

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 511**

51 Int. Cl.:
B24D 7/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **01275139 .2**
96 Fecha de presentación: **14.11.2001**
97 Número de publicación de la solicitud: **1463608**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.10.2004**

54 Título: **Muelas abrasivas con característica de visión de la pieza de trabajo**

30 Prioridad:
09.12.2000 US 254478 P
02.03.2001 US 796941

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.07.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.07.2012

73 Titular/es:
SAINT-GOBAIN ABRASIVES, INC.
1 NEW BOND STREET
WORCESTER, MA 01606-2698, US

72 Inventor/es:
CONLEY, Karen M.;
HAMMARSTROM, Janet L. y
VIGEANT, Bruce E.

74 Agente/Representante:
Lehmann Novo, Isabel

ES 2 384 511 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

Muelas abrasivas con característica de visión de la pieza de trabajo.

Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud provisional US número de serie 60/254,478, presentada el 9 de diciembre de 2000.

- 5 Esta invención se refiere al campo de las muelas abrasivas o rectificadoras y, en particular, esta invención se refiere a muelas rectificadoras que facilitan la observación de una pieza de trabajo durante su rectificado.

10 Las muelas abrasivas (es decir, rectificadoras) se utilizan ampliamente en máquinas rectificadoras convencionales y en rectificadoras angulares manuales. Cuando se utiliza en estas máquinas, la muela se mantiene sujeta por su centro y es hecha girar a una velocidad relativamente alta mientras es presionada contra el trabajo (es decir, la pieza de trabajo). La superficie abrasiva de la muela rectificadora desgasta la superficie del trabajo por la acción de corte colectiva de granos abrasivos de la muela rectificadora.

15 Las muelas rectificadoras se utilizan en operaciones tanto de rectificado de desbaste como de rectificado de precisión. El rectificado de desbaste se utiliza para realizar una rápida retirada de material sin ninguna preocupación particular por el acabado y quemado de la superficie. Ejemplos de rectificado de desbaste incluyen una rápida retirada de impurezas de tochos, la preparación de costuras de soldadura y el corte de supresión de acero. El rectificado de precisión se ocupa de controlar la cantidad de material retirado para conseguir tolerancias dimensionales deseadas y/o un acabado superficial deseado. Ejemplos de rectificado de precisión incluyen la retirada de cantidades precisas de material, el afilado, el perfilado y operaciones de acabado general de superficies, tal como el pulido, y el igualado (es decir, el alisado de cordones de soldadura).

20 Las muelas rectificadoras frontales convencionales o las muelas rectificadoras superficiales convencionales, en las que se aplica la cara generalmente planar de la muela rectificadora a la pieza de trabajo, pueden utilizarse tanto para rectificado de desbaste como para rectificado de precisión, utilizando una rectificadora superficial convencional o una rectificadora angular con la cara planar orientada en un ángulo de hasta aproximadamente 6 grados con relación a la pieza de trabajo. Un ejemplo de una operación de rectificado superficial es el rectificado de una cubierta de fuego de un bloque motor bimetálico, tal como se revela en la patente US No. 5,951,378. Las muelas rectificadoras frontales convencionales o las muelas rectificadoras superficiales convencionales se fabrican a menudo moldeando una mezcla de partículas abrasivas y aglomerante, con o sin refuerzos de fibras, para formar una muela abrasiva monolítica rígida aglomerada. Un ejemplo de abrasivo aglomerado adecuado incluye grano de alúmina en una matriz aglomerante de resina. Otros ejemplos de abrasivos aglomerados incluyen grano de diamante, CBN, alúmina o carburo de silicio en un aglomerante vitrificado o metálico. En las operaciones de rectificado frontal o superficial se utilizan comúnmente diversas formas de muela clasificadas por ANSI (American National Standards Institute). Estos tipos de muela incluyen muelas rectas (Tipo 1 ANSI), muelas cilíndricas (Tipo 2), muelas embutidas (Tipos 5 y 7), muelas de copa recta y abocinada (Tipos 10 y 11), muelas de plato y cazuela (Tipos 12 y 13), muelas rebajadas y/o embutidas (Tipos 20 a 26) y muelas de centro hundido (Tipos 27, 27A y 28). Variaciones de las muelas anteriores, tales como las muelas de Tipo 29 ANSI, pueden ser adecuadas también para rectificado frontal o superficial.

40 Un inconveniente asociado con las muelas rectificadoras frontales o rectificadoras superficiales convencionales es que el operador no puede ver la superficie de la pieza que se está rectificando durante la operación real; el operador solamente puede ver material que no está cubierto por la muela. A menudo, es difícil realizar una operación precisa sin inspeccionar repetidamente el trabajo en progreso para alcanzar más exactamente una aproximación al resultado deseado. Las herramientas manuales, tales como las rectificadoras angulares, no pueden ser reaplicadas con precisión, por lo que una inspección repetida no es una buena opción para realizar un trabajo cuidadoso.

45 Una muela que tenga perforaciones se convierte en semitransparente cuando se la hace girar a una velocidad de moderada a alta debido a la persistencia de la imagen en la retina del ojo humano; éste es el efecto de "persistencia de visión". La imagen vista a través de una muela perforada en rotación es realizada adicionalmente si existe un contraste en luz y/o color entre la muela en rotación y su plano de fondo y/o su primer plano. Para aumentar la anchura de la "ventana" o el efecto de visión al través cuando se hace girar una muela, las perforaciones se diseñan usualmente de modo que se superpongan una a otra. Muelas lijadoras abrasivas que hacen uso de este fenómeno se muestran, por ejemplo, en las patentes US Nos. 6,159,089, 6,077,156, 6,062,965 y 6,007,415.

50 Debido a las presuntas consecuencias catastróficas de la rotura de muelas monolíticas de material compuesto de resina/grano y/o de la penetración de salientes en aberturas grandes, el uso de tales "ventanas" ha estado limitado hasta la fecha a cuchillas de corte de cuerpo metálico de múltiples componentes y/o a muelas lijadoras flexibles.

Por tanto, existe la necesidad de una herramienta y/o un método mejorados para el rectificado superficial.

55 Según una realización de esta invención definida en la reivindicación 1, se proporciona una muela abrasiva para rotación operacional alrededor de su eje a fin de retirar material de una pieza de trabajo. La muela abrasiva incluye

- una abertura de montaje, una matriz que contiene grano abrasivo y una periferia que define un cilindro notional durante la rotación operacional. La muela incluye al menos un hueco que se extiende axialmente a través de la matriz, de modo que, durante la rotación operacional, el hueco define una ventana notional a través de la cual puede verse la pieza de trabajo. La muela es también sustancialmente monolítica y tiene una flexibilidad en el rango de aproximadamente 1-5 mm en la dirección axial en respuesta a una carga axial aplicada de 20 N.
- Otro aspecto de la presente invención incluye un método de fabricación de una muela abrasiva de la reivindicación 1 que es operacionalmente rotativa alrededor de su eje para retirar material de una pieza de trabajo. El método incluye proporcionar una matriz que contiene grano abrasivo y transformar la matriz en una muela. El método incluye también formar al menos un hueco que se extiende axialmente a través de la matriz, de modo que, durante la rotación operacional, el hueco defina una ventana notional a través de la cual puede verse la pieza de trabajo. La muela se conforma como un monolítico y se dimensiona, perfila y conforma de modo que tenga una flexibilidad en el rango de aproximadamente 1-5 mm en la dirección axial en respuesta a una carga axial aplicada de 20 N.
- Las anteriores y otras características y ventajas de esta invención resultarán más fácilmente evidentes por la lectura de la siguiente descripción detallada de diversos aspectos de la invención tomada en unión de los dibujos que se acompañan.
- La figura 1 es una vista en planta desde abajo (lado de la cara rectificadora) de una muela rectificadora de perímetro perfilado de la presente invención;
- La figura 2 es una vista en alzado lateral tomada a lo largo de 2-2 de la figura 1;
- Las figuras 3-9 son vistas similares a la de la figura 1 ilustrando diversas realizaciones alternativas de una muela rectificadora según la presente invención, con agujeros pasantes opcionales mostrados en línea de trazos;
- La figura 10 es una vista similar a la de la figura 2, aunque en una orientación invertida y a escala ampliada;
- Las figuras 11-14 son gráficos y un diagrama de barras que muestran las prestaciones esperadas de diversas muelas de la técnica anterior en comparación con la presente invención;
- Las figuras 15 y 16 son vistas en planta y en alzado lateral, respectivamente, de una realización alternativa de la presente invención;
- Las figuras 17 y 18 son vistas en planta y en alzado lateral, respectivamente, de otra realización de la presente invención;
- Las figuras 19-21 son vistas en alzado lateral de realizaciones adicionales de la presente invención;
- Las figuras 22-25 son vistas similares a la de la figura 1 mostrando realizaciones alternativas de la presente invención; y
- La figura 26 es una representación gráfica de resultados de ensayos de diversas realizaciones de la presente invención en comparación con muelas de la técnica anterior.
- Haciendo referencia a las figuras presentadas en los dibujos que se acompañan, se describirán seguidamente con detalle las realizaciones ilustrativas de la presente invención. Para mayor claridad de exposición, las características iguales mostradas en los dibujos que se acompañan se indicarán con números de referencia iguales y las características similares mostradas dentro de realizaciones alternativas en los dibujos se indicarán con números de referencias similares.
- Tal como se utiliza en esta memoria, el término “muela” se refiere a un artículo monolítico (definido más abajo) que está adaptado para montarse sobre un husillo o mandril rotativo. No se limita aquí a formas puramente circulares o cilíndricas. Incluye artículos capacitados para uso con una rectificadora superficial o una rectificadora angular.
- Los términos “intersticio” y “ranura” se refieren de manera intercambiable a una indentación o rebajo que se extiende completamente a través de un objeto en al menos una dirección, al tiempo que está rodeado incompletamente por el material del objeto. Incluyen configuraciones en las que el borde exterior circular de una muela carece de un segmento (definido más abajo) o una porción del mismo, o parece haber sido obtenido moviendo (nacionalmente) una “abertura” hasta una porción de la abertura extendida más allá del borde.
- Análogamente, “agujero” incluye una indentación, rebajo o abertura, con independencia de su forma o geometría específica, que se extiende completamente a través de un objeto en al menos una dirección, al tiempo que está completamente rodeado por el material del objeto.
- Los “intersticios”, “ranuras” y/o “agujeros” se mencionan aquí colectivamente como “huecos”.
- “Monolítico” y/o “monolito” se refieren a un objeto formado como una sola unidad integral, tal como por moldeo (por

