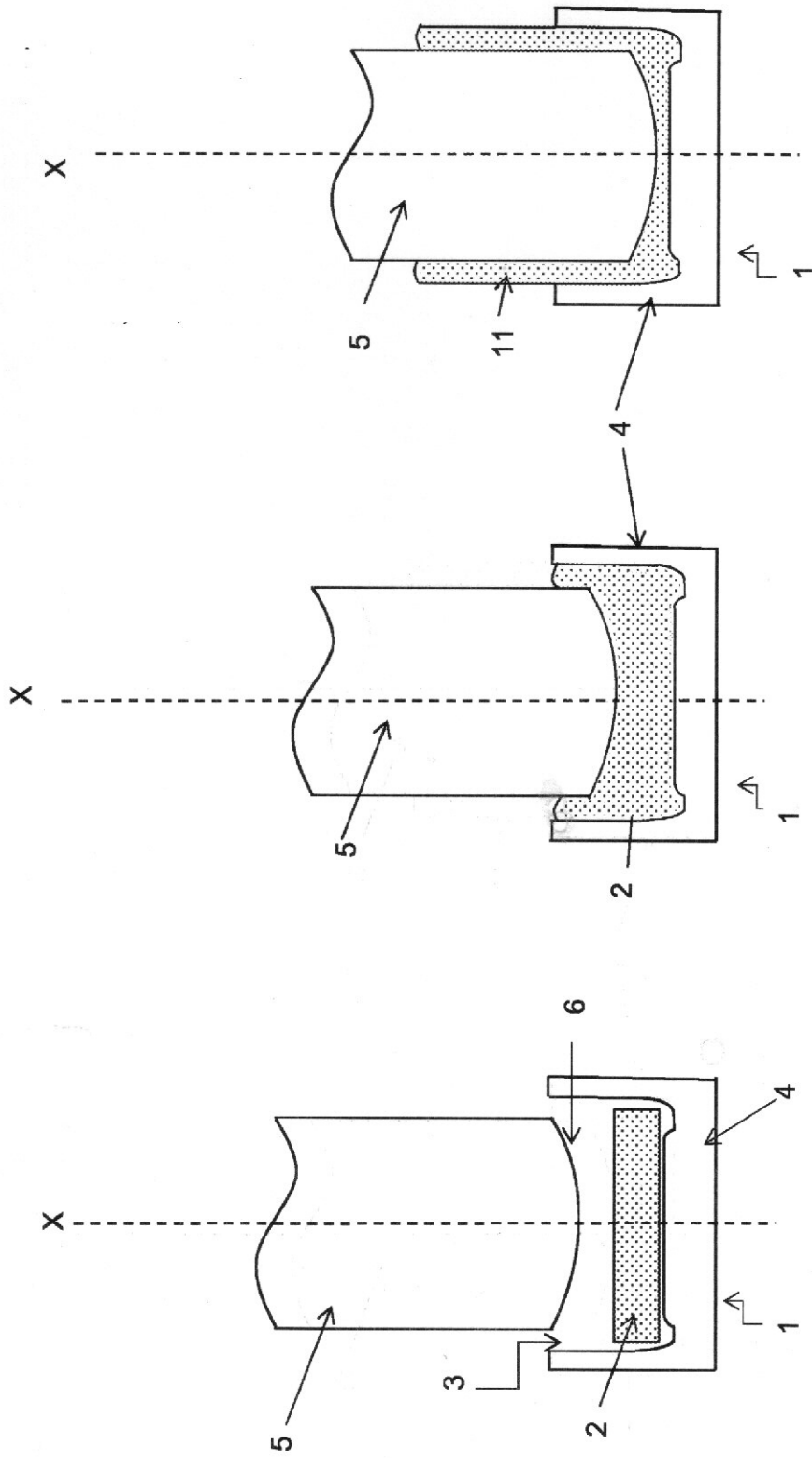


Fig. 1

