

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 550 382**

51 Int. Cl.:

**B24B 37/04** (2012.01)

**B24B 53/017** (2012.01)

**B24B 33/02** (2006.01)

**B24B 37/02** (2012.01)

**B24B 19/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2004 E 04770471 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2015 EP 1680271**

54 Título: **Sistema y proceso de lapeado para una superficie metálica de trabajo**

30 Prioridad:

**05.09.2003 US 655312**

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

**06.11.2015**

73 Titular/es:

**FRICSO LTD. (100.0%)  
HaYozma 2  
Tirat Carmel 39032, IL**

72 Inventor/es:

**SHAMSHIDOV, BORIS y  
IGNATOVSKY, ALEXANDER**

74 Agente/Representante:

**CAMPELLO ESTEBARANZ, Reyes**

**ES 2 550 382 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

Sistema y proceso de lapeado para una superficie metálica de trabajo.

## 5 CAMPO Y ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a piezas de trabajo que tienen superficies de trabajo y, más particularmente, a una superficie de trabajo y un sistema para la producción de la superficie de trabajo.

10 Con el fin de reducir la fricción y el desgaste en superficies que interactúan mecánicamente, se introduce un lubricante en la zona de interacción. Como se representa esquemáticamente en la figura 1A, en condiciones de lubricación ideales, la película lubricante **20** entre las superficies opuestas **32** y **34**, que se mueve a una velocidad relativa  $V$ , forma una capa intacta que permite que las superficies móviles interactúen con el lubricante. En dichas condiciones, no se produce ningún contacto en absoluto entre las superficies **32** y **34**, y se dice que la capa  
15 lubricante lleva una carga  $P$  que existe entre las superficies opuestas. Si el suministro de lubricante es insuficiente, surge una reducción en la eficacia de la lubricación, lo que permite que se produzcan interacciones de superficie a superficie.

Como se muestra esquemáticamente en la figura 1B, por debajo de un cierto nivel de suministro de lubricante, la  
20 distancia entre las superficies relativamente móviles opuestas **32** y **34** disminuye debido a la carga  $P$ , de tal forma que las asperezas de la superficie, es decir, los picos de material superficial que sobresalen de las superficies, pueden interactuar. Por lo tanto, por ejemplo, la aspereza **36** de la superficie **34** puede entrar en contacto físicamente e interactuar con una aspereza **38** de la superficie **32**. En una condición extrema, las asperezas de las superficies **32** y **34** llevan toda la carga existente entre las superficies de interacción. En esta condición, denominada  
25 con frecuencia como lubricación límite, el lubricantes es ineficaz y la fricción y el desgaste son elevados.

El esmerilado y el lapeado son métodos convencionales para mejorar la calidad superficial (por ejemplo, acabado superficial) y para producir superficies de trabajo para, entre otros, diversas aplicaciones tribológicas. La figura 1C (i)-(ii) ilustra esquemáticamente una superficie de trabajo acondicionándose en un proceso de lapeado convencional.  
30 En la figura 1C(i), una superficie de trabajo **32** de una pieza de trabajo **31** mira hacia una superficie de contacto **35** de la herramienta de lapeado **34**. Una pasta abrasiva que contiene partículas abrasivas, de las cuales se ilustra una partícula abrasiva típica **36**, se dispone entre la superficie de trabajo **32** y la superficie de contacto **35**. La superficie de contacto **35** de la herramienta de lapeado **34** está fabricada de un material que tiene una dureza inferior con respecto a la superficie de trabajo **32**. La Composición y la distribución de tamaño de las partículas abrasivas se  
35 seleccionan para desgastar fácilmente la superficie de trabajo **32** según lo previsto, tal como reducir la rugosidad de la superficie para conseguir un acabado predeterminado.

Se ejerce una carga en una dirección sustancialmente normal con respecto a las superficies **32** y **35**, haciendo que la partícula abrasiva **36** penetre la superficie de trabajo **32** y la superficie de contacto **35**, y dando como resultado  
40 una presión  $P$  que se ejerce sobre una sección de la partícula abrasiva **36** que se incrusta en la superficie de trabajo **32**. La profundidad de penetración de la partícula abrasiva **36** en la superficie de trabajo **32** se designa por  $h_{a1}$ ; la profundidad de penetración de la partícula abrasiva **36** en la superficie de contacto **35** se designa por  $h_{b1}$ . En general, la partícula abrasiva **36** penetra en la herramienta de lapeado **34** en mayor medida que la penetración en la pieza de trabajo **31**, de tal forma que  $h_{b1} > h_{a1}$ .

45 En la figura 1C(ii), la pieza de trabajo **31** y la herramienta de lapeado **34** se hacen para moverse a una velocidad relativa  $V$ . La presión  $P$ , y la velocidad relativa  $V$  de la pieza de trabajo **31** y la herramienta de lapeado **34**, son de tal magnitud que la partícula abrasiva **36**, que actúa como un cuchillo, sacada una viruta del material superficial de la pieza de trabajo **31**.

50 A velocidades relativas bajas, la partícula abrasiva **36** está sustancialmente parada. Típicamente, sin embargo, y como se muestra en la figura 1C(ii), la velocidad relativa  $V$  se selecciona de tal forma que una fuerza de cizalladura correspondiente  $Q$  sea suficientemente grande, con respecto a la presión  $P$ , de tal forma que la dirección del vector de fuerza combinado  $F$  en la partícula abrasiva **36** hace que la partícula abrasiva **36** gire. Ya que el material de la  
55 herramienta de lapeado **34** que está en contacto con la partícula abrasiva **36** es sustancialmente inflexible (es decir, de baja elasticidad) con respecto a las partículas en la pasta abrasiva, estas partículas se triturar normalmente bastante rápido, de tal forma que la pasta abrasiva debe reponerse con frecuencia.

En la técnica conocida, el esmerilado, lapeado, pulido y corte se realizan en materiales tales como metales,

cerámica, vidrio, plástico, madera y similares, usando abrasivos aglomerados, tales como muelas abrasivas, abrasivos revestidos, abrasivos sueltos y herramientas de corte abrasivo. Las partículas abrasivas, las herramientas de corte del proceso abrasivo, son de origen natural o materiales sintéticos que generalmente son mucho más duros que los materiales que cortan. Los abrasivos usados más comúnmente en aplicaciones con abrasivos aglomerados, 5 revestidos y sueltos son granate, alfa alúmina, carburo de silicio, carburo de boro, nitruro de boro cúbico y diamante. La dureza relativa de los materiales puede observarse a partir de la siguiente tabla:

Material	Número de Dureza Knoop
granate	1360
alfa-alúmina	2100
carburo de silicio	2480
carburo de boro	2750
nitruro de boro cúbico	4500
diamante (monocristalino)	7000

La elección del abrasivo obedece normalmente a motivos económicos, el acabado que se desee y el material que se 10 desgasta. La lista de abrasivos anterior está en orden de dureza creciente, pero también coincide en orden de coste creciente, siendo el granate el abrasivo menos costoso y el diamante el más caro.

Generalmente, se selecciona un abrasivo blando para raspar un material blando y un abrasivo duro para raspar tipos 15 mas duros de materiales teniendo en cuenta el coste de los diversos materiales abrasivos. Por supuesto, hay excepciones, tales como materiales muy gomosos en los que los materiales más duros realmente cortan más eficientemente. Además, cuanto más duro sea el grano abrasivo, más material eliminará por unidad de volumen o peso de abrasivo. Los materiales superabrasivos incluyen diamante y nitruro de boro cúbico, ambos de los cuales se usan en una amplia diversidad de aplicaciones.

20 Los métodos y sistemas de lapeado conocidos tienen varias deficiencias distintas, incluyendo:

- La superficie de contacto de la herramienta de lapeado se consume con el tiempo por el material abrasivo, requiriendo reemplazo. En algunas aplicaciones típicas, la superficie de contacto de la 25 herramienta de lapeado se reemplaza después de que se han procesado aproximadamente 50 piezas de trabajo.
- La sensibilidad a las propiedades de la pasta abrasiva, incluyendo la formulación de la fase, la dureza de las partículas abrasivas, y la distribución del tamaño de partículas (PSD) de las partículas abrasivas.
- La sensibilidad a diversos parámetros de procesamiento en el proceso de lapeado.
- El proceso de lapeado debe realizarse generalmente en varias fases de lapeado separadas, usando 30 cada fase una pasta abrasiva que tiene diferentes propiedades físicas.

Por lo tanto, existe una necesidad reconocida, y será altamente ventajoso tener piezas de trabajo que tengan mejores superficies de trabajo. Será adicionalmente ventajoso tener un sistema que supere las deficientes 35 manifestadas de las tecnologías de lapeado conocidas, y que produzca dichas superficies de trabajo mejoradas.

Las cuestiones abordadas por la presente invención se han abordado de una manera diferente, y menos satisfactoriamente, por Broido en la Patente de Estados Unidos N° 3.913.279. Broido muestra una herramienta de esmerilado cuya superficie de esmerilado incluye dos metales diferentes de dos durezas diferentes.

#### 40 RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención es una superficie de trabajo mejorada, y un sistema para la producción de la superficie de trabajo mejorada.

45 De acuerdo con las enseñanzas de la presente invención, se proporciona un proceso de lapeado para el acondicionamiento de una superficie de trabajo de metal de una pieza mecánica, de conformidad con la reivindicación 1.

**Preferiblemente, la dureza Brinell está dentro de un intervalo de 2-7 kg/mm<sup>2</sup>.**

50 **Preferiblemente, la superficie de contacto elástica incluye un material epoxi y/o poliuretano.**

Preferiblemente, el método también incluye la etapa de: (d) aplicar un microrrelieve a la superficie de trabajo para producir uno o más rebajes.

Preferiblemente, la superficie de contacto elástica se dispone en una herramienta de lapeado.

5 Preferiblemente, el método también incluye posteriormente a la etapa (c), las etapas de: (d) disponer la superficie de trabajo de metal generalmente opuesta a una segunda superficie, donde al menos una de la superficie de trabajo de metal y la segunda superficie sirve para soportar una carga; (e) disponer un lubricante entre las mismas; (f) ejercer la carga entre la segunda superficie y la superficie de trabajo; y (g) aplicar un movimiento relativo entre la segunda superficie y la superficie de trabajo. Mucho más preferiblemente, en estas etapas (d)-(g), la superficie de trabajo de metal se incorpora en un motor de combustión interna, por ejemplo, en una camisa de cilindro del motor de combustión interna. Además, mucho más preferiblemente, la superficie de trabajo de metal se incorpora en un elemento mecánico que produce fuerzas de fricción.

15 De acuerdo con las enseñanzas de la presente invención, también se proporciona un sistema de lapeado para el acondicionamiento de una superficie de trabajo de metal de una pieza mecánica, de conformidad con la reivindicación 12.

## 20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La invención se describe en el presente documento, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos. Ahora, con referencia específica a los dibujos en detalle, se subraya que las indicaciones mostradas son a modo de ejemplo y con fines de análisis ilustrativo de las realizaciones preferidas de la presente invención únicamente, y se presentan en aras de proporcionar lo que se cree que es la descripción más útil y fácilmente comprendida de los principios y aspectos conceptuales de la invención. A este respecto, no se hace ningún intento de mostrar los detalles estructurales de la invención en más detalle del necesario para un entendimiento fundamental de la invención, haciendo evidente la descripción tomada con los dibujos para los expertos en la técnica cómo pueden ponerse en práctica las diversas formas de la invención. A lo largo de los dibujos, se usan caracteres con referencias similares para designar elementos parecidos.