- ejemplo, colada). Ejemplos de muelas rectificadoras monolíticas incluyen muelas rectificadoras abrasivas aglomeradas tanto sin reforzar como reforzadas. Ejemplos de refuerzos típicos incluyen fibras, tal como de vidrio o carbono, o una placa de soporte conformada como una capa discreta de la muela rectificadora, es decir, moldeando la capa in situ con el aglomerante y el material abrasivo. Como alternativa, el refuerzo puede incluir fibras u otros materiales mezclados de manera sustancialmente homogénea con el aglomerante y el material abrasivo. Tal como se utilizan en esta memoria, “monolítico” y “monolito” excluyen específicamente discos lijadores convencionales que incluyan una hoja de papel lija fijada de manera separable a una placa de respaldo, y excluyen también muelas metálicas que tengan una capa de grano abrasivo soldada o electrochapada sobre la llanta de la muela.
- 5 “Rectificado” se utiliza aquí para referirse a cualquier operación de abrasión o acabado en la que se trate la superficie de una pieza de trabajo para retirar material o alterar la rugosidad.
- 10 “Segmento” significa una porción de un círculo que está entre el perímetro y una cuerda.
- “Axial” o “dirección axial” se refiere a una dirección que es sustancialmente paralela al eje de rotación de una muela. Análogamente, “transversal”, “dirección transversal” o “plano transversal” se refiere a una dirección o plano que es sustancialmente ortogonal a la dirección axial.
- 15 El término “margen” incluye el borde y/o la superficie radialmente más exteriores de una muela o cilindro notional conformados por rotación de una muela. El margen de una muela incluye cualquier intersticio o ranura dispuestos en el mismo.
- El término “periferia” de una muela incluye todas las superficies exteriores de una muela, incluyendo el margen, la cara rectificadora y la cara opuesta (por ejemplo, no rectificadora).
- 20 Brevemente descrito, como se muestra en las figuras, la invención incluye una muela rectificadora abrasiva monolítica que tiene un perfil de perímetro irregular (es decir, con intersticios) y/o una serie de agujeros que se extienden a su través, para permitir que se vea la superficie de una pieza de trabajo que se está rectificando en operaciones convencionales de acabado superficial, allanado y/o igualado de soldaduras asociadas típicamente con operaciones de rectificado frontal o superficial. Como se muestra, por ejemplo, en las figuras 1-4, las muelas rectificadoras 110, 310 y 410 incluyen cada una de ellas uno o más intersticios 112, 312 y 412 dispuestos en relación espaciada alrededor del perímetro por lo demás circular de la muela. Estas muelas pueden incluir también agujeros de visión, tal como los agujeros 322 mostrados en línea de trazos en la figura 3. Como alternativa, las muelas pueden estar provistas de agujeros, sin ningún intersticio periférico, tal como se muestra en las figuras 22-24. Haciendo referencia a las figuras 1 y 22, se pueden utilizar tres intersticios 112 o agujeros 2222 equidistantes del centro, pero son posibles otras muchas combinaciones. Los intersticios y/o agujeros pueden configurarse con muchas formas diversas y pueden ser redondeados (por ejemplo, achaflanados) para evitar el uso de esquinas agudas o estrechas y reducir cualquier tendencia a la propagación de grietas. Las posiciones de los intersticios y/o los agujeros pueden seleccionarse de modo que se retenga el equilibrio de la muela. La muela puede equilibrarse dinámicamente retirando material de los bordes de los intersticios.
- 25 30 Los intersticios y/o los agujeros permiten que las muelas se vuelvan semitransparentes cuando se las hace girar alrededor de sus ejes 116, 316 y 416 a una velocidad de moderada a alta debido al efecto de “persistencia de visión” anteriormente mencionado. Así, cuando se hacen girar las muelas alrededor de sus ejes, tal como en la dirección indicada por las flechas 114, 314 y 414, un individuo o una máquina (es decir, un operador de la máquina rectificadora o un sistema de visión de la máquina) estarán capacitados para vigilar la condición de la superficie de la pieza de trabajo a medida que va siendo erosionada, sin retirar la muela rectificadora de la superficie. Se sospecha que los intersticios y/o los agujeros pueden servir también ventajosamente para mejorar el flujo de aire y reducir el área de contacto de fricción a fin de permitir que la superficie de la pieza de trabajo permanezca significativamente más fría que cuando se utiliza una muela rectificadora de perímetro circular de la técnica anterior.
- 35 40 Se han dispuesto intersticios y/o agujeros de visión en discos lijadores convencionales, es decir, los que utilizan una hoja generalmente circular de papel lija fijada a un soporte sustancialmente rígido, tal como se describe en la publicación '521 anteriormente referenciada. Sin embargo, éstos no se han utilizado en muelas rectificadoras abrasivas aglomeradas monolíticas. Debido a la concentración de esfuerzos relativamente alta generada cerca del centro de la muela durante las operaciones de rectificado, se sospechaba que la disposición de aberturas que se extendieran a través de tales muelas generaría una pérdida inaceptable de resistencia de la muela. Sin embargo, se ha descubierto que con los diseños de muela apropiados es posible colocar aberturas de visión (es decir, agujeros) en la superficie rectificadora plana de estas muelas.
- 45 50 Además, se ha demostrado en ensayos que están infundados los temores ilustrados por lo que está disponible en la técnica anterior, es decir que los intersticios del perímetro podrían atrapar salientes de la superficie de trabajo, o pueden generar concentraciones de esfuerzos que causarían finalmente el fallo de la muela. Como se describirá seguidamente en mayor detalle con respecto a la figura 10, la velocidad de rotación relativamente alta junto con, opcionalmente, el destalonado de los intersticios y/o el realzado de los bordes traseros 120 de los intersticios 112 y/o los agujeros 322, 622, etc., parece ser adecuada para impedir que un saliente entre en los intersticios de una muela
- 55

que gira a velocidades rotacionales convencionales.

Las observaciones hechas durante el uso y el desarrollo de la presente invención indican que puede conseguirse, en parte, un incremento de la eficiencia y las prestaciones en la operación de rectificado mediante la creación de una turbulencia de aire entre la superficie abrasiva en rotación y la superficie o el material de trabajo que está siendo erosionado para generar un efecto de refrigeración. Puede haber también un beneficio derivado de un corte intermitente – permitiendo que transcurra una pequeña medida de tiempo entre intervalos de corte. Existe un “tiempo de reposo” que se presenta varias veces durante cada revolución de una de nuestras muelas rectificadoras mejoradas. Se ha determinado que se consiguen los mejores resultados disponiendo intersticios en lugares equidistantemente espaciados alrededor del margen de la muela, de modo que, nominalmente, esta muela está uniformemente equilibrada.

Haciendo referencia a las figuras, se describirán ahora con mayor detalle muelas rectificadoras de la presente invención. Con la excepción de los intersticios y/o los agujeros, las muelas pueden fabricarse como muelas abrasivas industriales estándar aglomeradas, orgánicas o inorgánicas, en los Tipos 1, 2, 5, 7, 10-13, 20-26, 27, 27A, 28 y 29 antes mencionados. Las muelas pueden fabricarse también como híbridos de las muelas de Tipo 27 y Tipo 28, tal como las mostradas y descritas en esta memoria con respecto a las figuras 15-19 (mencionadas más adelante como muelas “híbridas de Tipo 27/28”). Estas muelas pueden fabricarse también con o sin un refuerzo convencional de fibra o de placa de soporte y con diámetros convencionales. Ejemplos de material aglomerante orgánico incluyen resina, caucho, goma laca u otro agente aglomerante similar. El material aglomerante inorgánico incluye arcilla, vidrio, fritada, porcelana, silicato sódico, oxocloruro magnésico o metal. Se pueden utilizar técnicas convencionales de fabricación de muelas rectificadoras, tal como, por ejemplo, moldeo. Ejemplos específicos de técnicas convencionales de fabricación de muelas rectificadoras, modificadas de acuerdo con la presente invención, se describen seguidamente con mayor detalle.

En las figuras 1 y 2 se muestra una configuración típica de una muela de la presente invención. La figura 1 es una vista en planta desde abajo, es decir, una vista mirando a la cara rectificadora plana de la muela. Como se muestra, la muela 110 incluye tres intersticios 112 y un agujero de montaje central convencional 111.

Los intersticios pueden configurarse en una serie cualquiera de tamaños y formas y en cualquier número razonable. Por ejemplo, en las figuras 1-5, 8 y 9 se muestran diversas muelas de tres intersticios. En las figuras 6 y 7 se muestran realizaciones de cuatro intersticios y en la figura 8c se muestra una versión de cinco intersticios. Se puede utilizar también una muela de un intersticio (con un segmento de equilibrado retirado de un borde) (no mostrado).

Volviendo ahora a la figura 3, los intersticios 312 pueden ser asimétricos para proporcionar a la muela 310 un perímetro generalmente escalonado o festoneado. Como se muestra, los intersticios 312 incluyen un borde delantero 318 que se extiende radialmente hacia dentro desde un radio más exterior r_{max} de la muela bajo un ángulo relativamente empujado α (es decir, sustancialmente ortogonal) con relación a una tangente 319 en r_{max} . El borde delantero 318 transiciona hacia un borde trasero 320 con un radio inicial (r_{min}), que transiciona gradualmente (es decir, bajo un ángulo tangencial decreciente relativamente pequeño β) hacia el radio más exterior r_{max} . Este radio graduado del borde trasero 320 tiende ventajosamente a reducir la probabilidad de que la muela sea capturada en bordes afilados, etc. de una pieza de trabajo. Este radio graduado puede utilizarse también en combinación con un realzado del borde trasero fuera del plano con la cara rectificadora, tal como se discute seguidamente con respecto a la figura 10.

Volviendo a la figura 4, se muestra una variación de los intersticios asimétricos. En esta realización la muela 410 está provista de intersticios 412 que proporcionan a la muela un perímetro generalmente semejante a dientes de sierra. De una manera similar a la de la muela 310, el borde trasero 420 de la muela 410 se extiende preferiblemente bajo un ángulo β' que es inferior a 90 grados.

La figura 5 muestra dos variaciones adicionales de intersticios simétricos 512' y 512'' (figuras 5a y 5b) y otra realización que tiene intersticios asimétricos 512''' (figura 5c).

Las figuras 6-9 muestran otras realizaciones de muelas 610, 710, 810, 810', 810'' y 910 que tienen intersticios 612, 712, 812, 812', 812'' y 912, respectivamente, definidos como segmentos ausentes o retirados de las muelas. Estos segmentos pueden ser rectos (612 y 812), curvos (812') o semejantes a dientes de sierra (812'' y 912). Puede haber un segmento dirigido hacia arriba, aunque se prefieren tres o cuatro y son factibles cinco (véase 810'') o más.

Además, los bordes de la cara rectificadora a lo largo del borde trasero del intersticio pueden estar provistos de porciones de borde achaflanadas (denominadas aquí también “puntas de ala”), tal como en 626, 726, 826 y 926. Estas puntas de ala pueden incrementar el flujo de aire entre la muela y el material que se está erosionando, así como reducir el impacto del contacto de la llanta de una manera similar a la de los bordes traseros realzados de la figura 10. Las puntas de ala pueden incluir además, unas paletas deliberadamente conformadas en el borde de la muela, las cuales pueden utilizarse para dirigir o canalizar el aire alrededor de la circunferencia de la muela lijadora. Éstas pueden utilizarse en conjunción con una “falda” de contención de aire alrededor del protector de la rectificadora angular de modo que se expulse el polvo en una dirección y no en todas las direcciones. Se puede

instalar un dispositivo colector de polvo o barro de amolado de modo que se retenga una proporción sustancial del polvo o el barro de amolado.

VISION

5 Como se ha discutido anteriormente, los intervalos o ranuras 112, 312, 412, ... de la muela permiten ventajosamente que un usuario vea la pieza de trabajo a erosionar a través de la muela en rotación mientras está usando la rectificadora. En este aspecto, es muy útil que se pueda ver y vigilar la acción de abrasión mientras ésta se encuentra en progreso. Como se ha discutido también, la mayoría de las muelas rectificadoras no permiten que se vea lo que ocurre durante la abrasión. La anatomía de una rectificadora superficial o angular convencional no permite generalmente que se vea a través de la porción exterior de la muela en rotación, y las muelas de la presente invención se han desarrollado para superar este inconveniente. Si se realiza el rectificado con una muela opaca convencional, el operador tiene que hacer una serie de abrasiones de ensayo, retirando cada vez la herramienta para ver el resultado, y cuando la tarea está cerca de completarse, estas pausas de inspección tienen que ser cada vez más frecuentes. El proceso de terminación de la tarea es una especie de aproximación sucesiva, y existe la posibilidad de que el proceso de abrasión se lleve demasiado lejos. Utilizando la presente invención, el operador puede realizar una operación de abrasión en una aplicación de la herramienta al trabajo y existe poco riesgo de llevar la abrasión demasiado lejos.

Puede ser sorprendente que la presencia de estos intersticios y/o agujeros en la muela no permita (como podría esperarse) que se enganchen objetos sobresalientes con el intersticio y se provoque una disrupción catastrófica del proceso de rectificado.

20 Las muelas de la presente invención se colorean preferiblemente de negro a fin de resaltar el contraste visual para una persona que mire a través de una muela en rotación y que confíe en la persistencia de la visión para ver la pieza de trabajo situada detrás. Este color es menos obstrusivo que el blanco, el cual tiende a dar como resultado un agrisamiento de una visión de una superficie de trabajo vista a través de una muela blanca o de otro color claro. Como resultado, el trabajo situado detrás de la muela puede verse justamente hasta el borde de la muela, si el segmento retirado en un sitio se solapa con un intersticio en otra parte de la muela, y así la porción de trabajo completa de la muela "se agrisa" durante el uso.

REFRIGERACIÓN POR AIRE

30 Se espera que pueda haber una corriente detectable de aire emergiendo semitangencialmente alrededor de una muela en rotación hecha de acuerdo con la invención y girada a las 8000-11000 revoluciones típicas por minuto características de una rectificadora angular de 4,5 pulgadas/115 mm. Parece que los intersticios destalonados generan una turbulencia significativa de aire en la superficie abrasiva y el barro de amolado tiende a ser expulsado radialmente hacia fuera.

35 Volviendo ahora a la figura 10, el intersticio 112 (y/o los agujeros de visión discutidos seguidamente) puede ser destalonado según se muestra. Por conveniencia, la discusión siguiente se referirá específicamente a intersticios, aunque ha de entenderse que la discusión se aplica también plenamente a cualquiera de los agujeros de visión discutidos en esta memoria. La dirección de rotación preferida de la muela 110 se indica por la flecha 14 y la cara rectificadora abrasiva está hacia abajo, como se muestra en la figura. El borde delantero 118 de un intersticio 112 está inclinado (con relación a la dirección axial) para formar un ángulo agudo con la porción más próxima (es decir, adyacente) de la cara rectificadora abrasiva, mientras que el borde trasero 120 está inclinado de modo que se forme un ángulo obtuso con relación a la porción adyacente de la cara rectificadora. (La superficie trasera 120' de la figura 10b muestra un perfil de destalonado adicional que puede utilizarse para minimizar aún más el riesgo de que la muela se enganche en un saliente).

