

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 947 357**

51 Int. Cl.:

**C04B 35/56** (2006.01)  
**C04B 35/626** (2006.01)  
**C04B 35/63** (2006.01)  
**C04B 35/634** (2006.01)  
**C04B 35/645** (2006.01)  
**C22C 29/08** (2006.01)  
**B22F 5/00** (2006.01)  
**C22C 29/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2018** **E 18164215 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 3546608**

54 Título: **Inserto de perforación de rocas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.08.2023**

73 Titular/es:

**SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION TOOLS  
AB (100.0%)  
81181 Sandviken, SE**

72 Inventor/es:

**MÅRTENSSON, MALIN;  
BORGH, IDA;  
LILJA, MIRJAM;  
TARRAGÓ CIFRE, JOSÉ MARIA;  
ARVANITIDIS, JOANNIS y  
TURBA, KRYSTOF**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 947 357 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

Inserto de perforación de rocas

### Campo de la técnica

5 La presente invención se refiere a un inserto de perforación de rocas que comprende un cuerpo hecho de carburo cementado a base de WC-Ni-Cr o WC-Ni-Co-Cr en donde existe un gradiente de dureza significativo cerca de la superficie del cuerpo de carburo cementado.

### Antecedentes de la invención

10 La perforación de rocas es un área de la técnica en la que los insertos que se usan con el fin de perforar la roca están sujetos tanto a condiciones corrosivas severas como a impactos repetidos debido a la naturaleza inherente de la perforación. Diferentes técnicas de perforación darán como resultado diferentes cargas de impacto en los insertos. Las condiciones de impacto particularmente severas se encuentran en aplicaciones tales como aquellas en las que los insertos de perforación de rocas están montados en un cuerpo de broca de perforación de rocas de un dispositivo de martillo superior (TH, por sus siglas en inglés), un dispositivo de perforación de fondo (DTH, por sus siglas en inglés) o un dispositivo de perforación rotativo.

15 Tradicionalmente, los insertos de perforación de rocas pueden consistir en un cuerpo hecho de carburo cementado que comprende componentes duros de carburo de tungsteno (WC) en una fase aglomerante de cobalto (Co). Sin embargo, existen razones para proporcionar una fase aglutinante alternativa que podría reducir el uso de cobalto o incluso estar completamente libre de cobalto. Los motivos son tanto el riesgo de escasez de suministro de cobalto en el mercado debido al uso cada vez mayor en otras áreas de la técnica, tales como las baterías de vehículos, como las preocupaciones por la salud al manipular polvo de cobalto en la producción del carburo cementado.

20 La presente invención surge de investigaciones de los efectos de las adiciones de cromo a los componentes adicionales que forman el carburo cementado, antes de la compactación y sinterización del compacto. Por lo tanto, el carburo cementado del inserto de perforación de rocas contiene cromo en su fase aglomerante.

25 El Documento de Patente de los EE.UU. de Número US2007/110607 describe un método para producir un material de carburo cementado que comprende un sistema WC-Co, que contiene carburos dobles de tipo  $M_{12}C$  a  $M_3C$ . El Documento de Patente Europea de Número EP1697551 describe un inserto/botón de herramientas de carburo cementado para minería y construcción en donde la parte de la superficie contiene Cr. El Documento de Patente Europea de Número EP1548136 describe una herramienta de carburo cementado en donde la parte de la superficie con un tamaño de grano fino tiene un contenido de fase aglutinante más bajo que la parte interior. El Documento de Patente de los EE.UU. de Número US2018/073108 describe un carburo cementado que comprende Cr en una cantidad tal que la relación Cr/Co está dentro del intervalo de 0,043 a 0,19. Banerjee D et al: "Effect on binder-phase modification and  $Cr_3C_2$  addition on properties of WC-10Co cemented carbide", Journal of materials engineering and performance, asm international, materials park OH, EE.UU., vol 4, N.º 5, 1 de Octubre de 1995 (1-10-1995), páginas 563-572 XP000541466, ISSN: 1059-9495 describe el comportamiento de desgaste de las aleaciones WC-Co y WC-Ni-Co-Cr.