En los dibujos:

35 La figura 1A es una descripción esquemática de las superficies que interactúan mecánicamente que tienen una capa lubricante interpuesta;  
la figura 1B es una descripción esquemática de superficies que interactúan mecánicamente que tienen asperezas interactuantes;  
la figura 1C(i)-(ii) ilustra esquemáticamente una superficie de trabajo acondicionándose en un proceso de lapeado convencional;  
40 la figura 2 es una descripción de un concepto generalizado;  
la figura 3A es una vista lateral esquemática de un cilindro acanalado;  
la figura 3B es una vista esquemática de una placa de metal, cuya superficie de trabajo está acanalada;  
la figura 4A es un patrón de acanalado sinusoidal denso;  
la figura 4B es un patrón de acanalado sinusoidal;  
45 la figura 4C es un patrón sinusoidal de acanalado, que contiene ondas solapantes;  
la figura 4D es un patrón con muescas de acanalado;  
la figura 4E es un patrón de acanalado rómbico;  
la figura 4F es un patrón de acanalado helicoidal;  
50 la figura 5 es un diagrama de flujo del proceso de acondicionamiento de una superficie de trabajo empleando áreas rebajadas;  
la figura 6A es una vista esquemática de una interacción;  
la figura 6B es una descripción esquemática de una vista lateral de la superficie interactuante de la figura 6A;  
55 la figura 7A es una descripción esquemática en sección transversal de una superficie previamente mecanizada;  
la figura 7B es una descripción esquemática en sección transversal de una superficie nivelada;  
la figura 7C es una descripción esquemática en sección transversal de la superficie nivelada después del micro-acanalado;  
la figura 7D es una descripción esquemática en sección transversal de una superficie acanalada que tiene

crestas acondicionadas;

la figura 8A es una descripción esquemática en sección transversal de una superficie de trabajo antes del procesamiento;

5

la figura 8B es una descripción esquemática en sección transversal de la superficie de trabajo, después del micro-acanalado, estando las micro-acanaladuras rodeadas de bultos;

la figura 8C es una descripción esquemática en sección transversal de una superficie micro-acanalada nivelada, después del lapeado;

la figura 9A es una descripción esquemática en sección transversal de una herramienta de lapeado - interfaz de superficie de trabajo antes del lapeado;

10

la figura 9B es una descripción esquemática en sección transversal de la herramienta de lapeado - condición de la superficie de trabajo después del progreso del lapeado;

la figura 9C(i)-(iii) son una representación esquemática en sección transversal adicional de una superficie de trabajo acondicionándose en el proceso de lapeado de la invención;

15

la figura 10A-1 y la figura 10A-2 son representaciones fotográficas de patrones de humectación de una superficie de trabajo de referencia que se cubrió inicialmente con aceite, donde la figura 10A-1 representa la superficie de trabajo de la técnica anterior 5 segundos después de la distribución de una gota de aceite, y la figura 10A-2 representa la superficie de trabajo idéntica, 60 segundos después de la distribución de la gota de aceite;

20

la figura 10B-1 y la figura 10B-2 son representaciones fotográficas de patrones de humectación de una superficie de trabajo ejemplar que se cubrió inicialmente con aceite, donde la figura 10B-1 representa la superficie de trabajo de la invención 5 segundos después de la distribución de una gota de aceite, y la figura 10B-2 representa la superficie de trabajo idéntica, 60 segundos después de la distribución de la gota de aceite;

25

la figura 11A es una ilustración esquemática en sección transversal de una superficie previamente cubierta;

la figura 11B es una ilustración esquemática en sección transversal de la superficie cubierta de la figura 10A;

la figura 11C es una ilustración esquemática en sección transversal de las micro-acanaladuras de la superficie de la figura 10B, de acuerdo con otra realización;

30

la figura 12 es una ilustración esquemática en sección transversal de una superficie de trabajo cubierta por una cubierta de plástico con muescas, de acuerdo con otra realización;

la figura 13 es una descripción esquemática isométrica de una configuración experimental para discos de prueba;

35

la figura 14 es una ilustración esquemática de un banco de pruebas para evaluar las propiedades tribológicas de los rodillos procesados de acuerdo con la presente invención, en una prueba de "una gota";

la figura 15 muestra el coeficiente de fricción en el punto de detención de la prueba, para cada rodillo, y

la figura 16 proporciona gráficos del coeficiente de fricción ( $\mu$ ) y el desgaste (h) en función de la longitud de fricción (L).

#### DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

40

Los principios y operación de la presente invención pueden entenderse mejor con referencia a los dibujos y la descripción adjunta.

45 Antes de explicar al menos una realización de la invención en detalle, se ha apreciar que la invención no se limita en su aplicación a los detalles de construcción y la disposición de los componentes expuestos en la siguiente descripción o ilustrados en los dibujos. La invención puede realizar otras realizaciones o puede ponerse en práctica o realizarse de diversas formas. Además, se entenderá que la fraseología y terminología empleadas en el presente documento es con fines de descripción y no debe interpretarse como limitante.

50 En términos más generales, el proceso transforma una superficie de trabajo, formando dos zonas, una que tiene un alto grado de repelencia al lubricante, y la otra que tiene una atracción relativa hacia el lubricante. Las dos zonas se interponen como se describirá más adelante. Una zona constituye un conjunto de estructuras bien distribuidas sobre la superficie de trabajo, que tiene una atracción más pronunciada hacia el lubricante. Se muestra una representación esquemática del concepto en la figura 2, a la que se hace referencia ahora. Se muestra una superficie de trabajo  
55 esquemática que consiste en una combinación de zonas. Las zonas marcadas A se ven atraídas por el lubricante, y las zonas marcadas R son relativamente repelentes al lubricante.

La diferencia entre las zonas con respecto a la atracción al lubricante se asocia con una diferencia estructural. Los aspectos estructurales del sistema de esta realización se describen esquemáticamente en referencia a las figuras

3A-B. En la figura 3A, un cilindro **50** tiene su superficie estructurada de tal forma que se graban una o más acanaladuras, tal como la acanaladura helicoidal **52**, sobre la superficie. Típicamente, dichas acanaladuras tienen una profundidad máxima de aproximadamente 5-30 micrómetros, y una anchura de aproximadamente 100-1000 micrómetros. El resto de la superficie original es una o más crestas, en este ejemplo, una cresta helicoidal **54**.  
 5 Por lo tanto, el exterior del cilindro **50** incluye dos zonas, la zona superficial que incluye las crestas, y la zona rebajada que incluye las acanaladuras. En la figura 3B, se ha procesado una plancha de metal **60**. La superficie de trabajo, después de experimentar una interacción de fricción con otro elemento (no mostrado), incluye las acanaladuras **62**, cuyo conjunto se convierte en la zona rebajada, y las crestas alternas **64**, que forman la zona superficial de la superficie de trabajo de la plancha de metal **60**.

10

### Patrones de zona

Como se ha explicado anteriormente, una realización preferida emplea rebajes como atrayentes de lubricante y crestas superficiales como zonas repelentes al lubricante. En las figuras 4A-F se proporcionan patrones  
 15 esquemáticos ejemplares de rebajes, tales como microacanaladuras, que son adecuados para los aspectos estructurales de las realizaciones. Las figuras 4A-B muestran patrones sinusoidales de densidad variable; la figura 4C muestra un patrón sinusoidal que contiene senos solapantes; la figura 4D muestra un patrón con muescas; la figura 4E muestra un patrón de romboides, y la figura 4F muestra un patrón helicoidal. La diversidad de patrones opcionales es muy amplia, y los ejemplos que se han dado anteriormente constituyen únicamente algunos  
 20 representativos.

### Procesamiento de la superficie de trabajo

El procesamiento implica la formación de una superficie que posee zonas repelentes al lubricante. En una  
 25 realización preferida, la superficie es una superficie de compuesto que posee tanto zonas atractivas para el lubricante como zonas repelentes al lubricante. Preferiblemente, la zona repelente al lubricante es una zona superficial de la superficie de trabajo, que puede producirse mediante el procesamiento mecánico de la superficie de trabajo, o cubriendo la zona superficial con una capa repelente al lubricante.

30 En algunas realizaciones, el procesamiento mecánico de una superficie de trabajo con el fin de transmitir propiedades de fricción particulares requiere un cambio en el relieve de la superficie de trabajo. En un proceso preferido para el acondicionamiento de la superficie de trabajo, que se describe esquemáticamente en la figura 5, la formación de una zona rebajada y el acondicionamiento de la zona superficial tienen lugar en el siguiente orden: En la etapa **90**, la superficie de trabajo se mecaniza por abrasión y/o lapeado para obtener un alto grado de planitud y  
 35 acabado superficial. En la etapa **92**, la zona rebajada se forma como se explicará más adelante, y en la etapa **94**, tiene lugar el acondicionamiento de la zona superficial.

El lapeado es una técnica adecuada para dicho acondicionamiento de la zona superficial. El lapeado puede conseguir una valoración de planeza muy buena, y un acabado muy bueno. La técnica de lapeado usa un material  
 40 abrasivo que fluye libremente, en comparación con el esmerilado, que usa abrasivos fijos.

La figura 6A describe esquemáticamente una superficie interactuante **100**, cuya superficie de trabajo **102** se va a procesar de acuerdo con una realización.

45 Se muestra una vista en sección transversal de la superficie en la figura 6B, indicando la posición de una vista ampliada de la sección transversal mostrada en las figuras 7A-D. En la figura 7A, se muestra la superficie previamente mecanizada **106**. En la figura 7B, la superficie mecanizada se muestra nivelada. En la figura 7C, se muestra la superficie **106** después de la formación de las microacanaladuras **108**. En la siguiente etapa, como se muestra en la figura 7D, la superficie de trabajo se ha transformado, para transmitir propiedades repelentes al  
 50 lubricante a la zona superficial **109**. Se ha formado una nueva capa dentro de la zona superficial, estando esta capa designada esquemáticamente por el número **110**. El motivo de que la etapa de lapeado vaya preferiblemente después de la fase de producción de microacanaladuras es que la formación de las microestructuras rebajadas sobre la superficie puede hacer que aparezcan bultos. Dichos bultos pueden aparecer incluso si los cambios estructurales se hacen por corte láser. Esto se ilustra en las figuras 8A-B, a las que ahora se hace referencia. En la  
 55 figura 8A, la sección transversal en la superficie de trabajo se representa esquemáticamente por la línea **120**. En la figura 8B, se forman las microacanaladuras **120**, acompañadas por los bultos **122**. En la figura 8C, la zona superficial se ha procesado por lapeado, nivelando de los bultos y produciendo la capa deformada plásticamente **124**, que es repelente al lubricante. Si la etapa de formación de microrrelieves no afecta a la forma y las propiedades de la zona superficial, entonces la etapa de formación de microrrelieves tiene lugar la última.