45 Incluso sin un destalonado real de los propios intersticios, existe generalmente una turbulencia de aire significativa y útil generada por el movimiento de las aberturas de la placa de respaldo cuando la muela gira a una alta velocidad, lo que ventajosamente tiende a refrigerar la pieza de trabajo.

50 Este efecto puede incrementarse destalonando los intersticios 112 según se muestra, ya que el aire tiende a ser transportado hasta la superficie de la pieza de trabajo, según se muestra por la flecha 1030 (figura 10a). Este flujo de aire puede ayudar a refrigerar el trabajo, soplar el polvo/barro de amolado alejándolo del sitio de abrasión y retirar partículas abrasivas rotas del área de trabajo. Este efecto puede incrementarse aún más realzando el borde trasero 120' para formar una tolva de aire según se ilustra en la figura 10b. Puede haber perfectamente una compresión significativa del aire a medida que éste alcanza la superficie que se está erosionando. El aire puede actuar también como una especie de cojinete, forzándose a sí mismo por entre la muela en rotación y el trabajo estacionario de una manera análoga a un cojinete neumático. En este caso, se puede generar en la superficie del trabajo una turbulencia que ayude a la retirada del barro de amolado.

55 Aun cuando hemos observado que hay poca probabilidad de enganche de un objeto sobresaliente en el borde trasero de un intersticio o similar (parcialmente porque hay un nuevo intersticio presentado durante el uso (10000

rpm) en aproximadamente cada 2 ms), la configuración mostrada en la figura 10 tiende a ayudar a minimizar el riesgo (tal como cuando se está decelerando la herramienta) al proporcionar una pendiente suave para que se desvíe el objeto en lugar de una esquina abrupta.

Además de las discutidas anteriormente, las muelas abrasivas de la presente invención pueden practicarse en forma de diversas realizaciones alternativas. Por ejemplo, como se ha mencionado brevemente más arriba, cualquiera de las muelas antes mencionadas puede estar provista de uno o más agujeros de visión 322, 622, 722, etc., mostrados en líneas de trazos en las figuras 3, 6 y 7, etc., bien como adición a los intersticios o ranuras 112, 312, 412, ... o bien en combinación con ellos. Además, la presente invención puede incluir agujeros de visión sin utilizar intersticios periféricos, tal como ocurre con las muelas 2210, 2310 y 2410 de las figuras 22-24 y según se revela en la solicitud provisional anteriormente referenciada (la solicitud '478) y en la solicitud de patente japonesa No. 11-159371, titulada "Muela rectificadora flexible decalada con agujeros de visión para observación de superficies de rectificado". Estos agujeros de visión puede ser de sustancialmente cualquier configuración, incluyendo circular (es decir, mostrada en las figuras 3, 9 y 22) y no circular (es decir, agujeros ovalados 2322 y 2422 de las figuras 23 y 24). Haciendo ahora referencia a las figuras 23 y 24 con mayor detalle, en caso de que se utilicen agujeros ovalados u oblongos, los agujeros pueden orientarse en cualquier orientación deseada. Por ejemplo, como se muestra en la figura 23, los agujeros 2322 pueden disponerse con sus ejes longitudinales (en el plano transversal) extendiéndose en la dirección radial. Como alternativa, según se muestra en la figura 24, los ejes longitudinales pueden disponerse bajo un ángulo de decalaje y con la dirección radial. En el ejemplo mostrado el ángulo γ es de aproximadamente 45 grados. Los ensayos realizados han demostrado que las muelas fabricadas con agujeros oblongos tienen una resistencia sustancialmente incrementada con relación a muelas similares fabricadas con agujeros circulares de un diámetro igual a la dimensión longitudinal de los agujeros ranurados. Además, la orientación de los agujeros ranurados bajo un ángulo γ de 45 grados mejoraba aún más la resistencia de la muela, tal como se discute con mayor detalle en los ejemplos siguientes.

Además, cualquiera de los agujeros de visión 322, 622, etc. antes mencionados puede ser destalonado según se ha mencionado anteriormente con respecto a las figuras 2 y 10 y como se muestra en línea de trazos en las figuras 6, 7 y 8a. Como se ha mencionado también, los agujeros de visión funcionan de manera sustancialmente similar a la de los intersticios antes mencionado para permitir que un usuario vea una pieza de trabajo a su través durante una operación de rectificado.

El número y localización del agujero o agujeros 322, 622, etc. se seleccionan preferiblemente de modo que se mantenga un equilibrio de la muela. Aunque puede ser posible disponer un solo agujero de visión y perfilar la muela de modo que se mantenga este equilibrio rotacional, es generalmente preferible prever una pluralidad de agujeros dispuestos en relación espaciada alrededor del eje de rotación de las muelas a fin de proporcionar el equilibrio deseado de la muela. Se puede utilizar cualquier número de agujeros, dependiendo del diámetro de la muela y del tamaño de los agujeros. Por ejemplo, las muelas con un diámetro más exterior de 6 pulgadas pueden incluir de tres a seis agujeros, mientras que las muelas de mayor diámetro (es decir, muelas de 9 a 20 pulgadas) pueden incluir 10 a 20 o más agujeros. Las muelas pueden equilibrarse dinámicamente retirando material del margen de la muela. En ejemplos de realización particulares los agujeros de visión pueden formarse dentro de un área entre al menos un 60 por ciento del radio del cilindro notional definido por la rotación de la muela y al menos aproximadamente 2 mm con respecto al margen de la muela.

Aunque la presente invención puede materializarse sustancialmente cualquier tipo o configuración de muela rectificadora, se la implementa deseablemente en las comúnmente conocidas como "muelas delgadas", que comprenden grano abrasivo contenido en una matriz aglomerante, típicamente una matriz de resina orgánica. Tal como se utiliza en esta memoria, el término "muela o muelas delgadas" se refiere a muelas que tienen un espesor t (en la dirección axial) que es menor o igual que aproximadamente un 18 por ciento del radio r del cilindro notional (es decir, $t < o = 18\%$ de r). Las muelas delgadas incluyen, por ejemplo, muelas que tienen un espesor t que va de aproximadamente 1/8 de pulgada hasta aproximadamente 1/4 a 1/2 de pulgada, dependiendo del diámetro (más exterior) de la muela. Ejemplos de tales muelas delgadas incluyen las muelas antes mencionadas de Tipos 27, 27A, 28, 29 y las muelas híbridas de Tipos 27/28. Las muelas de Tipos 27, 27A, 28 y 29 se definen, por ejemplo, en la norma ANSI B7.1-2000. Como se ha mencionado anteriormente, las muelas híbridas de Tipo 27/28 son similares a los Tipos 27 y 28, teniendo una sección transversal axialmente ligeramente curvada, tal como se muestra en las figuras 16, 18 y 19, y se describen seguidamente con mayor detalle.

Como se ha mencionado antes, diversas técnicas de fabricación conocidas para los expertos en la técnica de fabricación de muelas rectificadoras pueden ser utilizadas y/o modificadas para producir realizaciones de la presente invención. Ejemplos de técnicas que pueden utilizarse se revelan en la patente US No. 5,895,317 de Timm y en la patente US No. 5,876,470 de Abrahamson, las cuales se incorporan plenamente por referencia a esta memoria. Se describirán ahora con referencia a las figuras 15-21 algunos ejemplos de técnicas de fabricación. Para mayor brevedad, la mayoría de estas técnicas se muestran y describen con respecto a la fabricación de muelas híbridas del Tipo 27/28 que tienen tres agujeros de visión. Sin embargo, deberá ser evidente para el experto que se pueden modificar las técnicas, incluyendo el tamaño y el perfil del molde y/o el contenido de la mezcla del molde, para producir cualquiera de los tipos de muelas descritos anteriormente, con cualquier número de intersticios y/o agujeros

según se describe en esta memoria.

Volviendo a las figuras 15 y 16, una muela híbrida 1510 de Tipo 27/28 puede fabricarse poniendo una placa de soporte 28 en un molde de tamaño y configuración adecuados para formar los deseados agujeros 1522 (figura 15) y/o intersticios 1512 (según se muestra en línea de trazos en la figura 15). La placa de soporte 28 puede incluir un casquillo central 30 integrado en la placa, o puede ser un miembro discreto fijado al mismo. (Como se muestra, la placa de soporte 28 y la capa de refuerzo 36 (figura 18) están ligeramente arqueadas de una manera conocida. Como alternativa, estos componentes pueden ser sustancialmente planos, tal como para la fabricación de muelas de Tipo 27, 27A y/o de Tipo 28.) Los agujeros de la placa 28 se acoplan de manera recibida con tapones (no mostrados) que se colocan en el molde. Los tapones están dimensionados y configurados para conformar los agujeros deseados. Se llena después el molde con la mezcla deseada de abrasivo y aglomerante para formar una capa abrasiva 29. El paso de llenado del molde puede realizarse utilizando técnicas de alimentación por gravedad o, alternativamente, pueden utilizarse otras técnicas tal como el moldeo por inyección. Se pueden aplicar después calor y/o presión. La muela es luego retirada del molde y separada de los tapones para revelar una muela que tiene los agujeros 1522 y/o los intersticios 1512 deseados. Se pueden completar después otros pasos convencionales, tal como el equilibrado dinámico de la muela.

Volviendo ahora a las figuras 17 y 18, se usa una técnica similar para fabricar una muela reforzada con vidrio. Como se muestra, se coloca una tela de vidrio 36 in situ dentro del molde. La tela está provista preferiblemente de un tamaño y forma perimetrales adecuados para casar con los del molde (incluido cualquier intersticio 1712 (figura 17)). Se colocan tapones dentro del molde en el lugar de ubicación de los agujeros deseados 1722 (figura 17). Se completan los pasos subsiguientes según se ha descrito anteriormente con respecto a las figuras 15 y 16. Se puede cortar la capa de tela en uno o más de los agujeros de los huecos para facilitar una visión no obstruida a través de los mismos. Opcionalmente, la capa de tela (capa de vidrio o refuerzo de tejido similar) puede extenderse continuamente a través de uno o más de los huecos (tal como a través de los agujeros 1722, según se muestra) para proporcionar un refuerzo estructural, al tiempo que se le permite también a un usuario ver a través de la capa debido a su ligamento relativamente abierto.

Volviendo a la figura 19, se puede modificar uno u otro de los enfoques de fabricación antes mencionados aplicando una almohadilla de respaldo convencional 32 con un dispositivo de bloqueo de velocidad a la placa de soporte o a la capa de refuerzo antes o después del curado de la muela.

Como otra alternativa más, se puede preformar un centro o cubo moldeado 34 con una tela de vidrio o capa de refuerzo similar incrustada 36', según se muestra en las figuras 20 y 21. Este conjunto puede fabricarse de cualquier manera conocida, incluyendo operaciones de moldeo y/o de montaje mecánico. El conjunto cubo/vidrio puede ser moldeado después in situ por colocación dentro de un molde, seguido por la inserción de la mezcla de abrasivo/aglomerante y la aplicación de calor y presión, etc., según se ha descrito anteriormente, para formar una muela 2110 que tiene un cubo integrado 34 y una capa abrasiva reforzada 29'. Aunque se muestra la muela 2110 como una muela recta convencional, ésta puede fabricarse alternativamente como una muela híbrida de Tipo 27/28 con una sección recta transversal ligeramente curvada, tal como se muestra en las figuras 16, 18 y 19.

Aunque se muestran realizaciones de la presente invención como fabricadas con una capa de refuerzo 36, 36', se pueden utilizar también capas adicionales 36, 36'. Por ejemplo, se puede disponer internamente una capa 36, 36', con otra capa dispuesta sobre una superficie externa de la muela. En caso de que se utilice una capa de tela 36, 36' de fibra de vidrio, la tela (no revestida) puede tener un peso (convencionalmente denominado peso crudo) dentro de un rango de aproximadamente 160 a 320 gramos por metro cuadrado (g/m^2). Por ejemplo, en caso de que se utilice una capa de tela para muelas con un rango de espesor de aproximadamente 1/16-1/4 de pulgada (aproximadamente 2-6 mm), se puede utilizar una tela con un peso crudo de medio (230-250 g/m^2) a pesado (320-500 g/m^2). En caso de que se utilicen dos o más capas 36, 36', una o ambas pueden ser de peso ligero (aproximadamente 160 g/m^2).

Los siguientes ejemplos ilustrativos están destinados a demostrar ciertos aspectos de la presente invención. Ha de entenderse que estos ejemplos no deberán interpretarse como limitativos.