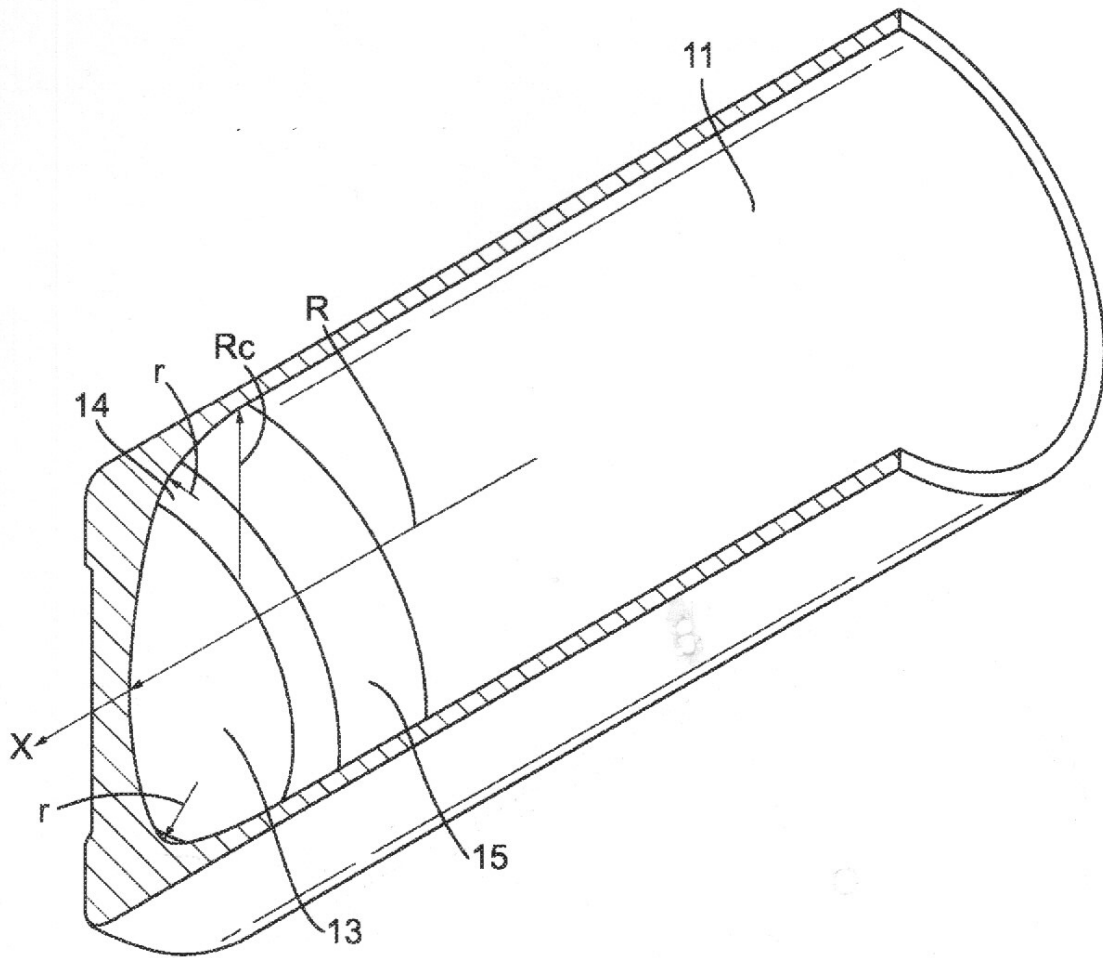


Fig. 2