Como se ha mencionado anteriormente, el lapeado es un método de acabado mecánico para obtener las características de la superficie de trabajo del elemento mecánico de acuerdo con la presente invención. El lapeado incorpora una herramienta de lapeado, cuya superficie es más blanda que la superficie de trabajo de la pieza mecánica procesada. El grano abrasivo debe ser mucho más duro que la cara de la herramienta de lapeado, y más duro que la superficie de trabajo procesada. Es esencial que el grano abrasivo no sea demasiado duro o frágil, por lo tanto, el grano de diamante no es apropiado para la tecnología de lapeado de la invención. Se ha descubierto que el óxido de aluminio es un material abrasivo adecuado para una diversidad de superficies de lapeado y superficies de trabajo.

Las figuras 9A-B presentan esquemáticamente etapas progresivas en el proceso de lapeado de la invención, en el que se promueve el acondicionamiento de la superficie de trabajo. La condición inicial se muestra esquemáticamente al nivel microscópico en la figura 9A. La topografía irregular de la superficie de trabajo **132** (dispuesta en la pieza de trabajo **131**) se orienta hacia la herramienta de lapeado **134** y se separa una distancia irregular entre las mismas. Las partículas abrasivas **136** y otras se hunden parcialmente en la herramienta de lapeado **134**, y en menor medida, en la superficie de trabajo **132**. La superficie de trabajo y la herramienta de lapeado están hechas para moverse en un movimiento relativo designado por la flecha **138**. Este movimiento tiene una magnitud instantánea **V**.

En la figura 9B, tiene lugar alguna acción de lapeado, que hace que la superficie de trabajo **132** se vuelva menos irregular. Como resultado del movimiento relativo entre las superficies, las partículas abrasivas, tal como la partícula abrasiva **139**, ahora se redondean en cierta medida, perdiendo algunos de sus bordes afilados durante el transcurso del frotamiento contra las superficies.

Aunque inicialmente, las partículas abrasivas **136** penetran en la superficie de trabajo **132** y sacan material de la misma, según el proceso continúa, y las partículas abrasivas se vuelven redondeadas, no se elimina sustancialmente ninguna reserva adicional de la pieza procesada. En su lugar, el movimiento de lapeado realiza una deformación plástica en la superficie de trabajo **132** de la pieza de trabajo **131**, para aumentar la micro-dureza de la superficie de trabajo **132**. La capa o capas endurecidas en la superficie de trabajo **132** se asocian, entre otros, con la propiedad de repelencia con respecto al lubricante.

La figura 9C (i)-(iii) son una representación esquemática adicional de una superficie de trabajo acondicionándose en un proceso y sistema de lapeado de la presente invención. En la figura 9C(i), una superficie de trabajo **132** de una pieza de trabajo **131** se orienta hacia una superficie de contacto **135** de la herramienta de lapeado **134**. Se dispone una pasta abrasiva que contiene partículas abrasivas, de las cuales se ilustra una partícula abrasiva típica **136**, entre la superficie de trabajo **132** y la superficie de contacto **135**. Como en las tecnologías de lapeado convencionales, la superficie de contacto **135** de la herramienta de lapeado **134** está fabricada de un material que tiene una resistencia al desgaste mayor y una dureza inferior con respecto a la superficie de trabajo **132**. La composición y distribución de tamaño de las partículas abrasivas se seleccionan para desgastar fácilmente la superficie de trabajo **132** según lo previsto, tal como reduciendo la rugosidad de la superficie a una rugosidad predeterminada.

Se ejerce una carga en una dirección sustancialmente normal con respecto a las superficies **132** y **135**, haciendo que la partícula abrasiva **136** penetre la superficie de trabajo **132** y la superficie de contacto **135**, y dando como resultado una presión **P** que se ejerce en una sección de la partícula abrasiva **136** que se incrusta en la superficie de trabajo **132**. La profundidad de penetración de la partícula abrasiva **136** en la superficie de trabajo **132** se designa por  $h_{a2}$ ; la profundidad de penetración de la partícula abrasiva **136** en la superficie de contacto **135** se designa por  $h_{b2}$ . La partícula abrasiva **136** penetra en la herramienta de lapeado **134** en una medida mucho mayor que la penetración en la pieza de trabajo **131**, de tal forma que  $h_{b2} > h_{a2}$ . Significativamente, debido al carácter elástico sustancial de la deformación de la superficie de contacto de la invención **135**, la profundidad de penetración de la partícula abrasiva **136** en la superficie de contacto **135** es mucho mayor que las profundidades de penetración de partículas abrasivas idénticas en las superficies de contacto de la técnica anterior (bajo la misma presión **P**), es decir,

$$h_{b2} > h_{b1},$$

donde  $h_{b1}$  se define en la figura 1C(i). En consecuencia, la profundidad de penetración de la partícula abrasiva **136** en la superficie de trabajo **132**,  $h_{a2}$ , es mucho menor que la profundidad de penetración correspondiente,  $h_{a1}$ , de la técnica anterior, es decir,

$$h_{a2} < h_{a1}.$$

- En la figura 9C(ii), la pieza de trabajo **131** y la herramienta de lapeado **134** se hacen para que se muevan a una velocidad relativa **V**. La presión **P**, y la velocidad relativa **V** de la pieza de trabajo **131** y la herramienta de lapeado **134**, son de una magnitud tal que la partícula abrasiva **136**, que actúa como un cuchillo, extrae una viruta del material de la superficie de la pieza de trabajo **131**. Esta viruta es típicamente mucho más pequeña que las virutas que se sacan de las superficies de trabajo acondicionadas por las tecnologías de lapeado de la técnica anterior.
- 10 En las figuras 9C(ii)-(iii), la velocidad relativa **V** se selecciona de tal forma que una fuerza de cizalladura correspondiente **Q** es suficientemente grande, con respecto a la presión **P**, de tal forma que la dirección del vector de fuerza combinado **F** en la partícula abrasiva **136** hace que la partícula abrasiva **136** gire. Durante esta rotación, la elasticidad de la herramienta de lapeado **134** y la superficie de contacto **135** da como resultado menos tensiones internas en la partícula abrasiva **136**, con respecto a la técnica anterior, de tal forma que una partícula típica, tal como la partícula abrasiva **136**, no se destruya, sino que los bordes de la superficie se redondeen. Una idealización de este fenómeno de redondeo se proporciona esquemáticamente en la figura 9C(iii).

Las superficies de trabajo tienen una microestructura intrínseca que influye en diversas propiedades macroscópicas de la superficie. Sin desear quedar ligado a teoría alguna, se cree que el sistema de lapeado de la invención realiza una deformación plástica en la superficie de trabajo, para mejorar la microestructura de la superficie de trabajo.

Una manifestación de la microestructura modificada es una microdureza aumentada en gran medida. Otra manifestación de la microestructura modificada es la propiedad de humectación característica de la superficie de la invención, como se muestra en la figura 10B-1 y la figura 10B-2. La propiedad de humectación característica de una superficie de referencia se muestra, con fines comparativos, en la figura 10A-1 y la figura 10A-2.

Tanto el espécimen de la superficie de referencia como el espécimen de la superficie de la invención se hacen de acero SAE 4340 recocido (HRC = 54). Se dispersó una única gota de aceite C22 en toda la superficie de cada espécimen, de tal forma que la cobertura, o la humectación, fue sustancialmente del 100%. Posteriormente, el área humedecida se supervisó en función del tiempo. La figura 10A-1 representa la superficie de trabajo de referencia 5 segundos después de la distribución de la gota de aceite, y la figura 10A1-2 representa la superficie de trabajo idéntica, 60 segundos después de la distribución de la gota de aceite. Como se esperaba, el espécimen de la superficie de referencia quedó completamente cubierto por la capa de aceite, y continuó estando completamente cubierto durante toda la duración de la prueba (24 horas).

La figura 10B-1 y la figura 10B-2 son representaciones fotográficas de patrones de humectación de una superficie de trabajo de la invención ejemplar que se cubrió inicialmente con aceite, donde la figura 10B-1 representa la superficie de trabajo de la invención 5 segundos después de la distribución de una gota de aceite, y la figura 10B1-2 representa la superficie de trabajo idéntica, 60 segundos después de la distribución de la gota de aceite. Al contrario del espécimen de referencia, el área humedecida disminuyó rápidamente en cuestión de segundos.

El coeficiente de humectación adimensional característico, definido por:

$$\frac{A(t)}{A_0}$$

$$A_0$$

donde  $A(t)$  es el área humedecida nominal de la superficie de trabajo en función del tiempo, y  $A_0$  es el área superficial nominal de la superficie de trabajo, disminuyó de un valor de 1 a  $t = 0$  a aproximadamente 0,85 después de únicamente 5 segundos. Después de 1 minuto, el coeficiente de humectación adimensional característico descendió por debajo de 0,25. Como se ha analizado anteriormente en el presente documento, esta cualidad repelente al líquido de la superficie de trabajo de la invención está relacionada con una reducción de la fricción y el desgaste, una reducción del riesgo de agarrotamiento, y una prolongación de la vida operativa de los elementos mecánicos que incorporan dichas superficies.

#### **Criterios Mecánicos para la Superficie de Contacto de la Herramienta de Lapeado**

Se ha descubierto que cubrir una herramienta de lapeado con una capa fina (por ejemplo, 0,05-0,4 mm), algo

elástica, promueve tanto la microdureza como la repelencia al lubricante de una superficie de trabajo acondicionada. Los criterios mecánicos que tal capa debe cumplir incluyen:

- 5 1. Resistencia al desgaste con respecto a la pasta abrasiva usada en el proceso de lapeado;
  2. Deformación elástica de tal forma que las partículas abrasivas individuales sobresalgan en, y se mantengan por, la capa; según las partículas abrasivas individuales giran durante el contacto con la superficie de trabajo, la deformación elástica debe permitir que la capa se absorba en la capa en profundidades variables, de acuerdo con las presiones variables ejercidas entre las partículas y la superficie de trabajo. En consecuencia, las partículas abrasivas giran contra la superficie de trabajo y se redondean
  - 10 3. La dureza de la capa debe seleccionarse de tal forma que la capa no rompa o triture de forma apreciable el polvo abrasivo;
  4. Fuerte adhesión de la capa a la base de la herramienta de lapeado.
- 15 A modo de ejemplo, se ha descubierto que una mezcla de cemento epoxi y poliuretano en una relación de aproximadamente 10:90 a 30:70, en peso, es adecuada para formar la superficie de contacto de la herramienta de lapeado. En la mezcla de cemento epoxi/poliuretano, el epoxi proporciona la dureza y la adhesión a la base de la herramienta de lapeado, mientras que el poliuretano proporciona la elasticidad y resistencia al desgaste necesarias.
- 20 La superficie de contacto (superficie de lapeado) debería tener la siguiente combinación de propiedades físicas y mecánicas:
- Dureza Brinell dentro de un intervalo de 2-10 kg/mm<sup>2</sup>;
  - Resistencia al impacto dentro de un intervalo de 30-70 kg·m/cm<sup>2</sup>;
  - 25 - Adhesión suficiente a la base de la herramienta de lapeado, para aquellas aplicaciones que utilizan una base de la herramienta de lapeado.

Cabe apreciarse que pueden desarrollarse una diversidad de materiales o combinaciones de materiales, por un experto en la técnica, que satisfagan estos requisitos de propiedades físicas y mecánicas.