Ejemplo 1

En este ejemplo se comparan dos muelas en cuanto a sus prestaciones de rectificado. La primera muela (B) es una muela de la técnica anterior con un diámetro de 11,4 cm (4,5 pulgadas), con una abertura de montaje central utilizada de la manera típica en la técnica anterior. La segunda muela (A) es idéntica a la muela (B), pero ha sido modificada según la invención retirando segmentos rectos del perímetro para proporcionar una muela como la mostrada en la figura 8a de los dibujos. La muela se fabrica a partir de granos abrasivos de alúmina pirolizada, del tamaño de granalla 50, aglomerados con una resina fenólica, y una capa de refuerzo integrada de tela de fibra de vidrio.

Las muelas se evalúan utilizando una rectificadora ID/OD Okuma empleada en un modo de alimentación axial de tal

manera que la pieza de trabajo sea presentada a la cara de la muela en lugar de a un borde.

5 La pieza de trabajo utilizada es de acero dulce 1018 en forma de un cilindro con un diámetro exterior de 12,7 cm (5 pulgadas) y un diámetro interior de 11,4 cm (4,5 pulgadas). Se presenta la superficie extrema a la muela abrasiva. Las muelas abrasivas se hacen funcionar a 10000 rpm y se utiliza una velocidad de entrada de alimentación de 0,5 mm/min. Se hace girar la pieza de trabajo a aproximadamente 12 rpm. No se utiliza refrigerante y la pieza de trabajo es centrada sobre la porción de la muela en la que están localizados los intersticios de visión en la realización según la invención. Se pesan las muelas antes y después del ensayo.

10 Para determinar un punto de referencia, se pone la pieza de trabajo en contacto con la muela hasta que la fuerza axial alcance 0,22 kg (1 libra). Se continúa después el rectificado desde este punto de referencia hasta que la fuerza axial alcance 1,98 kg (9 libras), lo cual se considera que corresponde al final de la vida útil de la muela. Así, el tiempo de rectificado entre el punto de referencia y el punto final se considera que es la vida útil de la muela.

15 Los resultados se representan gráficamente en las figuras 11-14. Se puede ver en la figura 11 que la rápida subida hasta una fuerza normal de 9 libras, que se toma como el punto final, ya que en ese punto se está produciendo poca retirada de metal debido a que se ha retirado o desgastado la mayor parte de la granalla abrasiva, tiene lugar sustancialmente más tarde para la muela A con la forma triangular modificada. Esta muela dura aproximadamente dos veces más que la otra muela. Esto es contraintuitivo, ya que se ha retirado más cantidad de la superficie abrasiva.

20 En la figura 12 se registra la potencia absorbida por cada una de las muelas en función del tiempo. Esto muestra el mismo patrón que la figura 11, absorbiendo la muela A significativamente menos potencia durante todo el periodo en el que las muelas están realmente rectificando. Así, la muela A requiere menos fuerza y absorbe menos potencia.

En la figura 13 se registra la variación del coeficiente de fricción con el tiempo para las muelas. Se observa el coeficiente más bajo con la muela A.

La figura 14 compara la cantidad de metal cortada en el tiempo por las muelas. Esto muestra que la muela A corta aproximadamente dos veces más material que la muela B.

25 Así, se espera que los ejemplos de muelas según la invención corten al menos igual de bien que las muelas de la técnica anterior, al tiempo que proporcionen el beneficio de estar capacitadas para ver el área que se está erosionando a medida que progresa la abrasión y no entre pasadas de abrasión. Esto se obtiene aun cuando la cantidad de superficie de abrasión sea reducida por la de una muela de control convencional sin agujeros, mientras proporciona una visión mejorada de la superficie de la pieza de trabajo justamente hasta el borde de la muela de abrasión, al tiempo que se corta más metal, con una menor absorción de potencia y durante un periodo más largo. Esto es tanto contraintuitivo como altamente ventajoso.

Ejemplo 2

35 Se fabricaron ejemplos de muelas de Tipo 27 sustancialmente como se muestra en las figuras 22, 23 y 24, es decir, con agujeros circulares, agujeros radialmente oblongos y agujeros oblicuamente oblongos, respectivamente. Los agujeros oblongos están provistos de una relación de aspecto (longitud a anchura) de aproximadamente 2:1 en el plano transversal, es decir que la dimensión longitudinal de los agujeros oblongos es aproximadamente dos veces la de la dimensión ortogonal a ella en el plano transversal. Las muelas de la figura 22 mostraban una resistencia a la expulsión de aproximadamente un 80 por ciento de la de una muela de control convencional sin agujeros, mientras que la muela de la figura 23 mostraba una resistencia a la expulsión de un 87 por ciento de la del control. La muela con los agujeros oblicuamente orientados de la figura 24 mostraba una resistencia a la expulsión aún mayor de un 95 por ciento de la de la muela de control. La resistencia a la expulsión se midió utilizando especificaciones de ensayo ANSI convencionales para una carga central máxima proveniente de una tensión de fuerza lateral, tal como se describe en la patente US No. 5,913,994, la cual se incorpora aquí plenamente por referencia. Brevemente descrito, el ensayo de resistencia a la expulsión incluía un ensayo convencional de resistencia de anillo sobre anillo en el que se montaba la muela sobre una pestaña central convencional y se soportaba el margen de la muela por medio de un anillo. Se aplicó una carga axial a la pestaña a un régimen de carga de 0,05 pulgadas/minuto utilizando una máquina de ensayo convencional. Se aplicó la carga a la pestaña de la muela desde una carga cero hasta un fallo catastrófico de la muela (por ejemplo, fractura de la muela).

Ejemplo 3

50 Se fabricaron muestras de ensayo adicionales como muelas híbridas de Tipo 27/28 sustancialmente según se muestra en las figuras 1, 3, 22 y 25 (formando cilíndricos nocionales) de 5 pulgadas (12,7 cm) de diámetro. Cada una de las muelas incluía también una capa de tela 36 de fibra de vidrio, tal como la mostrada en la figura 18, teniendo un peso crudo sin revestir dentro de un rango de aproximadamente 230-250 g/m². Se fabricaron nueve variaciones de muelas (variaciones 1-9) con un espesor de 1/8 de pulgada (3 mm) y un agujero central de 7/8 de pulgada (2,2 cm). Se ensayaron estas variaciones de muela en cuanto a flexibilidad y resistencia al reventamiento.

ES 2 384 511 T3

Los resultados de estos ensayos se muestran en la figura 26 y en la tabla I siguiente.

- En estos ejemplos se fabricó la variación de muela 1 sustancialmente como se muestra en la figura 22, con tres agujeros equidistantemente espaciados 2222 de aproximadamente 3/4 de pulgada (1,9 cm) de diámetro, que se extendían no más cerca de aproximadamente 3/8 de pulgada (0,9 cm) con respecto al margen de la muela. La variación de muela 2 era sustancialmente similar a la variación de muela 1, con agujeros de aproximadamente 3/8 de pulgada (0,9 cm). La variación de muela 3 era sustancialmente similar a la variación de muela 1, si bien tenía seis agujeros equidistantemente espaciados 2222. La variación de muela 4 era sustancialmente similar a la variación de muela 1, si bien tenía ranuras 112 en lugar de agujeros, tal como se muestra en la figura 1. Estas ranuras 112 se extendían aproximadamente 7/8 de pulgada (2,2 cm) en dirección radial hacia dentro desde el margen, con una anchura de aproximadamente 3/8 de pulgada (0,95 cm). La variación de muela 5 era sustancialmente similar a la variación de muela 4, si bien tenía ranuras 112 de aproximadamente 3/4 de pulgada (1,9 cm) de anchura. La variación de muela 6 era sustancialmente similar a la variación de muela 5, si bien tenía seis ranuras equidistantemente espaciadas 112. La variación de muela 7 era sustancialmente similar a la variación de muela 1 (incluyendo tres agujeros), si bien tenía un margen festoneado como el proporcionado por los intersticios 312 mostrados en la figura 3. La variación de muela 8 era una muela convencional de la técnica anterior, sustancialmente similar a la variación de muela 1 sin agujeros 2222. La variación de muela 9 era sustancialmente similar a la variación de muela 2, si bien tenía 8 agujeros espaciados a lo largo de anillos concéntricos discretos, según se muestra en la figura 25 y se ha descrito en la solicitud '478 anteriormente referenciada. Se fabricaron y ensayaron tres muelas de cada variación 1-9.
- Se midió la flexibilidad de cada una de las muelas según se ha descrito en la solicitud '478 anteriormente referenciada montando la muela rectificadora sobre una pestaña con un radio de 15 mm y determinando la flexibilidad como la deformación elástica (en milímetros) en la dirección axial exhibida cuando se aplica una carga axial de 20 N por medio de una sonda (que tiene una punta de contacto de 5 mm de radio) a 47 mm del centro de la muela rectificadora, con la muela en un estado estacionario. (La deformación se midió similarmente en la localización radial de 47 mm respecto del centro de la muela.) Se obtuvo el volumen de cada muela dividiendo el peso de la muela por la densidad del material de la muela (2,54 g/cm³). En la tabla I siguiente se muestran el volumen y la flexibilidad de cada variación de muela 1-9.

Tabla I Deflexión

	Peso (g)	Peso medio	Desviación estándar	Volumen muela	Desviación estándar	Deflexión [medida]	Desviación estándar
1	86 90,9 89,7	88,9	2,6	35,0	1,0	2,67	0,4
2	91,1 88,9 93,3	91,1	2,2	35,9	0,8	3,67	0,3
3	79,6 79,9 78,5	79,3	0,7	31,2	0,3	4,50	0,7
4	82,1 84,8 81,2	82,7	1,0	32,6	0,7	3,50	0,7
5	84,5 87,5 88	86,7	1,9	34,1	0,7	2,94	0,5

ES 2 384 511 T3

6	68,5 64 66,3	66,3	2,3	26,1	0,9	5,94	0,8
7	77,4 78,4 79,4	78,7	1,2	31,0	0,5	4,11	0,3
8	97,4 91,6 83,7	94,2	2,9	37,1	1,2	3,22	0,2
9	88 89,3 89,7	89	0,8	35,0	0,3	3,78	0,8

Los resultados de ensayo indican que las realizaciones de la presente invención pueden dimensionarse y configurarse ventajosamente de modo que el volumen combinado de agujeros y/o intersticios (es decir, huecos) como porcentaje del volumen total de la muela permanezca por debajo de aproximadamente 25 por ciento y más preferiblemente esté dentro del rango de aproximadamente 3-20 por ciento. (Por conveniencia, este volumen o porcentaje en volumen puede denominarse aquí volumen de huecos o porcentaje en volumen de huecos, respectivamente.)

Cada una de las variaciones de muela ensayadas, excepto la variación 6, muestra un porcentaje en volumen de huecos por debajo de aproximadamente 25 por ciento. La variación de muelas 6 mostraba un porcentaje en volumen de huecos en el rango de aproximadamente 25 a 34 por ciento. El porcentaje en volumen de huecos se obtuvo restando el volumen de cada muela de las variaciones 1-7 y 9 del volumen total de cada muela, dividiendo el resultado por el volumen total de cada muela y multiplicando por 100. El volumen total de cada muela es el volumen de la muela sin huecos, es decir, el volumen del cilindro notional definido por cada muela durante su rotación. Por conveniencia, el volumen de la variación de muela convencional 8 (la variación sin huecos) se utilizó como volumen total en cálculos de volumen de huecos.

El mantenimiento en porcentajes en volumen de huecos por debajo de aproximadamente 25 por ciento ayuda ventajosamente a mantener la flexibilidad de la muela en aproximadamente 5 mm o menos para facilitar operaciones de rectificado frontal. Realizaciones específicas de la presente invención muestran una flexibilidad con un rango de aproximadamente 1-5 mm, mostrando otras realizaciones una flexibilidad dentro de un rango de aproximadamente 2-5 mm, según lo indicado por los resultados de ensayo anteriormente mencionados.

Se realizó también un ensayo de reventamiento de dos muelas de cada variación de muela sometidas a velocidades rotacionales crecientes (rpm) hasta el fallo de la muela. Estos resultados de ensayo se muestran en la figura 26.

Ventajosamente, este ensayo indicó que todas las variaciones de muela mostraban una velocidad de reventamiento de al menos aproximadamente 21000 rpm o aproximadamente 27500 pies de superficie por minuto "sfpm" (140 metros de superficie por segundo "SMPS"). SFPM y SMPS vienen dados por las ecuaciones siguientes (1) y (2):

$$(1) \quad \text{SFPM} = 0,262 \times \text{diámetro de muela en pulgadas} \times \text{r.p.m.}$$

$$(2) \quad \text{SMPS} = \text{SFPM}/196,85$$

Este aspecto permite ventajosamente que las realizaciones de la invención fabricadas como muelas híbridas de Tipo 27/28 de 5 pulgadas de diámetro sean hechas funcionar en máquinas rectificadora manuales que operan típicamente a una velocidad máxima de 16000 rpm.