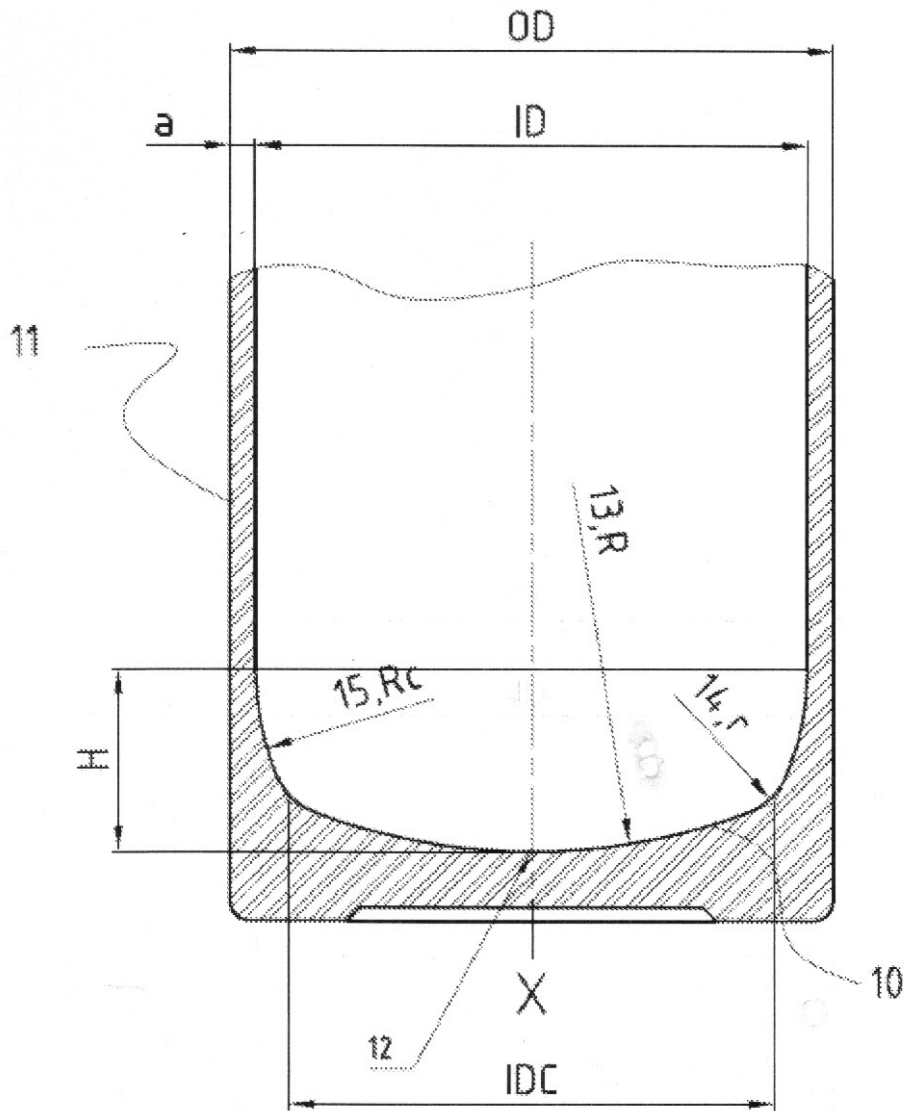


Fig 3

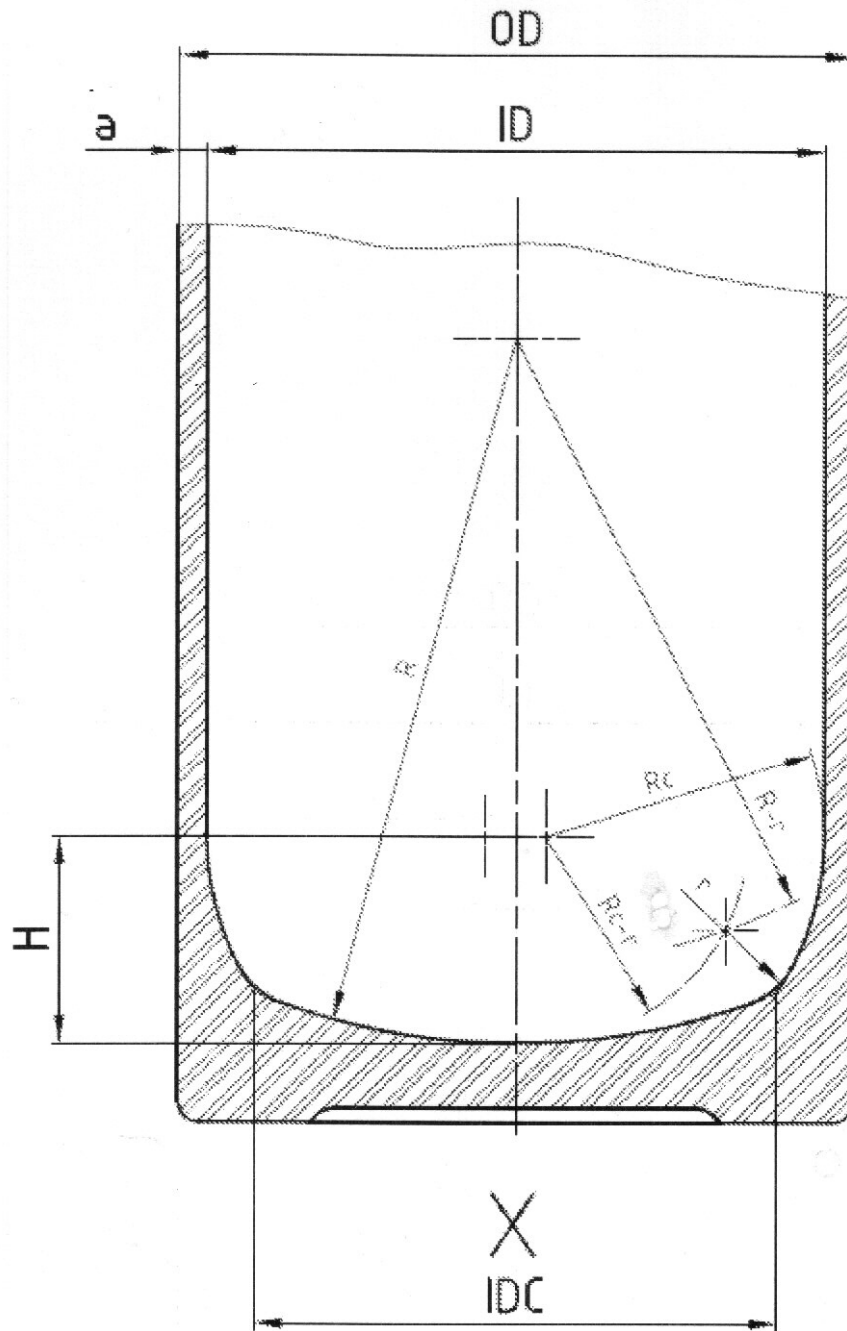