### Objeto de la invención

35 Es un objeto de la presente invención presentar un inserto de perforación de rocas que está mejorado en comparación con los insertos de carburo cementado de la técnica anterior en el sentido de que tienen una resistencia a la corrosión mejorada que reduce el desgaste en condiciones de perforación húmeda. Aun así, el carburo cementado debe tener una dureza y ductilidad aceptables para soportar la carga de impacto repetida a la que estará sujeto durante el uso. 40 En otras palabras, no debe ser demasiado frágil. Además, es un objeto presentar un inserto de perforación de rocas con una mayor resistencia al desgaste y una mayor tenacidad al impacto que reduzca el daño temprano y las fallas por carga de flexión. Además, es un objeto presentar un inserto de perforación de rocas que tiene una fase aglomerante en la que el cobalto ha sido reemplazado parcial o completamente con un buen rendimiento técnico en la perforación de rocas.

### Definiciones

45 Por el término "volumen" se entiende en la presente invención el carburo cementado de la parte más interna (centro) del inserto de perforación de rocas.

### Compendio de la invención

50 El objeto de la invención se logra por medio de un inserto de perforación de rocas hecho de carburo cementado como se define en la reivindicación 1.

El inserto de perforación de rocas de la presente invención se produce por medio de un proceso en el que un polvo que comprende los elementos del carburo cementado se muele y compacta en un material compacto que luego se sinteriza. Generalmente se realiza una etapa de desbastado para obtener la dimensión precisa del inserto de perforación. Un inserto de perforación de la presente invención generalmente tiene una parte de base cilíndrica y una

parte superior redondeada que puede ser semiesférica, cónica o asimétrica. Típicamente, la superficie curva de la parte de base cilíndrica se desbasta para obtener el diámetro preciso deseado, mientras que las superficies de la parte superior y la parte de la base circular se mantienen en su estado sinterizado. Luego, el inserto de perforación se somete a un tratamiento posterior que introduce altos niveles de tensiones de compresión en el inserto, tal como un proceso especial de colisión oscilante de alta energía.

Sorprendentemente, se ha descubierto que los efectos combinados de la inducción de la tensión de compresión y el endurecimiento del aglutinante son particularmente fuertes para los insertos que contienen cromo, tanto durante el tratamiento previo a la aplicación en el proceso de colisión de oscilación de alta energía como durante la propia aplicación de perforación. Por lo tanto, los insertos de perforación de rocas basados en un carburo cementado que contiene cromo de la presente invención proporcionarán un endurecimiento superficial más fuerte durante la perforación real que los insertos de perforación de rocas de carburo cementado que no contienen cromo.

El resultado es un desgaste reducido y una mayor resistencia a la rotura del inserto durante su uso. Además, la adición de Cr da como resultado una mejora de la resistencia a la corrosión de la fase aglutinante, lo que reduce el desgaste en condiciones de perforación húmeda.

Si la relación másica de Cr/(Ni+Co) es demasiado baja, los efectos positivos mencionados del Cr serán demasiado pequeños. Si, por el contrario, la relación másica de Cr/(Ni+Co) es demasiado alta, se formarán carburos de cromo en los que se disuelve el elemento Ni de la fase aglutinante, o los elementos níquel y cobalto de la fase aglutinante, por lo que se reduce significativamente la cantidad de fase aglutinante y el carburo cementado se vuelve demasiado quebradizo.