Estos resultados de ensayo indican también (por ejemplo, variación 3 comparada con variaciones 4 y 7) que puede ser ventajoso tener al menos algo del volumen de huecos dispuesto relativamente cerca del perímetro de las muelas, tal como viene proporcionado por el uso de al menos algunos intersticios o ranuras. Esto puede lograrse también localizando los agujeros dentro del rango antes mencionado de posiciones radiales (es decir, dentro de un

área entre una 60 por ciento del radio del cilindro nocional y al menos aproximadamente 2 mm respecto del margen de la muela.

5 La descripción anterior está destinada primordialmente a fines de ilustración. Aunque se ha mostrado y descrito la invención con respecto a un ejemplo de realización de la misma, deberá entenderse por los expertos en la materia que pueden hacerse en ella los anteriores y otros diversos cambios en la forma y detalle de la misma sin apartarse del alcance de la invención, el cual queda definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una muela abrasiva (110, 310, 410, etc.) para rotación operacional alrededor de su eje (116, 316, 416, etc.) a fin de retirar material de una pieza de trabajo, comprendiendo dicha muela abrasiva:
- una abertura de montaje (111);
- 5 una matriz que contiene granos abrasivos;
- una periferia que define un cilindro notional durante la rotación operacional;
- al menos un hueco (112, 312, 412, etc., 322, 622, 722, etc.) que se extiende axialmente a través de la matriz, en donde, durante la rotación operacional, el hueco define una ventana notional a través de la cual puede verse la pieza de trabajo;
- 10 siendo la muela sustancialmente monolítica; y
- teniendo la muela una flexibilidad en el rango de aproximadamente 1-5 mm en la dirección axial en respuesta a una carga axial aplicada de 20 N.
2. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que la flexibilidad está en el rango de aproximadamente 2-5 mm.
3. La muela abrasiva de la reivindicación 1, que comprende, además, un volumen de huecos de menos de aproximadamente un 25 por ciento del volumen del cilindro notional.
- 15 4. La muela abrasiva de la reivindicación 3, en la que el volumen de huecos está en el rango de aproximadamente 3-20 por ciento.
5. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que el hueco comprende al menos un intersticio no obstruido (112, 312, 412, etc.) que se extiende radialmente hacia dentro desde el perímetro del cilindro notional.
- 20 6. La muela abrasiva de la reivindicación 5, en la que el hueco comprende al menos un agujero de visión (322, 622, 722, etc.).
7. La muela abrasiva de la reivindicación 6, en la que el agujero de visión está dispuesto dentro de un área definida por al menos aproximadamente un 60 por ciento del radio del cilindro notional y al menos aproximadamente 2 mm respecto del margen de la muela.
- 25 8. La muela abrasiva de la reivindicación 1, que comprende un cubo (34) dispuesto integralmente dentro de dicha matriz que contiene granos.
9. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que dicha matriz que contiene granos abrasivos es un material aglomerante orgánico.
- 30 10. La muela abrasiva de la reivindicación 9, en la que dicha matriz que contiene granos abrasivos es un material aglomerante inorgánico.
11. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que dicha matriz que contiene granos abrasivos comprende, además, un refuerzo integrado.
12. La muela abrasiva de la reivindicación 11, en la que dicho refuerzo comprende un material de fibras disperso dentro de dicha matriz que contiene granos abrasivos.
- 35 13. La muela abrasiva de la reivindicación 11, en la que el material de fibras comprende una capa de tela.
14. La muela abrasiva de la reivindicación 13, en la que el material de fibras comprende una pluralidad de capas de tela.
15. La muela abrasiva de la reivindicación 13, que comprende, además, un cubo fijado a la capa de tela.
16. La muela abrasiva de la reivindicación 13, en la que la capa de tela se extiende a través del hueco.
- 40 17. La muela abrasiva de la reivindicación 13, en la que dicha capa de tela comprende una capa de fibra de vidrio que tiene un peso crudo dentro de un rango de aproximadamente 160-500 gramos por metro cuadrado.
18. La muela abrasiva de la reivindicación 11, en la que dicho refuerzo comprende una placa de soporte (28).
19. La muela abrasiva de la reivindicación 5, en la que dicho intersticio es simétrico.

20. La muela abrasiva de la reivindicación 19, en la que dicho intersticio tiene forma de U.
21. La muela abrasiva de la reivindicación 19, en la que dicho intersticio es semicircular.
22. La muela abrasiva de la reivindicación 5, en la que dicho intersticio es asimétrico.
- 5 23. La muela abrasiva de la reivindicación 22, en la que dicho intersticio comprende un borde trasero (120, 320, 420) dispuesto bajo un ángulo, con relación a la tangente más próxima (319) de dicho círculo nocional, más pequeño que el de un borde delantero (118, 318, 418) de dicho intersticio.
24. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que dicho hueco está destalonado con relación a la dirección axial.
- 10 25. La muela abrasiva de la reivindicación 24, en la que un borde delantero (118, 318, 418) de dicho hueco está dispuesto bajo un ángulo agudo con relación a una porción adyacente de una superficie de apoyo de dicha matriz que contiene granos abrasivos.
26. La muela abrasiva de la reivindicación 24, en la que un borde trasero (120, 320, 420) de dicho intersticio está dispuesto bajo un ángulo obtuso con relación a una porción adyacente de la superficie de apoyo.
- 15 27. La muela abrasiva de la reivindicación 5, en la que dicho intersticio comprende un segmento de dicho círculo nocional.
28. La muela abrasiva de la reivindicación 27, en la que el segmento está sustancialmente curvado a lo largo de un borde del mismo distinto del borde correspondiente del cilindro nocional.
29. La muela abrasiva de la reivindicación 27, en la que el segmento es sustancialmente recto a lo largo de un borde del mismo.
- 20 30. La muela abrasiva de la reivindicación 29, en la que un borde de dicho segmento está definido por una cuerda de dicho círculo nocional.
31. La muela abrasiva de la reivindicación 5, que comprende, además, una pluralidad de intersticios dispuestos en relación espaciada a lo largo del margen del cilindro nocional.
- 25 32. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que dicha matriz que contiene granos abrasivos comprende una cara rectificadora plana.
33. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que el hueco comprende al menos un agujero de visión (322, 622, 722, etc.) que se extiende a su través.
34. La muela abrasiva de la reivindicación 33, en la que dicho agujero es circular en una sección recta transversal (322, 922, 2222, etc.)
- 30 35. La muela abrasiva de la reivindicación 33, en la que dicho agujero está destalonado con relación a la dirección axial.
36. La muela abrasiva de la reivindicación 33, que comprende, además, una pluralidad de agujeros dispuestos en relación espaciada alrededor de dicha muela.
- 35 37. La muela abrasiva de la reivindicación 33, en la que dicho agujero está dispuesto dentro de un área definida por al menos un 60 por ciento del radio del cilindro nocional y al menos aproximadamente 2 mm con respecto al margen de la muela.
38. La muela abrasiva de la reivindicación 33, en la que dicho agujero (2322, 2422) es oblongo en una sección recta transversal, teniendo dicho agujero un eje longitudinal.
- 40 39. La muela abrasiva de la reivindicación 38, en la que dicho eje longitudinal se extiende a lo largo del radio de dicha muela.
40. La muela abrasiva de la reivindicación 38, en la que dicho eje longitudinal está dispuesto oblicuamente con relación al radio de dicha muela.
41. La muela abrasiva de la reivindicación 40, en la que dicho eje longitudinal está dispuesto bajo un ángulo de aproximadamente 45 grados con relación al radio de dicha muela.
- 45 42. La muela abrasiva de la reivindicación 1, que se ha fabricado como una muela seleccionada del grupo constituido por muelas de Tipo 27, Tipo 27A, Tipo 28, Tipo híbrido 27/28 y Tipo 29.

43. La muela abrasiva de la reivindicación 1, que tiene una velocidad de reventamiento de al menos aproximadamente 27500 pies de superficie por minuto (140 metros de superficie por segundo).
44. Un método para fabricar una muela abrasiva de la reivindicación 1 que es operacionalmente rotativa alrededor de su eje para retirar material de una pieza de trabajo, comprendiendo dicho método:
- 5 a. proporcionar una matriz que contiene granos abrasivos;
- b. transformar la matriz en una muela;
- c. formar al menos un hueco que se extiende axialmente a través de la matriz, definiendo el hueco, durante la rotación operacional, una ventana nocional a través de la cual se puede ver la pieza de trabajo;
- d. conformar la muela como un monolito; y
- 10 e. dimensionar, configurar y conformar la muela para que tenga una flexibilidad en el rango de aproximadamente 1-5 mm en la dirección axial en respuesta a una carga axial aplicada de 20 N.
45. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que hay una pluralidad de huecos que se extienden axialmente a través de la matriz, incluyendo la pluralidad de huecos al menos un agujero de visión (322, 622, 722, etc.) y al menos un intersticio no obstruido (112, 312, 412, etc.) que se extiende radialmente hacia dentro desde el perímetro del cilindro nocional.
- 15 46. La muela abrasiva de la reivindicación 45, en la que la flexibilidad está en el rango de aproximadamente 2-5 mm.
47. La muela abrasiva de la reivindicación 45, que comprende además un volumen de huecos de menos de aproximadamente un 25 por ciento del volumen del cilindro nocional.
48. La muela abrasiva de la reivindicación 47, en la que el volumen de huecos está en el rango de aproximadamente 3-20 por ciento.
- 20 49. La muela abrasiva de la reivindicación 1, en la que el cilindro nocional tiene un espesor en la dirección axial que es menor o igual que aproximadamente un 18 por ciento del radio del mismo.