Fig 4

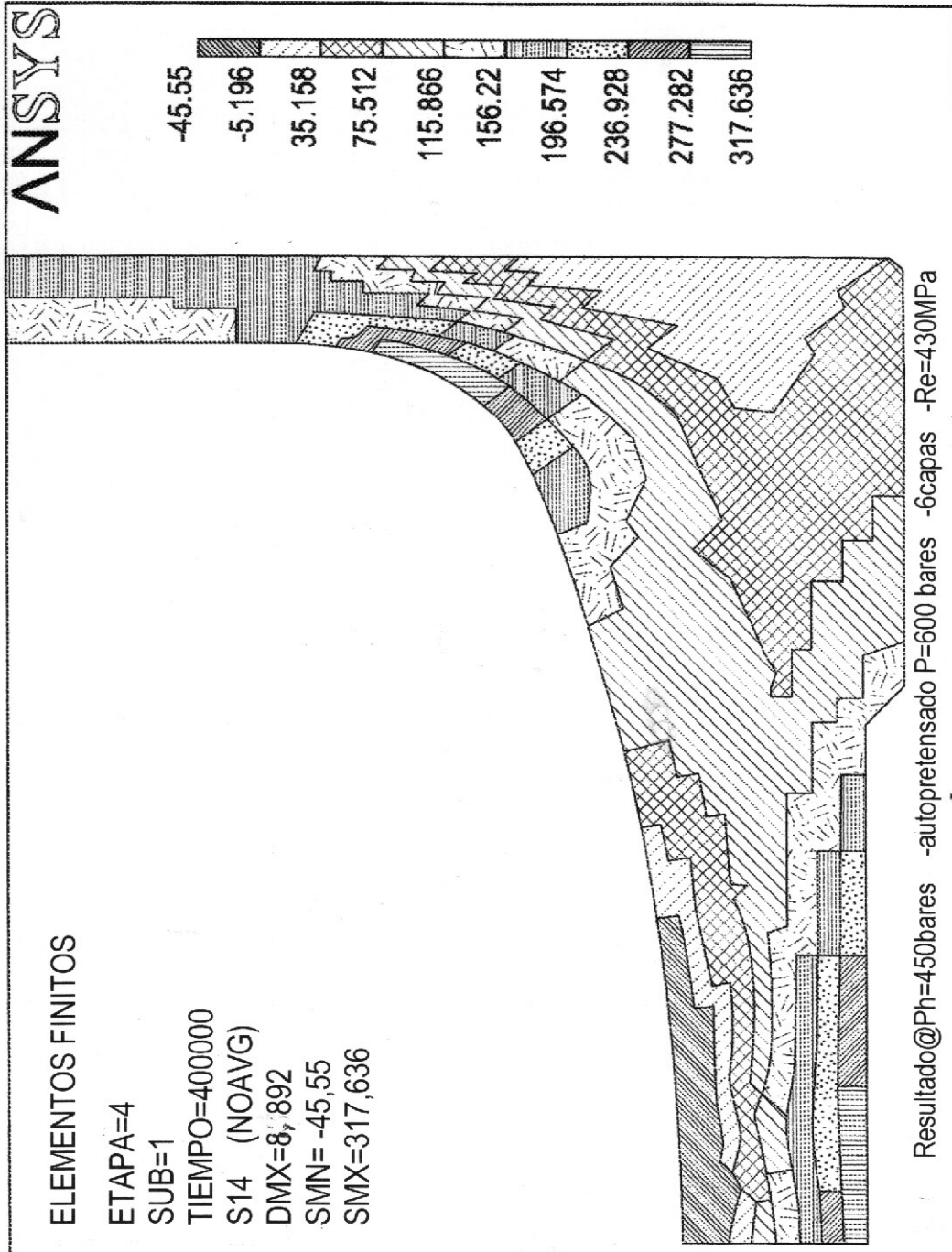