- 30 En otra realización, se aplica una capa plástica sobre la superficie de trabajo en lugar de acondicionar mecánicamente la zona superficial. La superficie de trabajo se cubre con un revestimiento plástico que tiene el conjunto de propiedades mecánicas que se ha descrito anteriormente. El procedimiento para cubrir la superficie de trabajo incluye en primer lugar, cubrir la superficie de trabajo con un precursor del recubrimiento. Las fases
- 35 principales en el procesamiento de una superficie de trabajo de acuerdo con esta realización se ilustran en las figuras 11A-C, a las que se hace referencia ahora. En la figura 11A, la superficie de trabajo se designa 150. En la figura 11B, se dispone un recubrimiento plástico 152 sobre la superficie de trabajo 150. Después de que se deposite el recubrimiento 152, se eliminan las porciones del recubrimiento 152, a modo de ejemplo, sometiendo la superficie de trabajo 150 y el recubrimiento 152 a micro-acanalado, como se muestra esquemáticamente en la figura 11C. Las
- 40 micro-acanaladuras o rebajes 154 penetran a través del revestimiento plástico 152 y en la superficie de trabajo 150. En este ejemplo, las crestas 153, que tienen una superficie hecha de recubrimiento plástico 152, constituyen una zona superficial, mientras que los rebajes 154 constituyen una zona rebajada. La zona rebajada es más atractiva para el lubricante aplicado a la superficie de trabajo que la zona superficial.
- 45 En otra realización, la superficie de trabajo se procesa previamente por esmerilado. Posteriormente, la superficie se recubre por una capa de cinta repelente al lubricante, que contiene orificios. Los resultados de este procedimiento se muestran esquemáticamente en la figura 12. La superficie de trabajo 160 se cubre con una lámina perforada plástica 162, en la que unos orificios, tal como el orificio 164, se perforan antes del recubrimiento.

## 50 Formación de la zona rebajada

- Con el fin de formar la zona rebajada, la superficie de trabajo se microestructura para obtener una pluralidad de rebajes. Esto puede conseguirse mediante diversos métodos conocidos en la técnica, incluyendo corte mecánico, grabado por láser y ataque químico. Se indican métodos para producir microrrelieve regular en las piezas mecánicas
- 55 por M. Levitin y B. Shamshidov en "A Disc on Flat Wear Test Under Starved Lubrication", Tribotest Journal 4-2, Diciembre 1997, (4), 159.

## EJEMPLOS

Ahora se hace referencia a los siguientes ejemplos, que junto con la anterior descripción, ilustran la invención de una manera no limitante.

**EJEMPLO 1**

5 La configuración experimental se describe esquemáticamente en la figura 13, a la que se hace referencia ahora. Un conjunto intercambiable de discos de acero al carbono de 30 mm de diámetro, tal como el disco **186** que puede girar alrededor de un árbol, se hace para que gire contra una contraplaca plana **192** para medir el desgaste. Los discos están fabricados de acero al carbono de grado 1045, que tiene una HRC de 27-30. El motor eléctrico o engranaje **190** suministra el par motor para la rotación. La contraplaca **192** está fabricada de una aleación de cobre (UNS C93700 (HRC = 22-24)), esmerilada a una rugosidad media (Ra) de 0,4 micrómetros. La contraplaca **192** tiene un soporte **194**, que tiene una altura ajustable para controlar la fuerza aplicada sobre el disco **186**.

15 Los discos de control tienen un acabado de esmerilado convencional (Ra = 0,4 micrómetros), mientras que los discos de prueba experimentan un tratamiento adicional por la cara micro-acanalada **196** del disco, y después por lapeado. Durante los experimentos, se aplica al disco una carga permanente de 100 N en la dirección de la contraplaca **192**. Se aplica una gota de aceite industrial Amoco 32 (equivalente al aceite de turbina ASTM 150) a la superficie de fricción en seco antes de activar el motor para conseguir una velocidad de giro constante de 250 rpm. Se midió el tiempo hasta el gripado, que es el tiempo acumulado desde el inicio del giro, hasta el momento en el que el movimiento se detuvo por agarrotamiento.

25 Después de 16-18 minutos, todos los discos de control experimentaron agarrotamiento. Al contrario, el disco que se trató por micro-acanalado y lapeado, continuó girando sin detenerse, durante un periodo superior a 40 horas, momento en el que el experimento se limitó. No se produjo el agarrotamiento del disco tratado.

En otro experimento, el disco se giró a 180 rpm. Un grupo de control se sometió a acabado por esmerilado. Un segundo grupo de discos se sometió a micro-acanalado. Un tercer grupo de discos se sometió a micro-acanalado y a lapeado.

30 Los resultados de una prueba con una gota se proporcionan en la Tabla 1. Se calcularon el trayecto del disco hasta el agarrotamiento, el coeficiente de fricción y la intensidad del desgaste (medida por la depresión pico formada en la contraplaca como resultado de la fricción con el disco).

Tabla 1: Resultados de Discos que Ruedan Contra una Contraplaca

Tratamiento superficial del disco	Trayecto calculado hasta el agarrotamiento (en Km)	Coefficiente de fricción	Intensidad de desgaste (en mm <sup>3</sup> /Km).
Esmerilado	1,5	0,1-0,2	0,2
Esmerilado + micro-acanalado	8,7	0,08-0,12	0,02
Esmerilado + micro-acanalado + lapeado	Al menos 29,7	0,03-0,04	0,001

35 La superficie de trabajo incorporada en diversos elementos mecánicos que produjeron fuerzas de fricción, reduce la fricción y el desgaste, el riesgo de agarrotamiento y prolonga la vida operativa de dichos elementos. En aplicaciones de punzonado, las cualidades de la superficie de trabajo se mejoran, y se observar una reducción de potencia de hasta el 30 %.

40 En motores de combustión interna, la superficie de trabajo, y el sistema para la producción de la misma, se aplicaron a camisas de cilindro de 120 mm de motores diesel y a motores de motocicleta de 108 mm de diámetro. Los resultados de las pruebas demuestran que para un nivel de rendimiento determinado, el uso de camisas que tienen la superficie de trabajo, en comparación con camisas convencionales, reduce el consumo de combustible. Además,   
45 las camisas que tienen las superficies de trabajo tienen una vida útil característicamente mayor, y pierden menos aceite.

Como se usa en el presente documento en la memoria descriptiva, la expresión "zona atrayente al líquido" se refiere a una zona en una superficie de trabajo en la que el coeficiente de humectación adimensional característico es superior a 0,95, y típicamente mayor de 0,98, 60 minutos después de la dispersión inicial de aceite sobre la   
50 superficie de trabajo.

Como se usa en el presente documento en la memoria descriptiva, la expresión "coeficiente de humectación adimensional característico" se define por:

$$\frac{A(t)}{A_0}$$

5

donde  $A(t)$  es el área humedecida de la superficie de trabajo en función del tiempo, y  $A_0$  es el área superficial nominal de la superficie de trabajo, y donde el líquido usado para determinar  $A(t)$  es aceite industrial N° 22.

10 Como se usa en el presente documento en la memoria descriptiva y en la sección de reivindicaciones que se indica a continuación, la expresión "aceite industrial N° 22", "aceite industrial C22", y similares se refiere a un aceite industrial estándar para aplicaciones mecánicas, que tiene una viscosidad de ~22 centistokes a 40 °C.

15 Como se usa en el presente documento en la memoria descriptiva, la expresión "área superficial nominal" con respecto a una superficie de trabajo, se refiere a un área superficial de la superficie basándose en las dimensiones geométricas globales, sin tener en cuenta la microestructura. Por lo tanto, una superficie de trabajo cuadrada de 4 cm x 4 cm tiene un área superficial nominal de 16 cm<sup>2</sup>.

### **EJEMPLO 2**

20 Se usó un rodillo en un tribómetro de bloque para evaluar las propiedades tribológicas de los rodillos procesados de acuerdo con la presente invención, en una "prueba de una gota". El banco de pruebas se describe esquemáticamente en la figura 14. Un rodillo giratorio **2** se pone en contacto con un bloque estacionario **3** a una carga dada **P** mientras que se aplica una pequeña cantidad de lubricante (una gota) al contacto. Se usa un transductor de fuerza **4** para medir la fuerza de fricción **F** y una sonda de proximidad **9** mide la variación en el  
25 espacio, proporcionando así el desgaste total del rodillo **2** y el bloque **3**. Tanto la fricción como el desgaste se supervisan y se registran continuamente en función del tiempo. La prueba se detiene en el caso de uno cualquiera de los tres eventos siguientes: (a) el coeficiente de fricción  $=F/P$  alcanza un valor de 0,3; (b) empieza el agarrotamiento entre el rodillo y el bloque (caracterizado por un aumento bien definido repentino de la fricción y un aumento correspondiente en el nivel de ruido), o (c) la fricción alcanza un valor máximo y empieza a disminuir. La  
30 duración de la prueba se define como el tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba hasta el final de la prueba debido a la aparición de los eventos (a) o (b) que se han descrito anteriormente, o el tiempo correspondiente a la fricción máxima en el caso del evento (c). Ha de apreciarse que en este caso especial (c), la prueba continua durante aproximadamente 20 minutos más allá de la "duración de la prueba" antes de la detención completa. Para cada nueva prueba, el bloque **3** se mueve en horizontal en su soporte **6** para proporcionar un contacto nuevo.

35

Las pruebas se realizaron en cada uno de 6 especímenes de rodillo de acero, usando un bloque de bronce como la superficie contraria. El rodillo N° 1 y el rodillo N° 6 son rodillos de referencia, como se describe en la Tabla 2 a continuación en el presente documento. Los rodillos N° 2-5 se procesaron con un microrrelieve combinado, de acuerdo con la presente invención, con diversos patrones de acanaladuras y áreas acanaladas. Se usó aceite SAE  
40 40 a temperatura ambiente como lubricante. Se puso una gota de aceite en el rodillo **2**, que después se puso en contacto ligero (18 N de carga) con el bloque de bronce **3** y giró (manualmente) dos revoluciones para extender el aceite por toda la circunferencia. La cantidad de aceite en exceso transferida al bloque se limpió con una toalla de papel limpia, dejando únicamente el rodillo lubricado. La carga se aumentó a un nivel de  $P = 150$  N, y la prueba se  
45 inició con una velocidad de rodillo de  $105 \pm 5$  rpm.

45

La Tabla 2 presenta la duración de la prueba, en minutos, de cada rodillo, e indica el tipo de evento que causó la parada de la prueba. La figura 15 muestra el coeficiente de fricción en el momento de la detención de la prueba para cada rodillo.

50 El rodillo de referencia N° 1 se agarrotó después de un tiempo muy corto de 6 minutos a un coeficiente de fricción = 0,23. El rodillo N° 6 mostró una fricción continuamente en aumento, y la prueba se detuvo después de 21 minutos, a un coeficiente de fricción = 0,3 y comienzo de agarrotamiento.

55 Todos los rodillos procesados de acuerdo con la presente invención (rodillos N° 2 a N° 5) mostraron un aumento de la fricción hasta un valor máximo determinado seguido de un descenso de la fricción. El coeficiente de fricción máximo en estos 4 rodillos no fue más de 0,18. El rodillo N° 5 tuvo un coeficiente de fricción de 0,11, que fue el coeficiente de fricción más bajo de los seis rodillos.

Se proporciona un gráfico del coeficiente de fricción ( $\mu$ ) y el desgaste (h) en función de la longitud de fricción (L) en la figura 16.