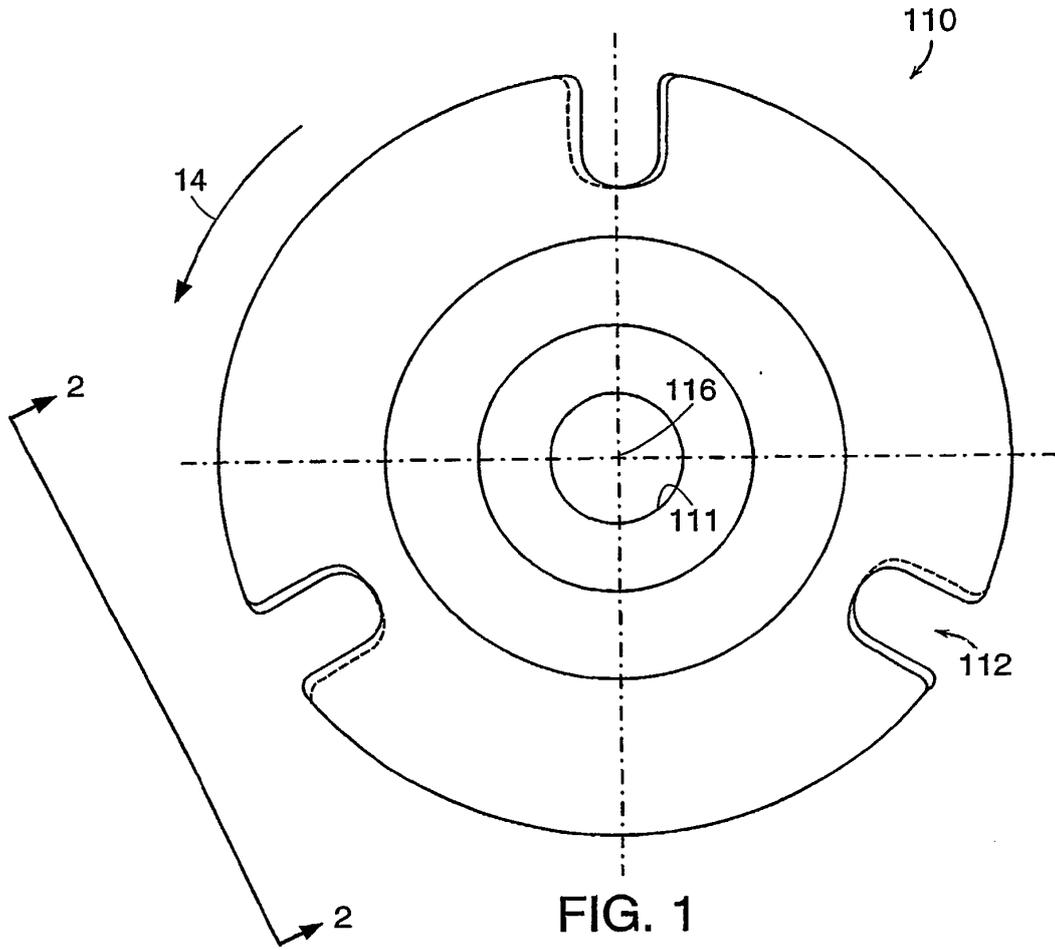


FIG. 1

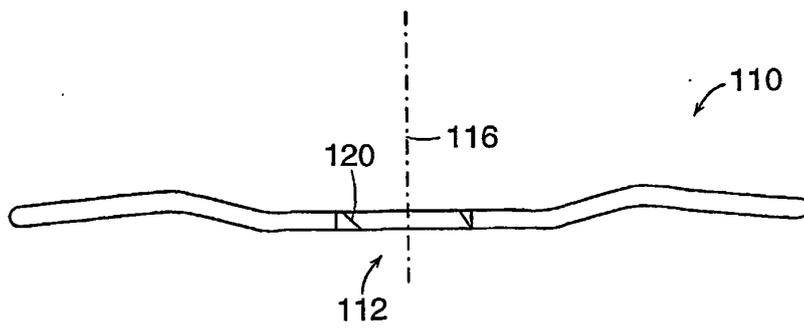


FIG. 2

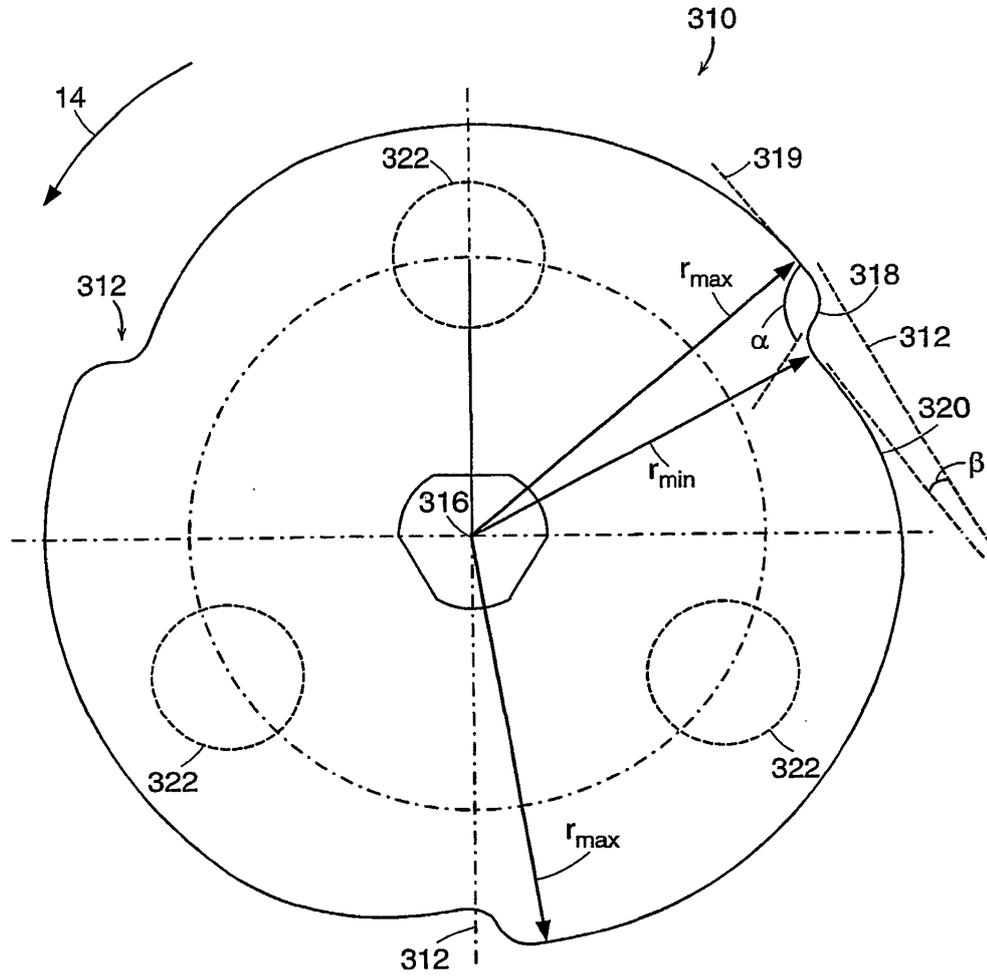


FIG. 3

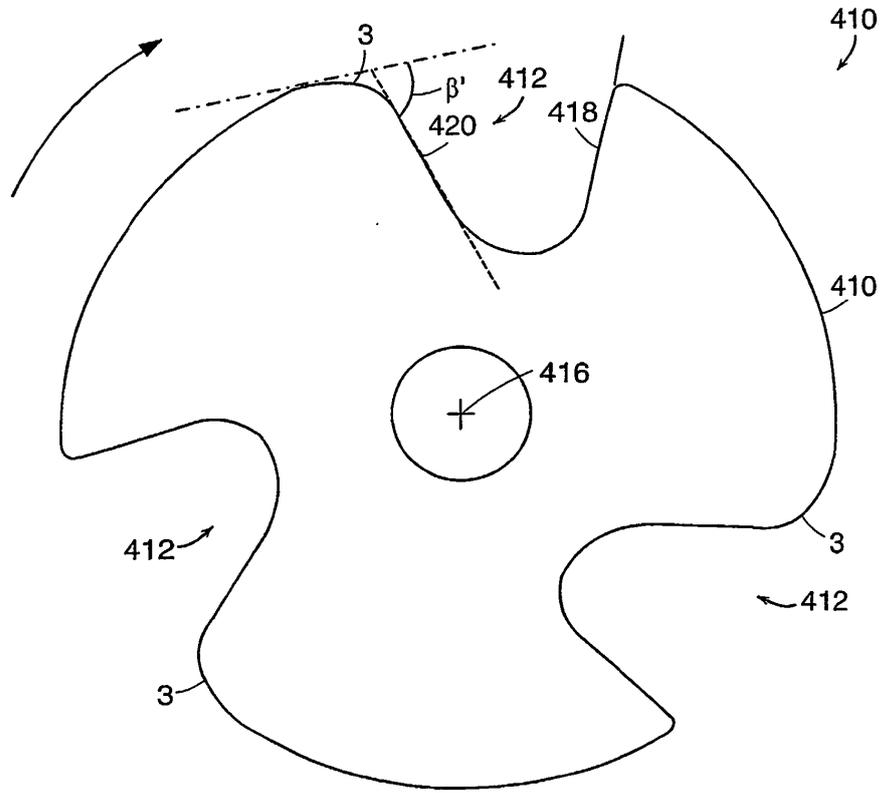
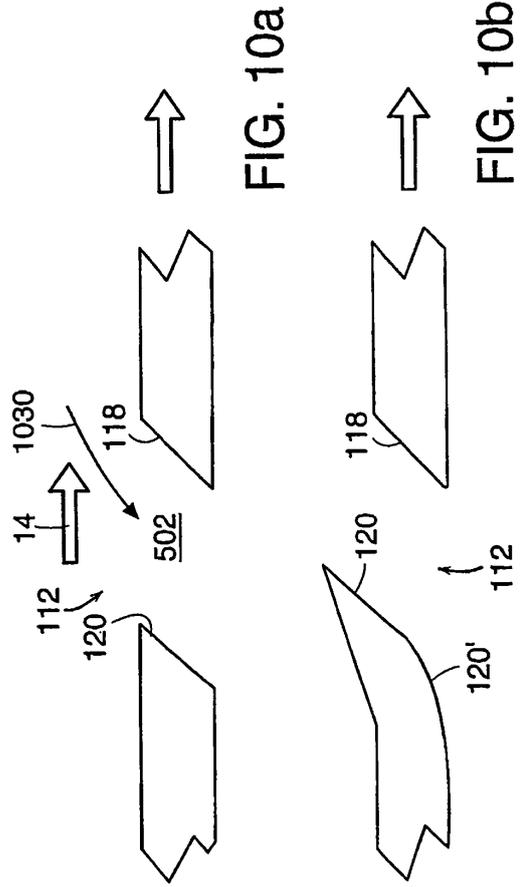
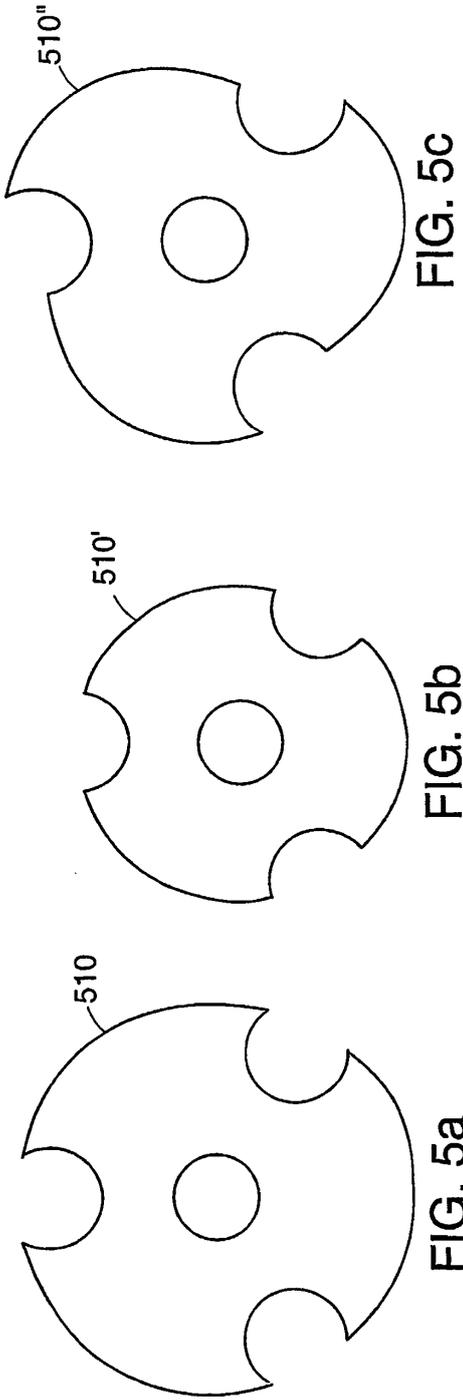