Fig. 5a

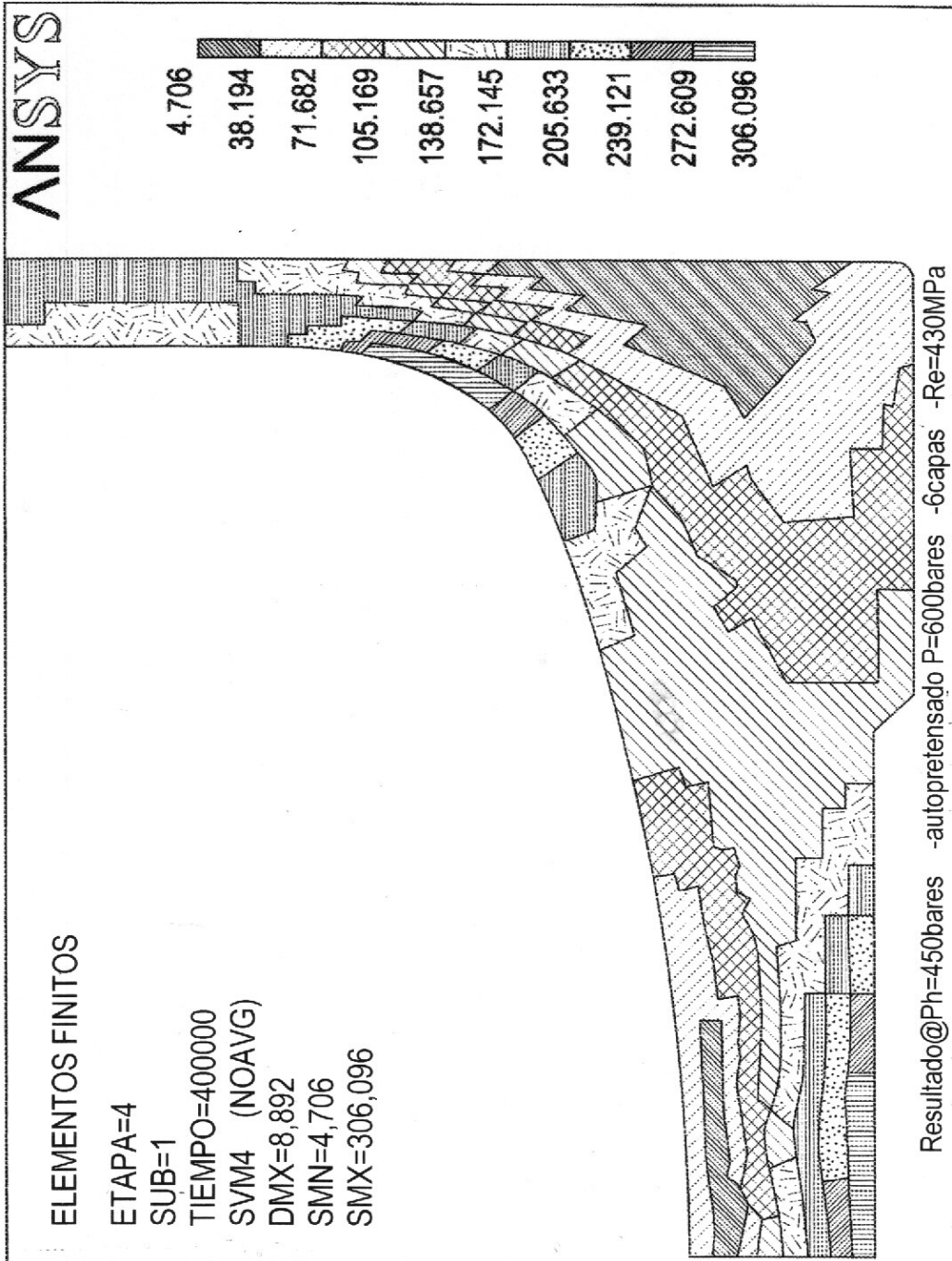