5

TABLA 2

Rodillo Nº	1 (referencia)	2	3	4	5	6 (referencia)
Material del rodillo	Acero SAE 4340					
Prep. del rodillo	superficie del suelo	CMR de la invención	microrrelieve regular sin bultos			
Calor	Ra $\approx$ 0,2 $\mu$					
Tratamiento	HRC 52-54					
Duración de la prueba (min)	6	52	53	25	37	21
Evento de detención	B	C	C	C	C	A y B

Aunque la invención se ha descrito junto con realizaciones específicas de la misma, es evidente que muchas alternativas, modificaciones y variaciones serán aparentes para los expertos en la técnica. Por consiguiente, se pretende incluir todas estas alternativas, modificaciones y variaciones que están dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un proceso de lapeado para el acondicionamiento de una superficie de trabajo de metal (132) de una pieza mecánica, sirviendo la superficie de trabajo de metal (132) para soportar una carga, comprendiendo el proceso de lapeado las etapas de:
- (a) proporcionar un sistema de lapeado que incluye:
- (i) una pieza de trabajo (131) que tiene la superficie de trabajo de metal (132),  
 (ii) una superficie de contacto elástica (135), dispuesta en general opuesta a dicha superficie de trabajo (132), y  
 (iii) una pluralidad de partículas abrasivas (136), estando dichas partículas (136) dispuestas libremente entre dicha superficie de contacto (135) y dicha superficie de trabajo (132);
- (b) ejercer una carga sobre dicha superficie de contacto (135) y dicha superficie de trabajo (132), de tal forma que al menos una partícula abrasiva (136) de dichas partículas abrasivas (136) realiza una penetración de dicha superficie de contacto (135) y dicha superficie de trabajo (132); y  
 (c) lapear dicha pieza de trabajo (131) aplicando un movimiento relativo entre dicha superficie de trabajo (132) y dicha superficie de contacto (135), para producir la pieza mecánica, teniendo dicha superficie de contacto (135) y dichas partículas abrasivas (136) unas propiedades físicas y mecánicas seleccionadas para:
- (i) realizar una interacción al menos parcialmente elástica entre dicha superficie de contacto (135) y dicha al menos una partícula abrasiva (136), para realizar dicha penetración de dicha superficie de trabajo (132), e  
 (ii) incrustar elásticamente dicha al menos una partícula abrasiva (136) en dicha superficie de contacto elástica (135);  
 en el que las partículas abrasivas penetran en la superficie de contacto elástica a una profundidad mayor que su penetración en la superficie de trabajo de metal,  
 y **caracterizado por que** dicha superficie de contacto elástica (135) tiene una dureza Brinell dentro de un intervalo de 2-10 kg/mm<sup>2</sup> y **una resistencia al impacto dentro de un intervalo de 30-70 kg·m/cm<sup>2</sup>**
2. El proceso de lapeado de la reivindicación 1, en el que dicha dureza Brinell está dentro de un intervalo de 2-7 kg/mm<sup>2</sup>.
3. El proceso de lapeado de la reivindicación 1, en el que dicha superficie de contacto elástica (135) incluye un material epoxi.
4. El proceso de lapeado de la reivindicación 1, en el que dicha superficie de contacto elástica (135) incluye un poliuretano.
5. El proceso de lapeado de la reivindicación 1, en el que dicha superficie de contacto elástica (135) incluye un material epoxi y un poliuretano.
6. El proceso de lapeado de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente la etapa de
- (d) aplicar microrrelieve a dicha superficie de trabajo (132, 150) para producir al menos un rebaje (154).
7. El proceso de lapeado de la reivindicación 1, en el que dicha superficie de contacto elástica (135) se dispone sobre una herramienta de lapeado.
8. El proceso de lapeado de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente, posteriormente a la etapa (c), las etapas de:
- (d) disponer dicha superficie de trabajo de metal (132) generalmente opuesta a una segunda superficie, en el que al menos una de dicha superficie de trabajo de metal (132) y dicha segunda superficie sirve para soportar una carga;  
 (e) disponer un lubricante entre las mismas;

- (f) ejercer dicha carga entre dicha segunda superficie y dicha superficie de trabajo (132); y
- (g) aplicando un movimiento relativo entre dicha segunda superficie y dicha superficie **de trabajo** (132).

9. El proceso de lapeado de la reivindicación 8, en el que, en las etapas (d)-(g), dicha superficie de trabajo de metal (132) se incorpora en un motor de combustión interna.

10. El proceso de lapeado de la reivindicación 9, en el que dicha superficie de trabajo de metal (132) se incorpora in a camisa de cilindro de dicho motor de combustión interna.

10 11. El proceso de lapeado de la reivindicación 8, en el que dicha superficie de trabajo de metal (132) se incorpora en un elemento mecánico que produce fuerzas de fricción.

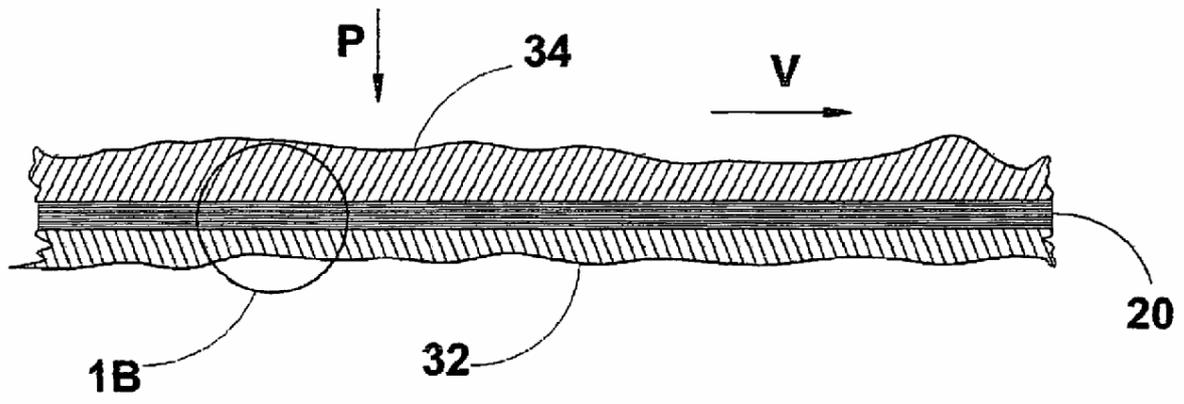
12. Un sistema de lapeado para el acondicionamiento de una superficie de trabajo de metal (132) de una pieza mecánica, sirviendo la superficie de trabajo (132) para soportar una carga, comprendiendo el sistema de lapeado:

- (a) una pieza de trabajo (131) que tiene la superficie de trabajo de metal (132);
- (b) una superficie de contacto elástica (135), dispuesta en una herramienta de lapeado, generalmente opuesta a dicha superficie de trabajo (132); y
- (c) una pluralidad de partículas abrasivas (136), estando dichas partículas (136) dispuestas libremente entre dicha superficie de contacto (135) y dicha superficie de trabajo (132), en el que el sistema de lapeado está diseñado y configurado para:

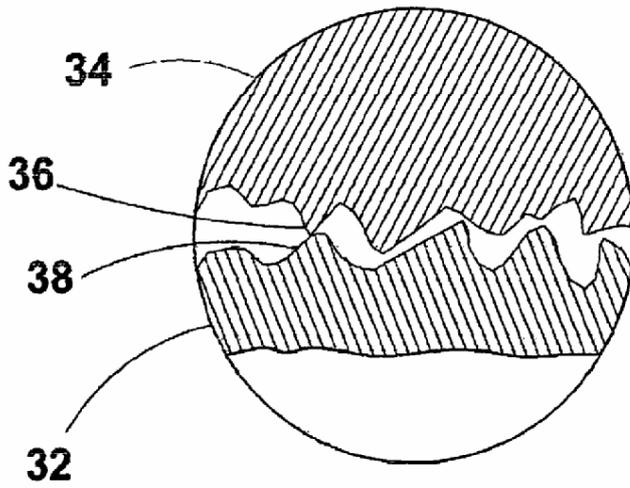
aplicar una carga sobre dicha superficie de contacto (135) y dicha superficie de trabajo (132), para poner al menos una partícula abrasiva (136) de dichas partículas abrasivas (136) en contacto con tanto dicha superficie de contacto (135) como dicha superficie de trabajo (132), y aplicar un movimiento relativo entre dicha superficie de trabajo (132) y dicha superficie de contacto (135), para producir la pieza mecánica, en el que dicha superficie de contacto elástica (135) y dichas partículas abrasivas (136) se seleccionan para:

- (i) realizar una interacción al menos parcialmente elástica entre dicha superficie de contacto elástica (135) y dicha al menos una partícula abrasiva (136), de tal forma que dicha al menos una partícula abrasiva (136) penetra dicha superficie de trabajo (132), e
- (ii) incrustar dicha al menos una partícula abrasiva (136) en dicha superficie de contacto elástica (135);

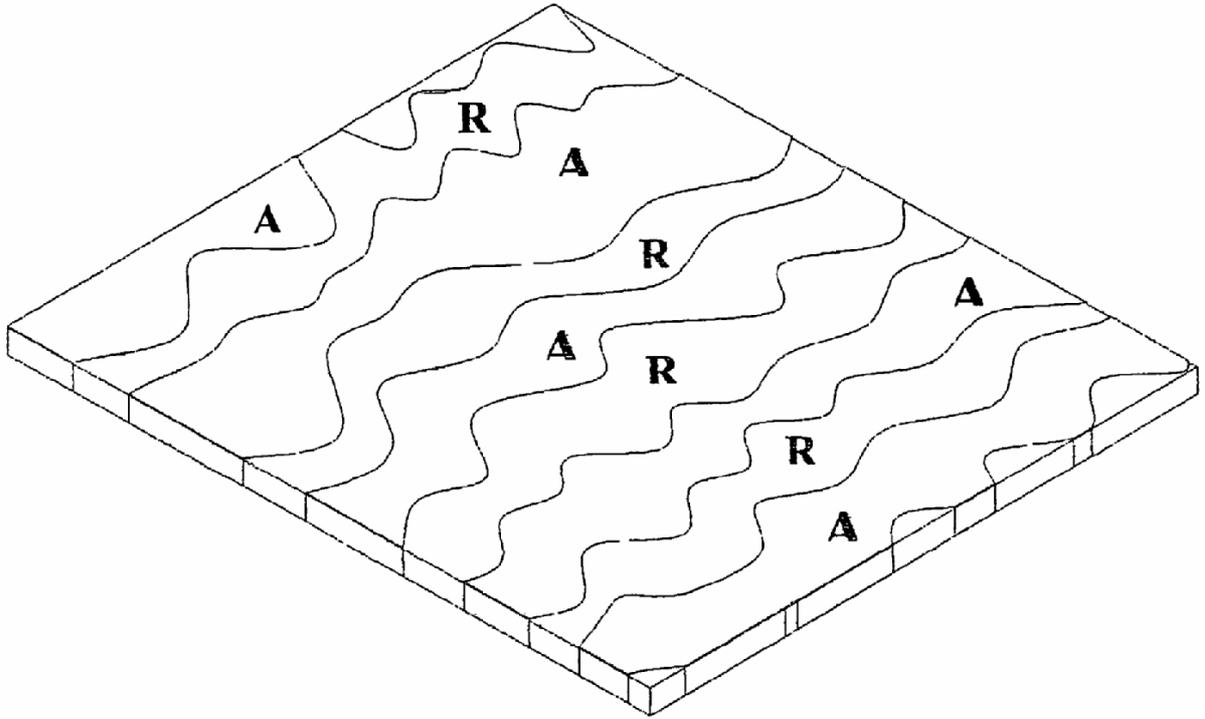
en el que las partículas abrasivas penetran en la superficie de contacto elástica a una profundidad mayor que su penetración en la superficie de trabajo de metal, y **caracterizado por que** dicha superficie de contacto elástica (135) tiene una dureza Brinell dentro de un intervalo de 2-10 kg/mm<sup>2</sup> y un **resistencia al impacto dentro de un intervalo de 30-70 kg·m/cm<sup>2</sup>**.