El tamaño de grano del WC se elige para adaptarse a las propiedades finales deseadas del carburo cementado en términos de, por ejemplo, conductividad térmica y no fragilidad del carburo cementado. Según una realización, el tamaño de grano promedio del WC está por encima de 1  $\mu\text{m}$ , o por encima de 1,25  $\mu\text{m}$ , o por encima de 1,5  $\mu\text{m}$ , o por encima de 1,75  $\mu\text{m}$ , o por encima de 2,0  $\mu\text{m}$ . Si el tamaño de grano del WC es demasiado pequeño, el material será demasiado duro y quebradizo para perforar rocas. Por otro lado, si el tamaño de grano del WC es demasiado grande, un inconveniente es que el material se vuelve difícil de sinterizar. Por lo tanto, se prefiere que el tamaño de grano promedio del WC sea menor de 18  $\mu\text{m}$ , menor de 15  $\mu\text{m}$ , menor de 10  $\mu\text{m}$  o menor de 5  $\mu\text{m}$ . El tamaño de grano promedio del WC se determina con el método que se describe en la sección de Ejemplos de la presente invención.

En una realización, el carburo cementado comprende del 3,5 al 15 % en peso de fase aglutinante o del 4 al 12 % en peso de fase aglutinante.

En una realización, la fase aglutinante de Ni-Co-Cr comprende >50 % en peso de Ni o >75 % en peso de Ni.

En una realización, la fase aglutinante es una fase aglutinante de Ni-Cr.

Según una realización preferida, la relación másica de Cr/(Ni+Co) es de 0,04 a 0,19

Según una realización preferida, la relación másica de Cr/(Ni+Co) es de 0,075 a 0,15

Según todavía una realización preferida, la relación másica de Cr/(Ni+Co) es de 0,085 a 0,15.

Según todavía otra realización preferida, la relación másica de Cr/(Ni+Co) es de 0,085 a 0,12.

El inserto de perforación de rocas de la presente invención contiene adecuadamente Cr en todo el inserto de perforación de rocas. La relación másica de Cr/(Ni+Co) definida en la presente invención es, por lo tanto, sustancialmente la misma y está presente en todo el inserto de perforación de rocas, incluso en el volumen.

Cuando la fase aglomerante es Ni-Cr, es decir, sin Co presente, entonces la expresión "relación másica de Cr/(Ni+Co)" usada en la presente invención es igual a "relación másica de Cr/Ni".

Según la invención, todos los carburos de cromo añadidos, o  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , se disuelven en la fase aglutinante, y el carburo cementado sinterizado está esencialmente libre de carburos de cromo no disueltos (como carburos añadidos, o  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ). Preferiblemente, para evitar la presencia de tales carburos de cromo, la relación de Cr/(Ni+Co) debe ser lo suficientemente baja para garantizar que el contenido máximo de cromo no supere el límite de solubilidad del cromo en la fase aglutinante a 1.000°C.

Para evitar la generación de carburo de cromo o grafito en la fase aglutinante, la cantidad de carbono añadido debe ser lo suficientemente baja.

Preferiblemente, el carburo cementado sinterizado está libre de cualquier grafito y también está libre de cualquier fase  $\eta$ .

Según otra realización adicional,  $\text{M}_7\text{C}_3$  está presente en el carburo cementado. En este caso, M es una combinación de Cr, Ni, Co (si está presente) y W, es decir,  $(\text{Cr}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{W})_7\text{C}_3$ . El resto exacto de Cr:Ni:Co:W se determina por el contenido total de carbono del carburo cementado. La relación Cr/ $\text{M}_7\text{C}_3$  (Cr como % en peso y  $\text{M}_7\text{C}_3$  como % en