Fig. 5b

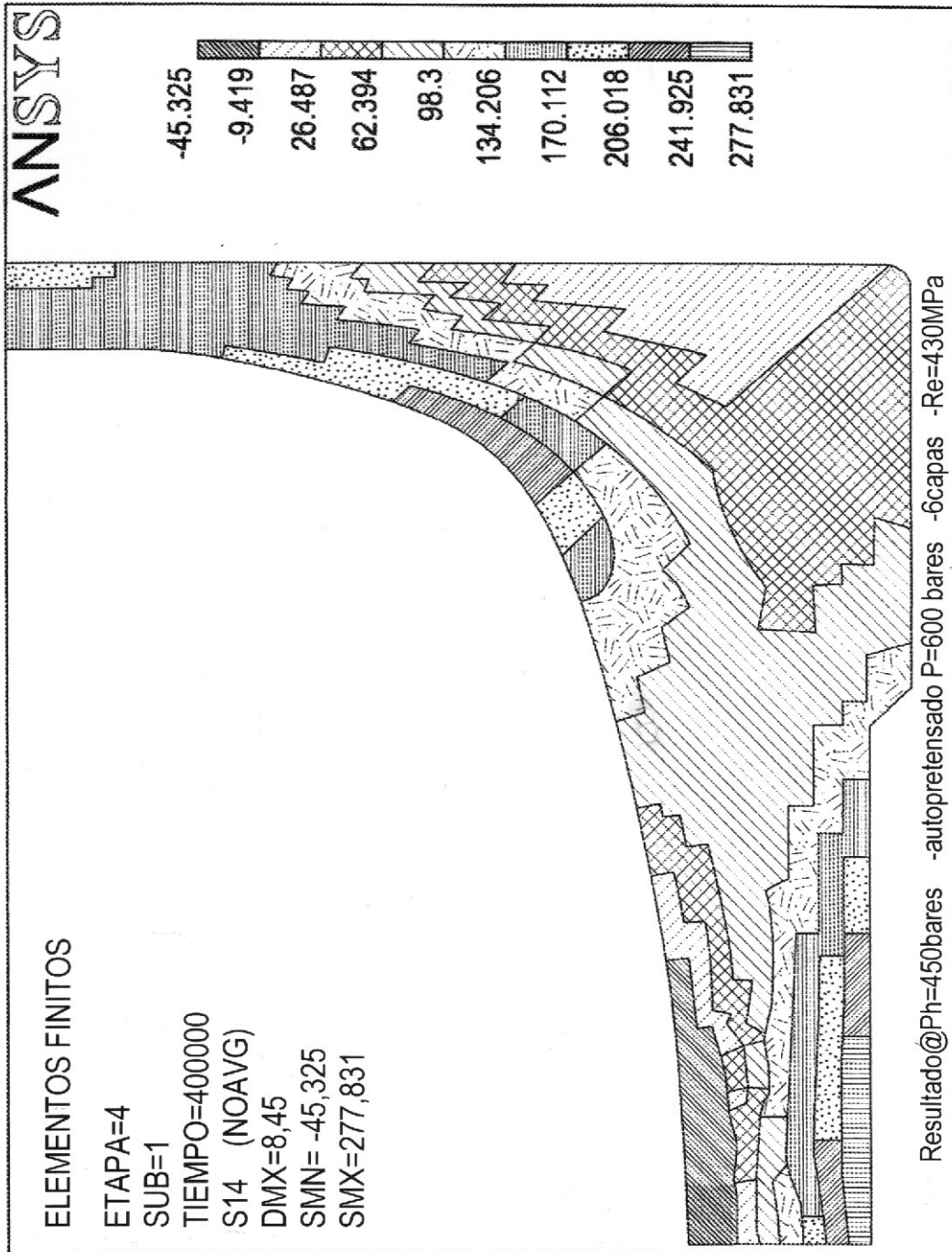