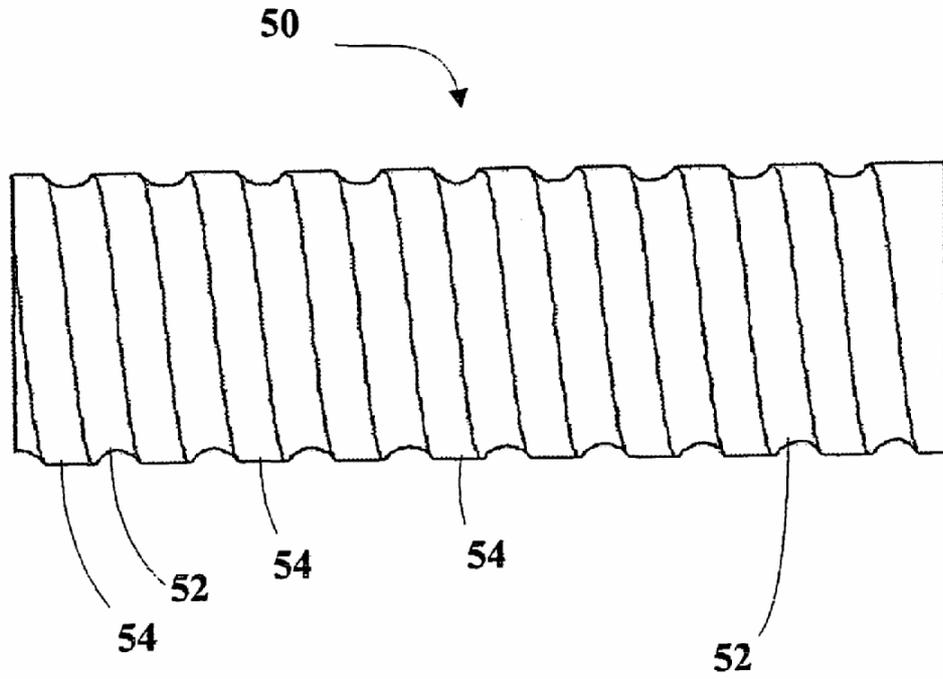
**Fig. 1A**  
**TÉCNICA ANTERIOR**



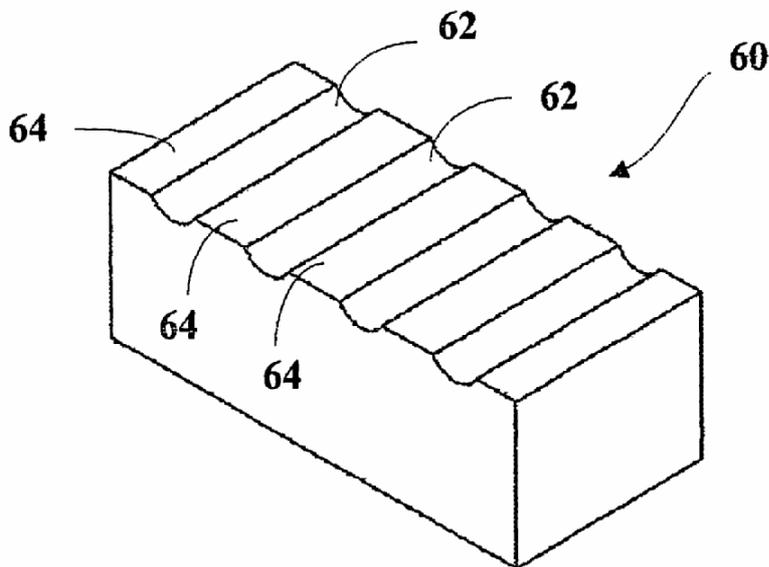
**Fig. 1B**  
**TÉCNICA ANTERIOR**



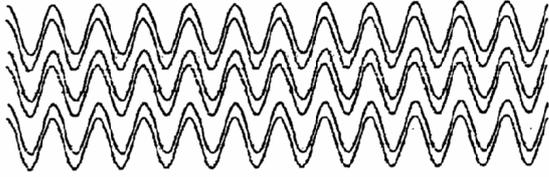
**Fig. 2**



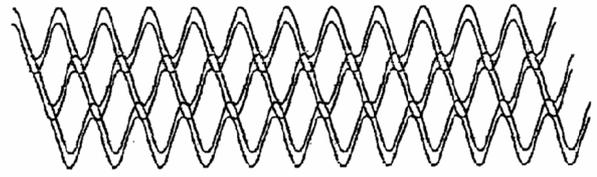
**Fig. 3A**



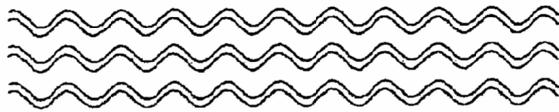
**Fig. 3B**



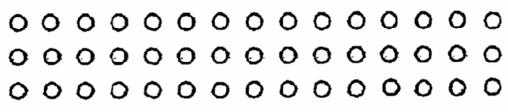
**Fig. 4A**



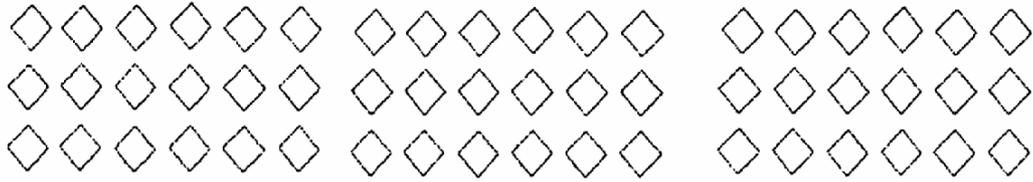
**Fig. 4C**



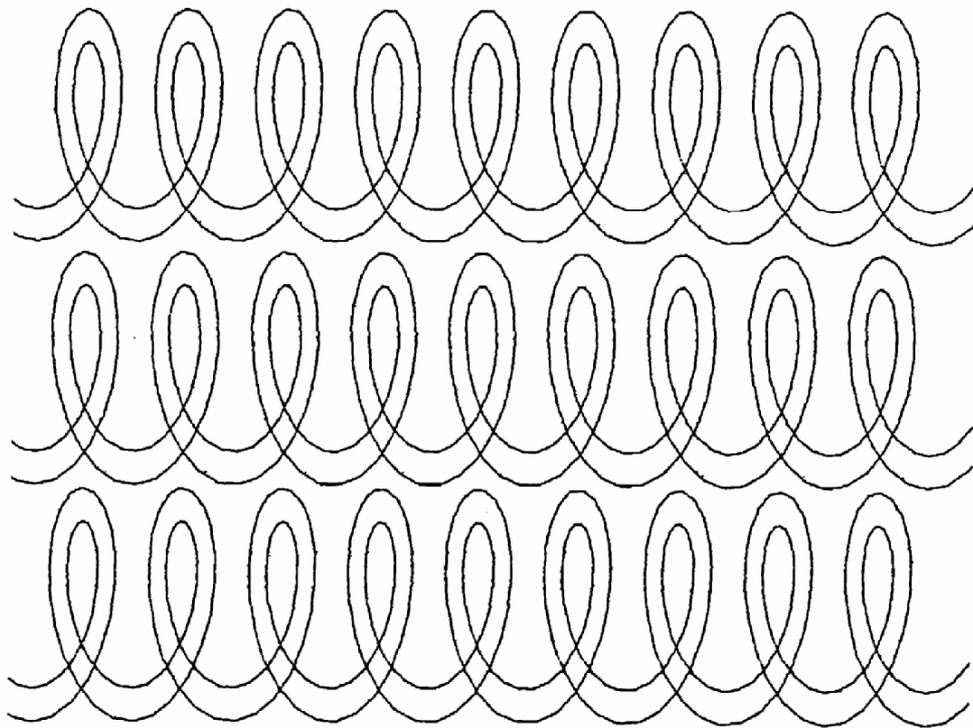
**Fig. 4B**



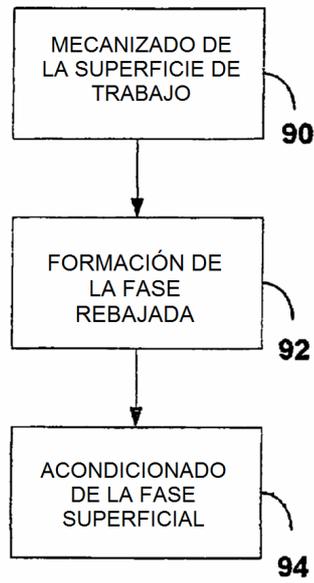