- volumen) en el carburo cementado es adecuadamente igual o superior a 0,05, o igual o superior a 0,1, o igual o superior a 0,2, o igual o superior a 0,3, o igual o superior a 0,4. La relación  $\text{Cr/M}_7\text{C}_3$  (Cr como % en peso y  $\text{M}_7\text{C}_3$  como % en volumen) en el carburo cementado es adecuadamente igual o inferior a 0,5, o igual o inferior a 0,4. El contenido de  $\text{M}_7\text{C}_3$  se define como % en volumen ya que así es como se mide prácticamente. Sorprendentemente, no se pueden ver los efectos negativos esperados en la perforación de rocas por la presencia de  $\text{M}_7\text{C}_3$ . Dichos efectos negativos en la perforación de rocas habrían sido la fragilidad del carburo cementado debido al carburo adicional y también la reducción de la tenacidad debido a la disminución del contenido de la fase aglutinante cuando se forma  $\text{M}_7\text{C}_3$ . Por lo tanto, el intervalo aceptable para el contenido de carbono durante la producción del carburo cementado puede ser más amplio ya que se puede aceptar  $\text{M}_7\text{C}_3$ . Esta es una gran ventaja de producción.
- Los insertos de perforación de rocas están sujetos a impactos intensos durante el uso y, tradicionalmente, un inserto de perforación de rocas usado se considera mejor (más resistente) que uno nuevo sin usar, ya que el endurecimiento por deformación y la acumulación de tensiones de compresión han tenido lugar en y cerca de la superficie de un inserto usado que ha estado activo en la perforación de rocas. Por lo tanto, el riesgo de falla de la broca se reduce para un inserto usado en comparación con uno nuevo. La presente invención proporciona un inserto de perforación de rocas que ya desde el principio, como un inserto nuevo, presenta una gran diferencia de dureza entre la superficie del inserto de perforación de rocas y su interior, y el inserto de perforación de rocas tiene una dureza superficial más similar a un inserto usado. Por lo tanto, un inserto de perforación de rocas según la presente invención presenta un menor riesgo de daño y falla prematura.
- Además, la gran diferencia de dureza entre la superficie del inserto de perforación de rocas y su interior está presente en toda la superficie y, por lo tanto, también reducirá el riesgo de otros tipos de fallas durante la manipulación.
- En una realización, la diferencia entre la dureza a 0,3 mm de profundidad por debajo de la superficie en cualquier punto de la superficie del inserto de perforación de rocas y la dureza mínima de el volumen del inserto de perforación de rocas es al menos 50 HV3, o al menos 75 HV3, o al menos 100 HV3.
- En una realización, la diferencia entre la dureza a 0,3 mm de profundidad por debajo de la superficie en cualquier punto del inserto de perforación de rocas y la dureza a 1 mm por debajo de la superficie es de al menos 20 HV3, o al menos 25 HV3, o al menos 30 HV3, o al menos 35 HV3. En una realización, la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie del inserto de perforación de rocas y la dureza promedio en el volumen del inserto de perforación de rocas es de al menos 40 HV3. La dureza promedio a 0,3 mm de profundidad se define como el promedio de al menos 50 valores de dureza medidos a cierta profundidad distribuidos uniformemente alrededor del inserto.
- En una realización, la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie del inserto de perforación de rocas y la dureza promedio a 1 mm por debajo de la superficie es al menos 15 HV3, o al menos 20 HV3, o al menos 25 HV3. La dureza promedio a cierta profundidad se define como el promedio de al menos 50 valores de dureza medidos a cierta profundidad distribuidos uniformemente alrededor del inserto.
- En una realización, la diferencia entre la dureza a 0,3 mm de profundidad por debajo de la superficie en cualquier punto del inserto de perforación de rocas y la dureza mínima del volumen del inserto de perforación de rocas es de al menos 40 HV3.
- En una realización, la diferencia entre la dureza a 0,3 mm por debajo de la superficie en cualquier punto del inserto de perforación de rocas y la dureza a 1 mm por debajo de la superficie del inserto de perforación de rocas es al menos 15 HV3, o al menos 20 HV3, o al menos 25 HV3.
- El contenido de fase aglutinante del carburo cementado de la presente invención es sustancialmente igual en todo el inserto de perforación de rocas, es decir, no hay un gradiente sustancial de elementos de la fase aglutinante (Ni, Co, Cr) cuando se pasa desde la superficie del inserto de perforación de rocas a su interior. Sin embargo, puede aparecer una ligera diferencia en el contenido de la fase aglomerante en una zona superior entre la superficie y hasta una profundidad de 0,2 mm.
- El inserto de perforación de rocas de la invención no debe ser propenso a fallar debido a problemas relacionados con la fragilidad. Por lo tanto, el carburo cementado del inserto de perforación de rocas de la presente invención tiene adecuadamente una dureza del volumen no mayor de 1.700 HV3, preferiblemente no mayor de 1.650 HV3, o no mayor de 1.600 HV3.
- La dureza de un carburo cementado depende del tamaño de grano del WC y del contenido de la fase aglutinante. El carburo cementado del inserto de perforación de rocas tiene adecuadamente una dureza en la parte del volumen de al menos 800 HV3, o al menos 900 HV3, o al menos 1.000 HV3. Según una realización, los insertos de perforación de rocas según la invención están montados en un cuerpo de broca de perforación de rocas de un dispositivo de martillo en cabeza (TH) o de un dispositivo de perforación de fondo (DTH) o de un dispositivo de perforación rotatorio o de un dispositivo de disco de corte. El dispositivo de perforación rotatorio puede ser un dispositivo cortador rotatorio de petróleo y gas. La invención también se refiere a un dispositivo de perforación de roca, en particular a un dispositivo de martillo en cabeza, o a un dispositivo de perforación de fondo, o a un dispositivo de perforación rotatorio, o a un