Fig. 6a

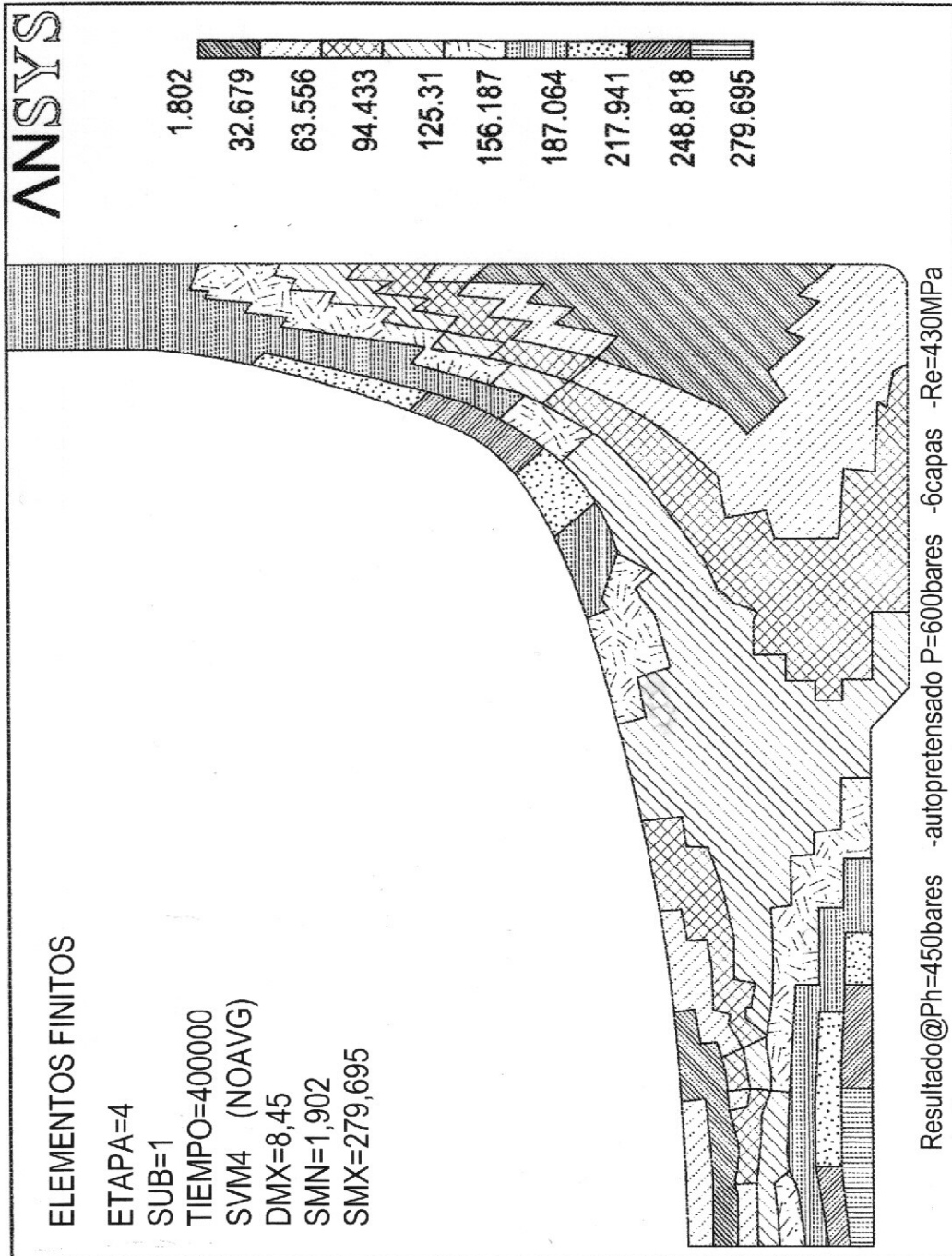


Fig. 6b