FIG. 4



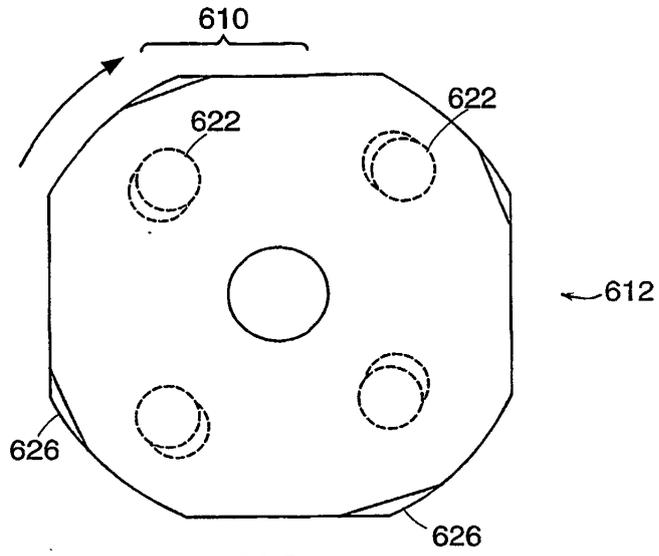


FIG. 6

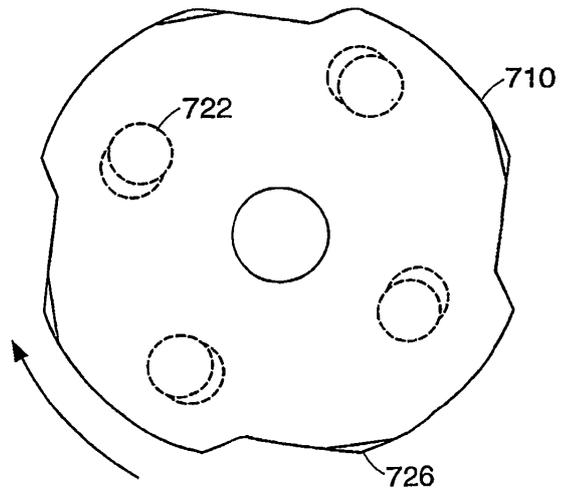


FIG. 7

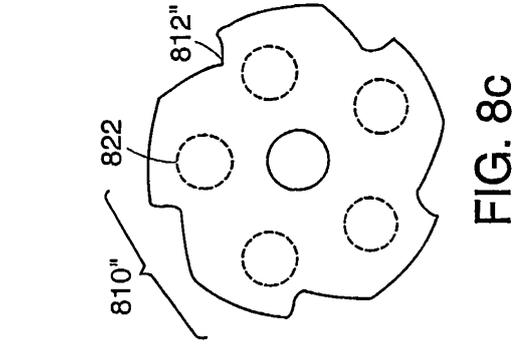


FIG. 8a

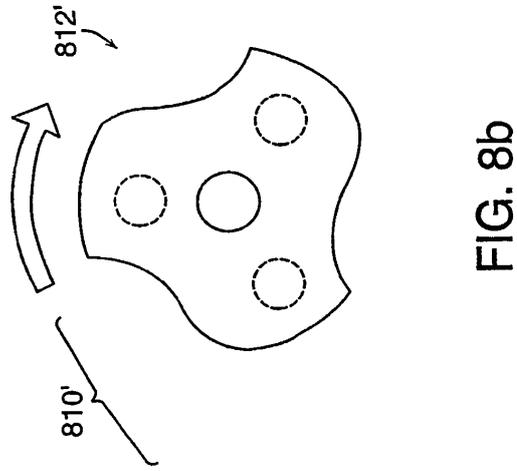


FIG. 8b

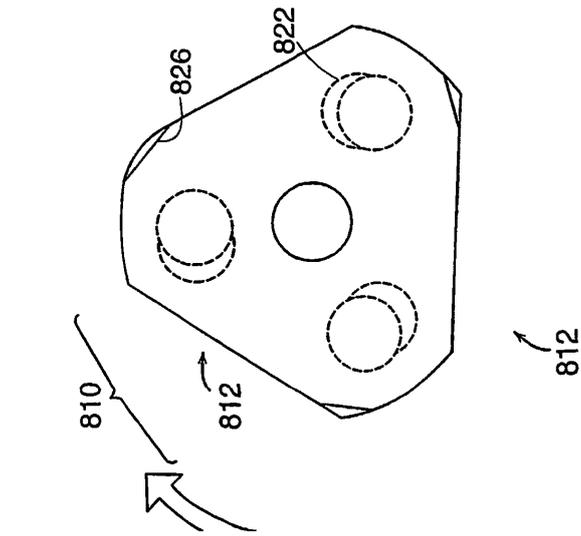


FIG. 8c

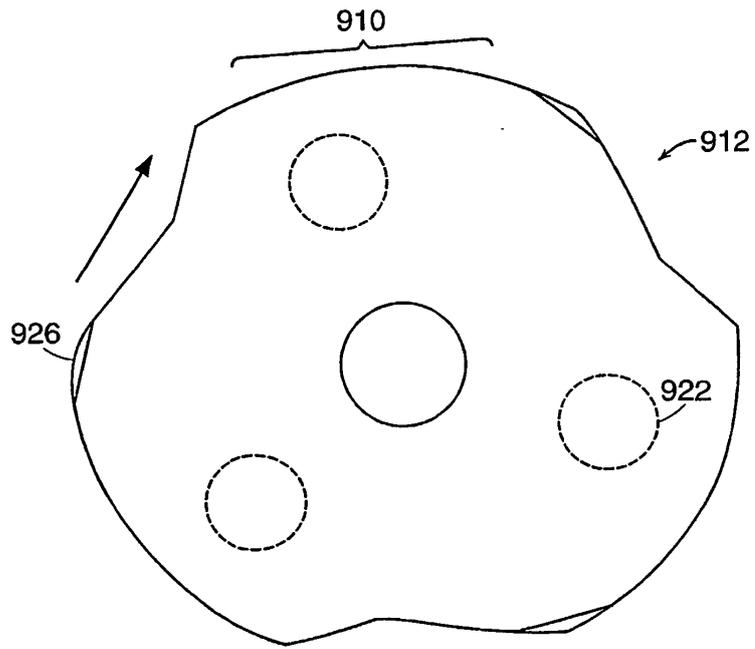


FIG. 9

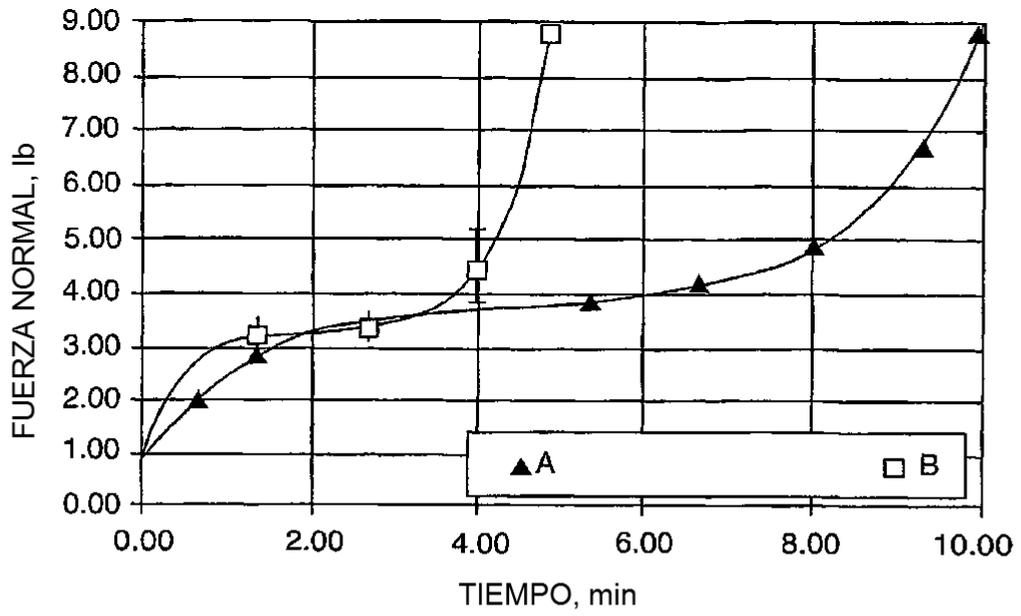


FIG. 11

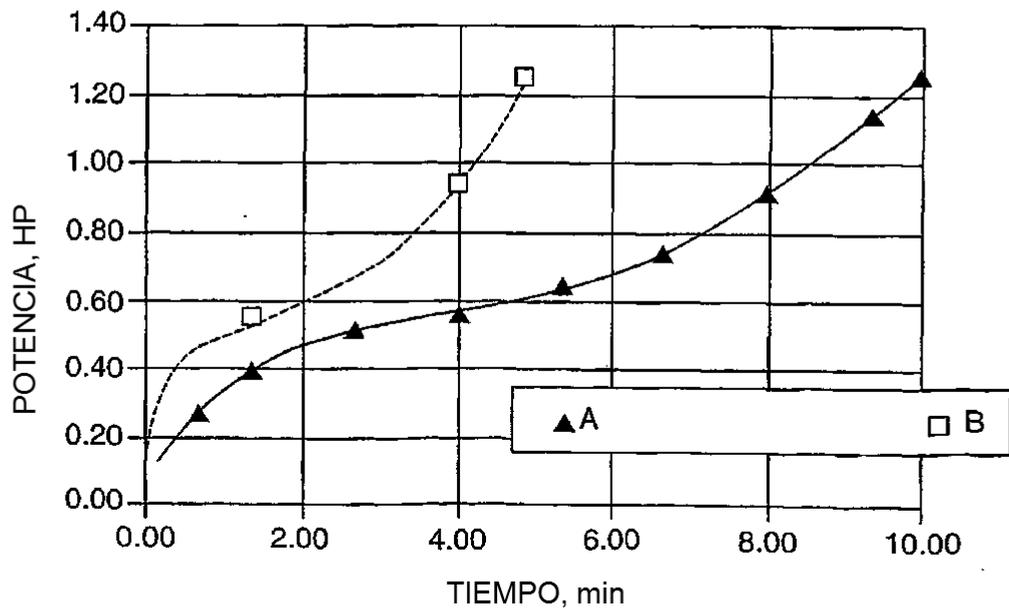


FIG. 12

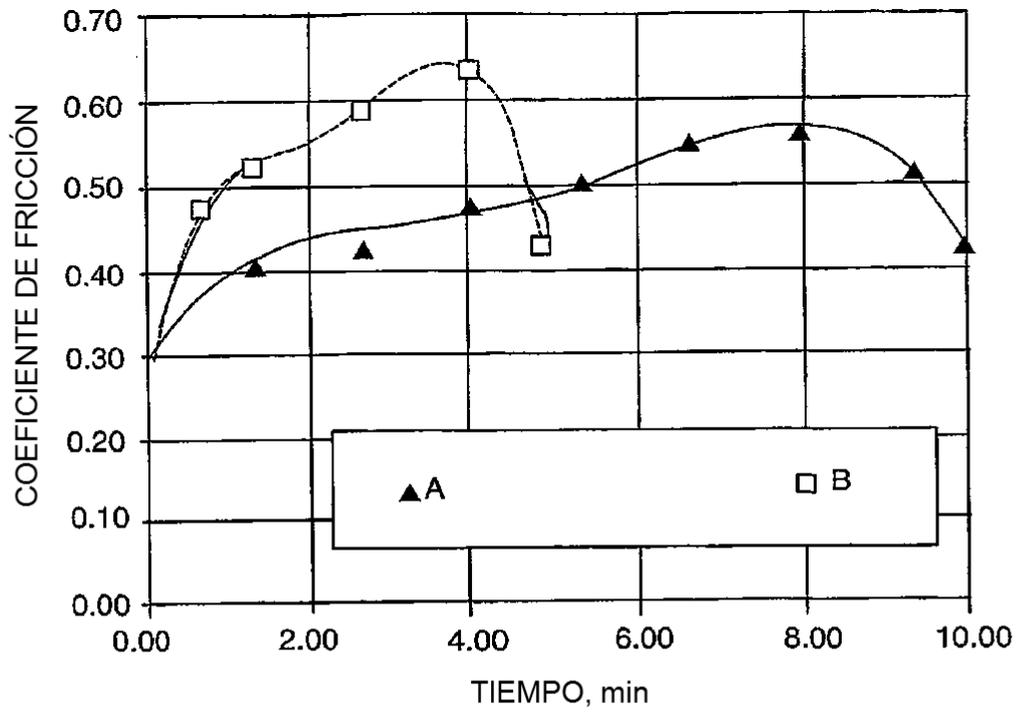


FIG. 13

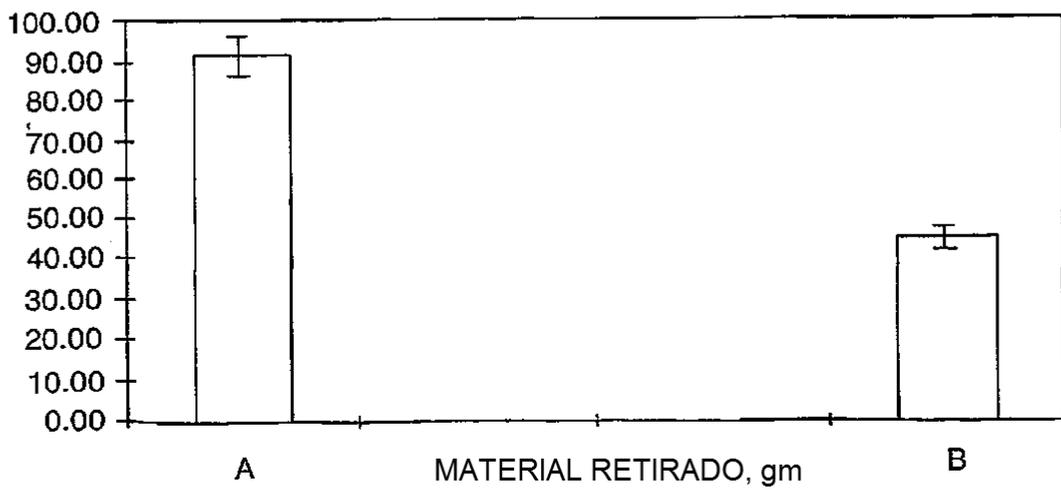


FIG. 14

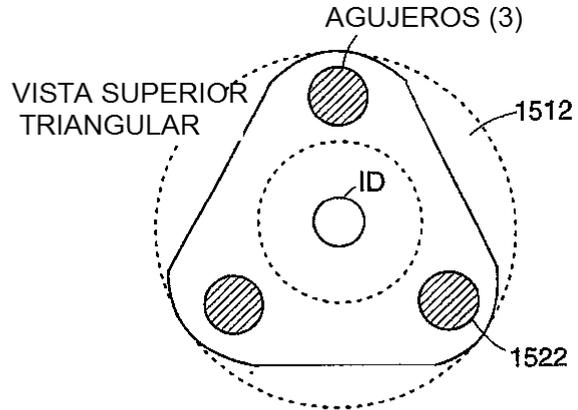


FIG. 15

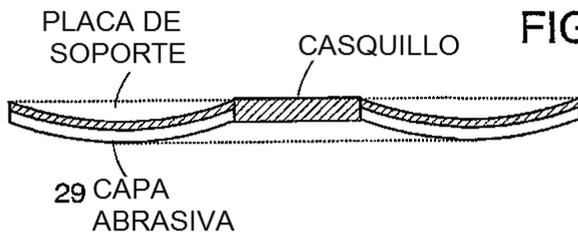
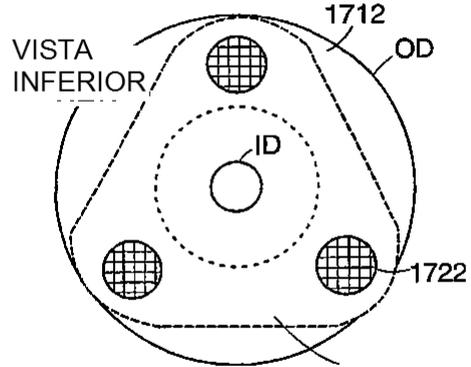


FIG. 16



LA CAPA ABRASIVA TIENE AGUJEROS. LA TELA DE VIDRIO NO.