dispositivo de disco de corte, así como el uso de un inserto de perforación de rocas según la invención en dicho dispositivo.

### Breve descripción de las figuras

5 En las Fig. 2 a 9, el  $\Delta HV3$  representa la diferencia entre la dureza (HV3) en una determinada posición y la dureza promedio medida en el volumen.

La Fig. 1 es una representación esquemática de la geometría de un inserto de perforación de rocas usado en las pruebas.

La Fig. 2 muestra un mapa de HV3 con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de un inserto de perforación de rocas sin tratar (= sinterizado) donde el carburo cementado contiene el 5,6 % en peso de níquel pero sin cromo (Muestra 1).

10 La Fig. 3 muestra un mapa de HV3 con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de un inserto de perforación de rocas tratado con colisión de alta energía (27 min) donde el carburo cementado contiene el 5,6 % en peso de níquel pero sin cromo (Muestra 1).

15 La Fig. 4 muestra un mapa de HV3 ampliado con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de una parte de un inserto de perforación de rocas tratado por colisión de alta energía (27 min) donde el carburo cementado contiene el 5,6 % en peso de níquel pero sin cromo (Muestra 1).

La Fig. 5 muestra un mapa de HV3 con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de un inserto de perforación de rocas tratado por colisión de alta energía (60 min) donde el carburo cementado contiene el 5,6 % en peso de níquel pero sin cromo (Muestra 1).

La Fig. 6 muestra un mapa de HV3 con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de un inserto de perforación de rocas sin tratar donde el carburo cementado contiene el 4,9 % en peso de níquel y el 0,5 % en peso de cromo (Muestra 2).

20 La Fig. 7 muestra un mapa de HV3 con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de un inserto de perforación de rocas tratado por colisión de alta energía (27 min) donde el carburo cementado contiene el 4,9 % en peso de níquel y el 0,5 % en peso de cromo (Muestra 2).

25 La Fig. 8 muestra un mapa de HV3 ampliado con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de una parte de un inserto de perforación de rocas tratado por oscilación de alta energía (27 min) donde el carburo cementado contiene el 4,9 % en peso de níquel y el 0,5 % en peso de cromo (Muestra 2).

La Fig. 9 muestra un mapa de HV3 con las isolíneas de  $\Delta HV3$  de un inserto de perforación de rocas tratado por colisión de alta energía (60 min) donde el carburo cementado contiene el 4,9 % en peso de níquel y el 0,5 % en peso de cromo (Muestra 2).