**Fig. 4D**



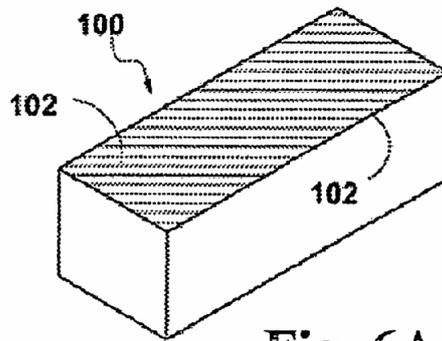
**Fig. 4E**



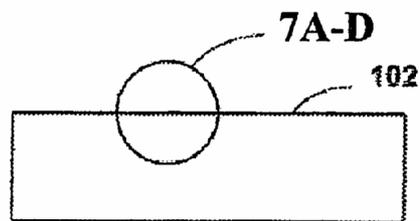
**Fig. 4F**



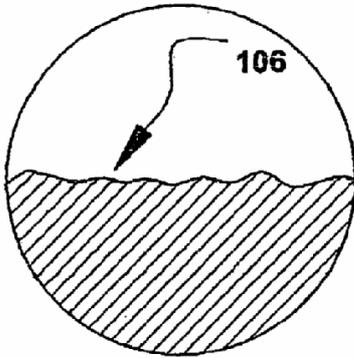
**Fig. 5**



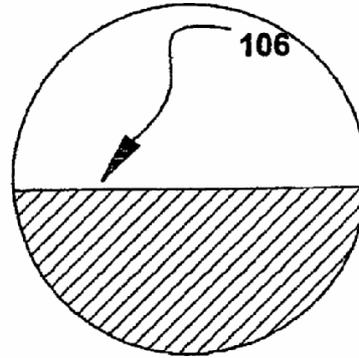
**Fig. 6A**



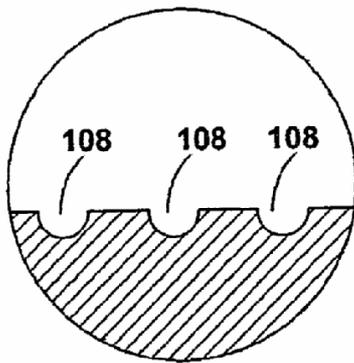
**Fig. 6B**



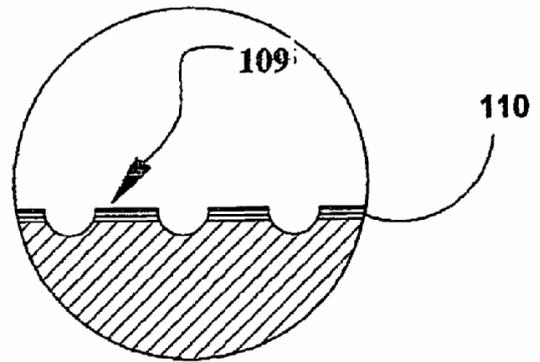
**Fig. 7A**



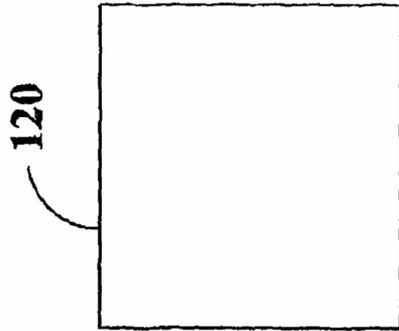
**Fig. 7B**



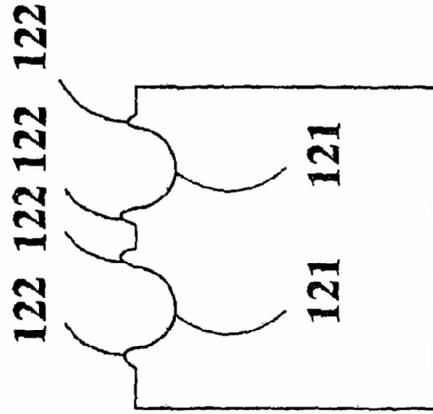
**Fig. 7C**



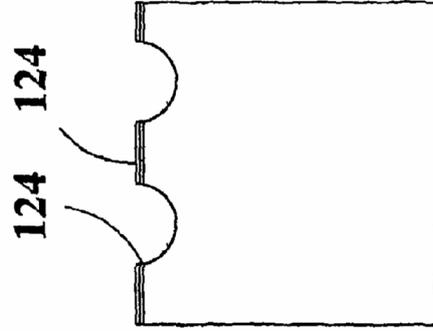
**Fig. 7D**



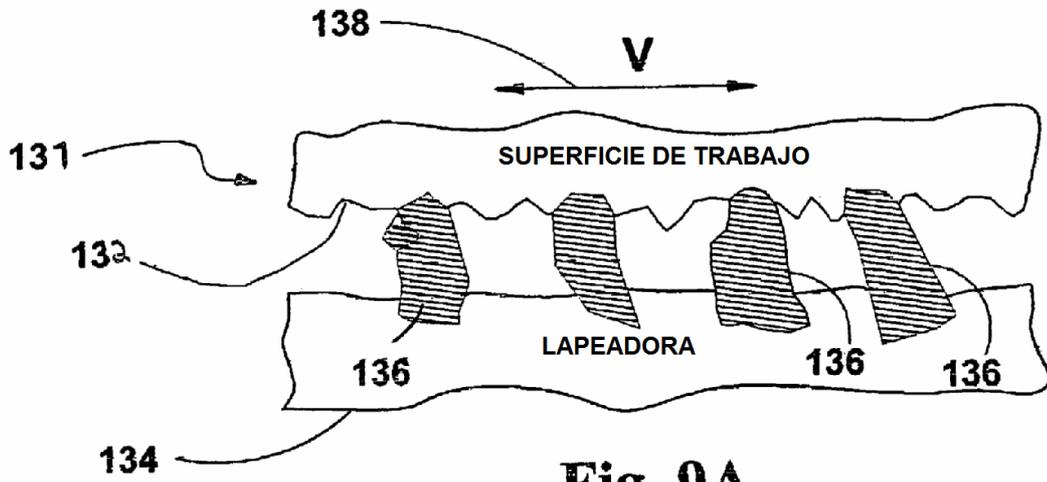