FIG. 17

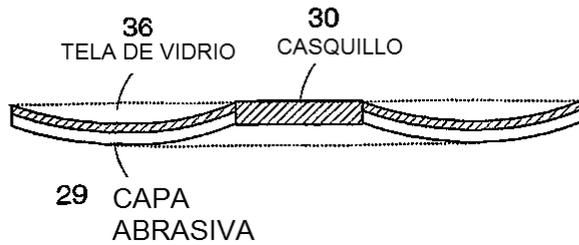


FIG. 18

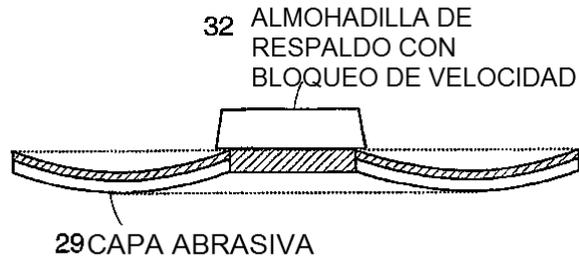


FIG. 19

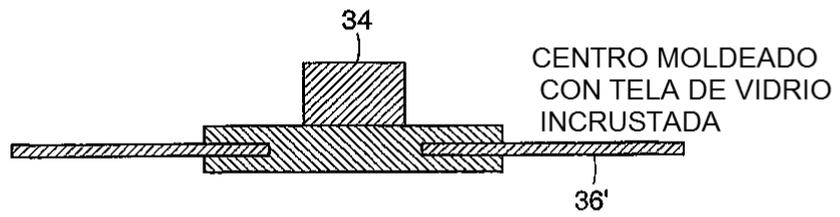


FIG. 20

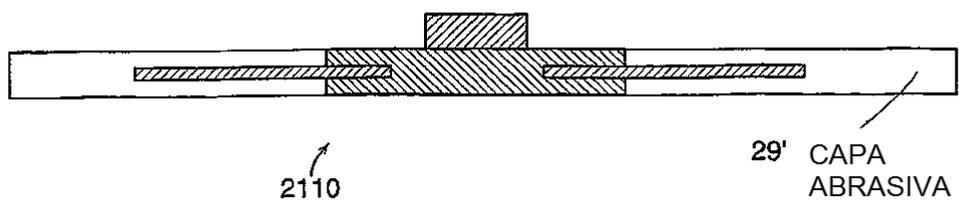
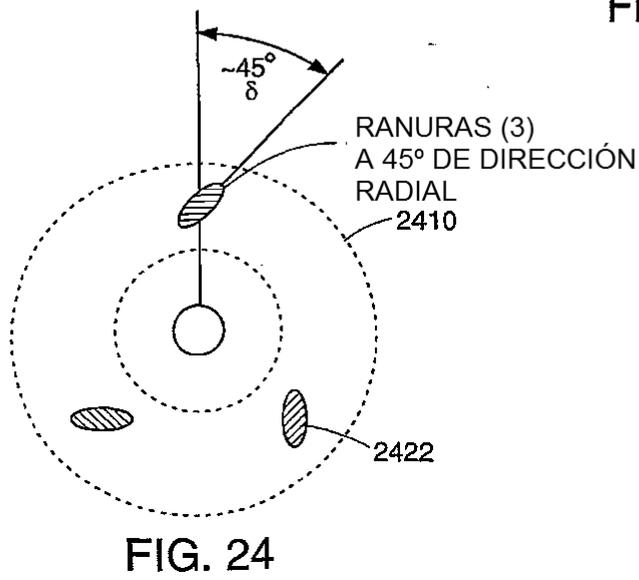
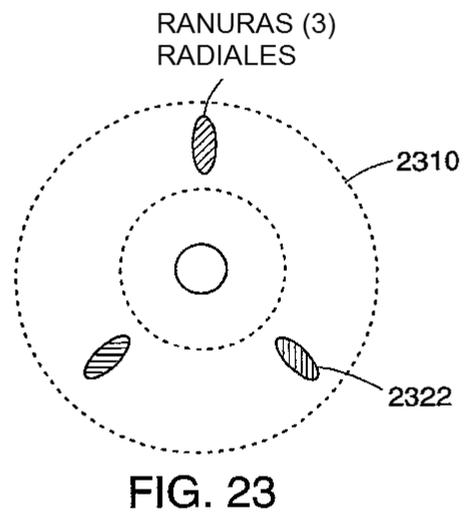
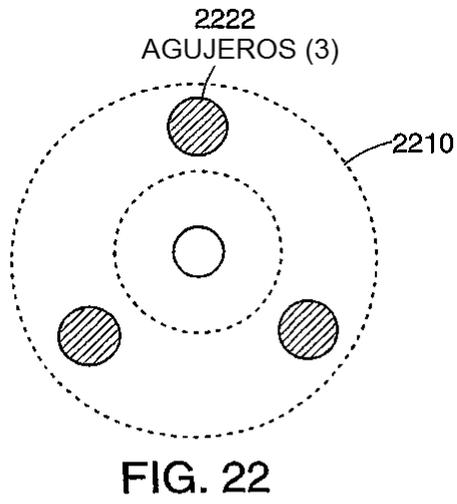


FIG. 21



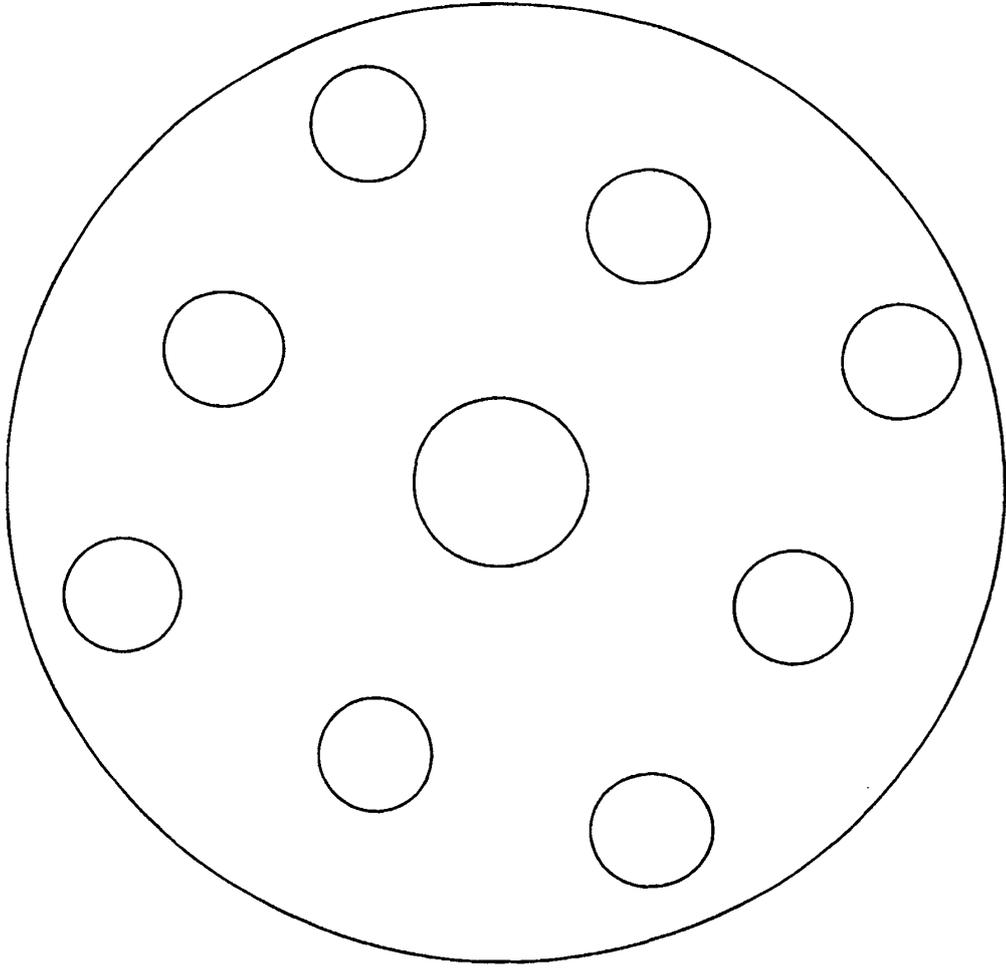


FIG. 25

VELOCIDAD DE REVENTAMIENTO EN MUELAS DE TIPO 29

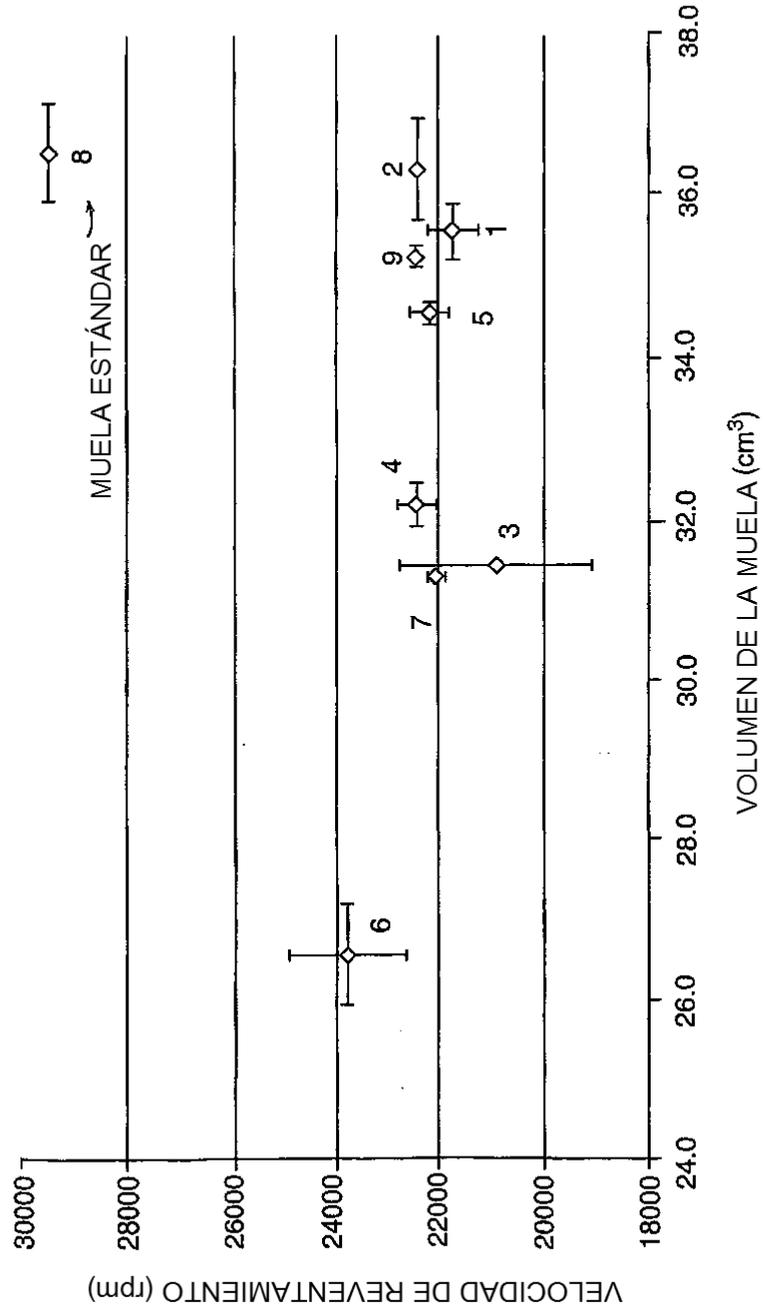


FIG. 26