**Fig. 8A**



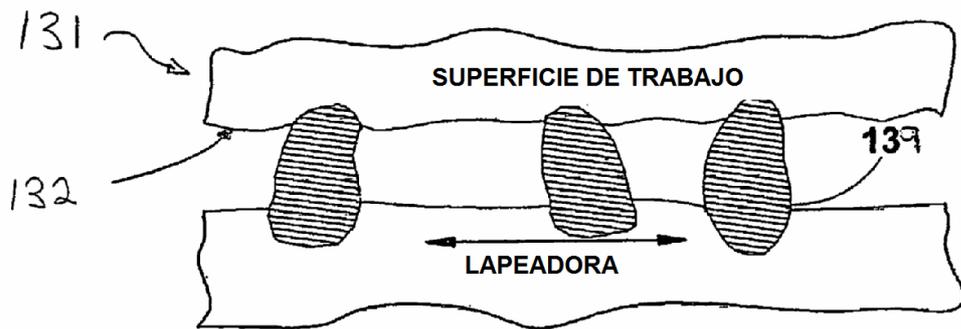
**Fig. 8B**



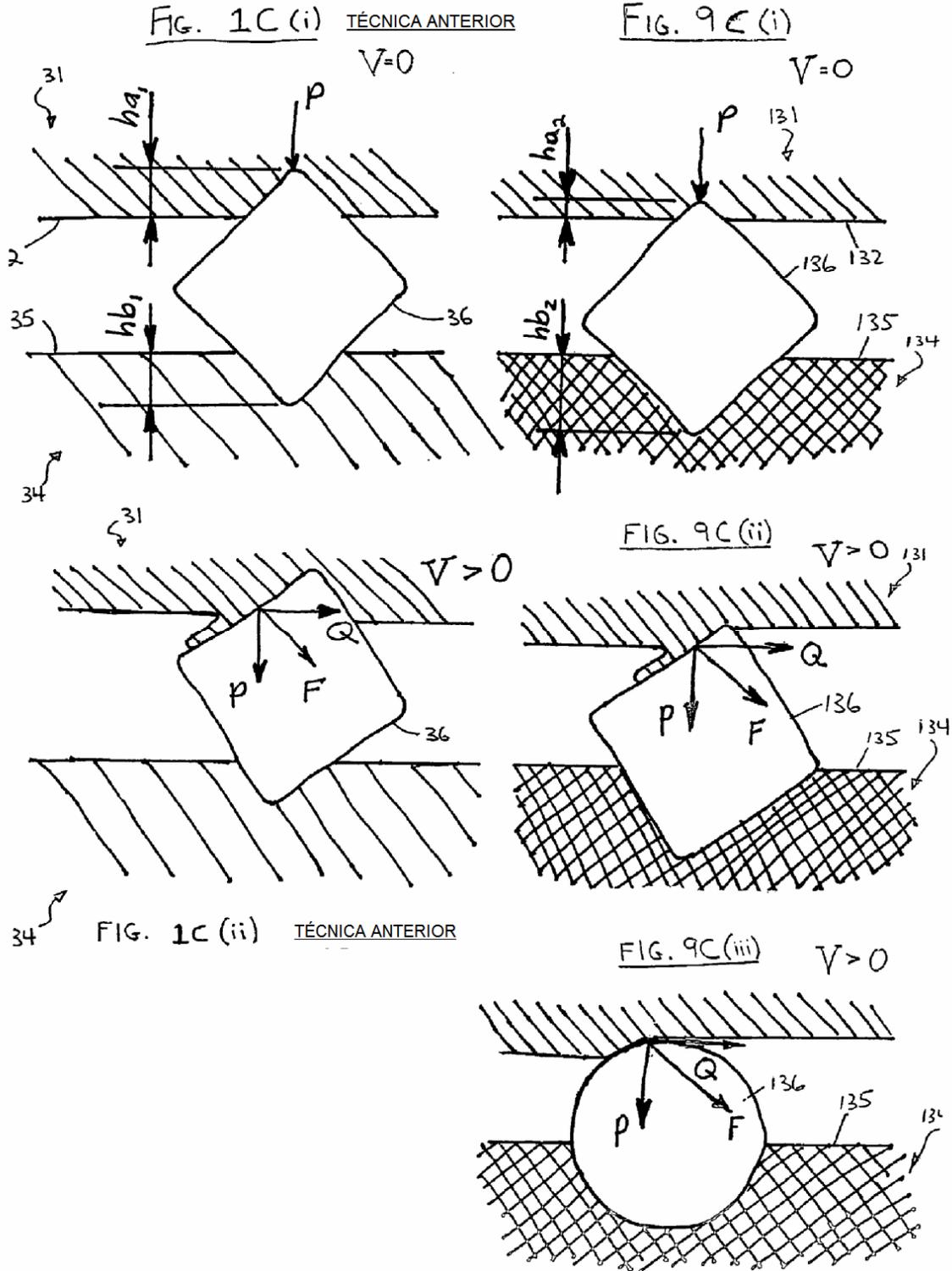
**Fig. 8C**

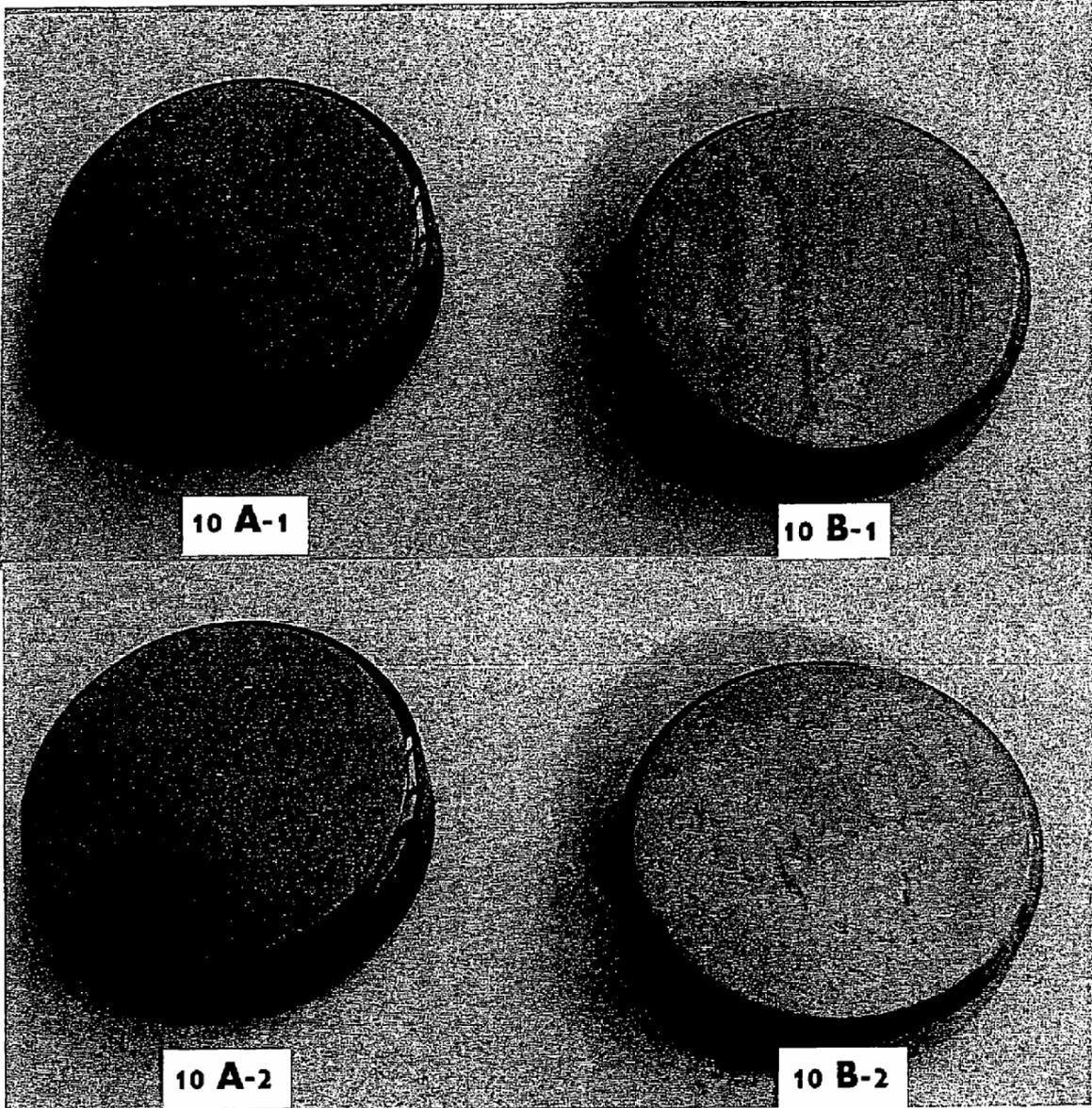


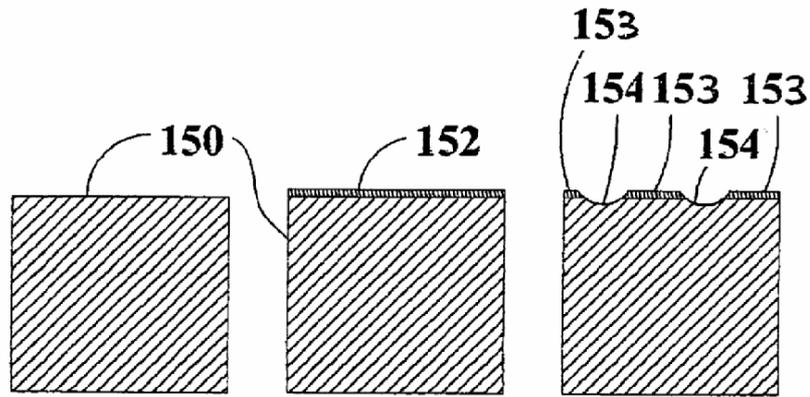
**Fig. 9A**



**Fig. 9B**



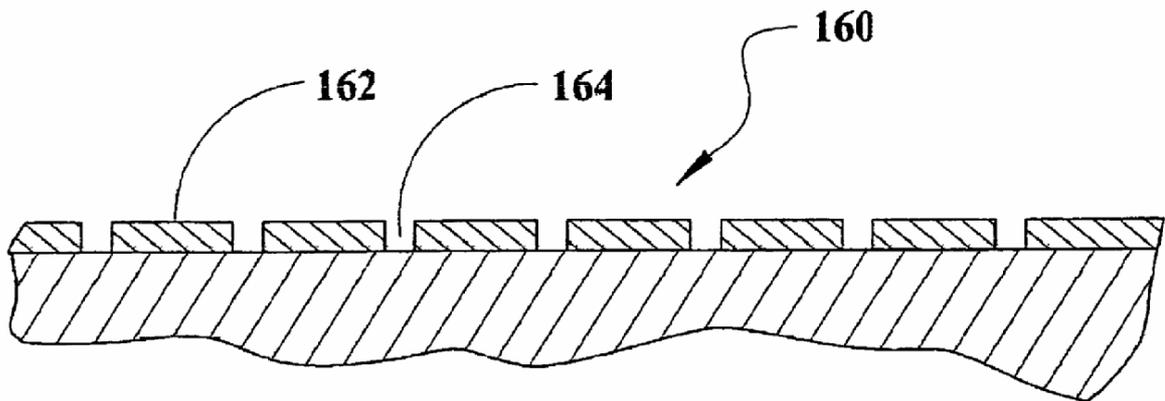




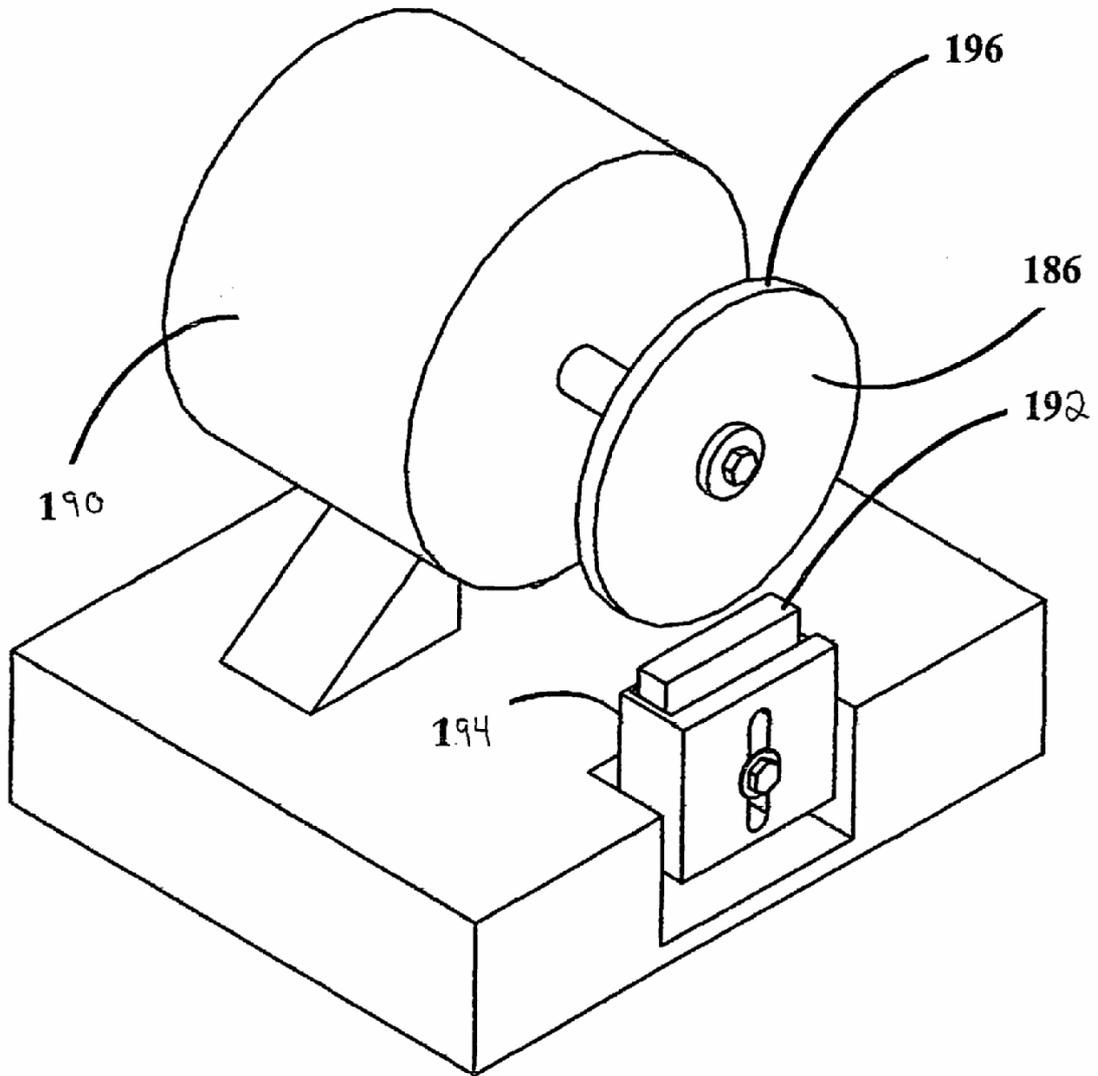
**Fig. 11A**

**Fig. 11B**

**Fig. 11C**



**Fig. 12**



**Fig. 13**

FIG. 14

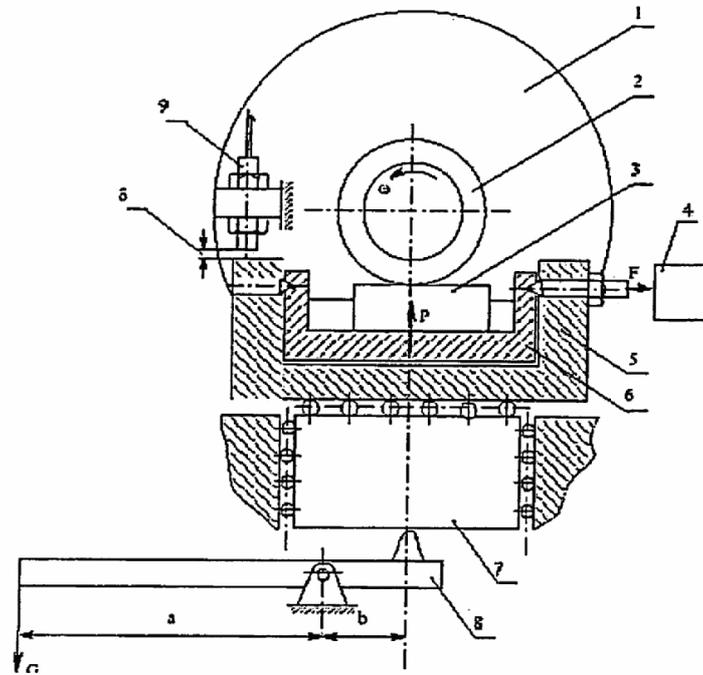


FIG. 15

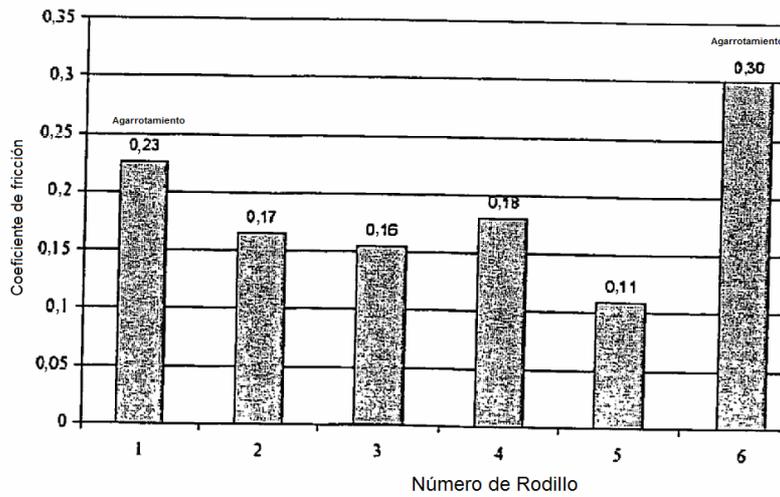


FIG. 16