La Fig. 10 muestra un dibujo esquemático de una configuración de la prueba del martillo pendular (ver Ejemplo 4).

### 30 Ejemplos

Ejemplo 1, comparativo, carburo cementado a base de Ni sin Cr

35 Como primer material se usó un material de carburo cementado con el 5,6 % en peso de Ni y el resto del WC se fabricó según los procesos de carburo cementado establecidos. Los polvos de WC, Ni y W se molieron en un molino de bolas junto con cuerpos de molienda de carburo cementado. El tamaño del grano de polvo del WC medido como FSSS (por sus siglas en inglés) era antes de la molienda entre 5 y 8  $\mu\text{m}$ . La molienda se llevó a cabo en condiciones húmedas, usando etanol al 92 %, con una adición de polietilenglicol al 2 % en peso (PEG 8000) como aglomerante orgánico. Después de la molienda, la suspensión se secó por pulverización en atmósfera de  $\text{N}_2$ . Se produjeron cuerpos verdes de una forma deseada mediante prensado uniaxial y se sinterizaron usando Sinter-HIP a 55 bar de presión de argón a 1.500°C durante 1 hora.

40 Este material se denomina Muestra 1.

Ejemplo 2, invención, carburo cementado a base de Ni con Cr

45 Como segundo material se usó un material de carburo cementado con un 4,9 % en peso de Ni, un 0,5 % en peso de Cr y el resto del WC se fabricó según los procesos de carburo cementado establecidos. Los polvos de WC, Ni,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  y W se molieron en un molino de bolas. El tamaño del grano de polvo del WC medido como FSSS era entre 5 y 8  $\mu\text{m}$  antes de la molienda. La molienda se llevó a cabo en condiciones húmedas, usando etanol, con una adición del 2 % en peso de polietilenglicol (PEG 8000) como aglutinante orgánico (agente de prensado) y cuerpos de molienda de carburo cementado. Después de la molienda, la suspensión se secó por pulverización en atmósfera de  $\text{N}_2$ . Se produjeron cuerpos verdes de una forma deseada mediante prensado uniaxial y se sinterizaron usando Sinter-HIP a 55 bar de presión de argón a 1.500°C durante 1 hora.

50 Este material se denomina Muestra 2.

Los detalles sobre el material sinterizado se dan en la Tabla 1.

Tabla 1. Detalles sobre los materiales producidos según los Ejemplos 1-2

|                                                                              | Referencia | Grado de Cr |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|
|                                                                              | Muestra 1  | Muestra 2   |
| Ni (% en peso)                                                               | 5,6        | 4,9         |
| Cr (% en peso)                                                               | -          | 0,5         |
| C (% en peso)                                                                | 5,7        | 5,7         |
| W (% en peso)                                                                | 88,7       | 88,9        |
| % de volumen de aglutinante (fcc)**                                          | 10,8       | 10,8        |
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )                                                | 15,10      | 15,00       |
| HV20*                                                                        | 1.282      | 1.392       |
| *Indentaciones de Vickers usando una carga de 20 kg                          |            |             |
| **Calculado con el programa informático Thermo-Calc y la base de datos TCFe7 |            |             |

Tamaños de grano del WC de las muestras sinterizadas de los Ejemplos 1-2

Los tamaños promedios de grano del WC de los materiales sinterizados (Muestra 1 y Muestra 2) según los Ejemplos 1-2 se determinaron a partir de micrografías SEM (por sus siglas en inglés) que mostraban secciones transversales representativas de los materiales. La etapa final de la preparación de la muestra se llevó a cabo puliendo con pasta de diamante de 1 µm sobre un paño suave, seguido de decapado con solución de Murakami. Las micrografías SEM se obtuvieron usando el detector de electrones de retrodispersión (BSE, por sus siglas en inglés), a un voltaje de aceleración de 15 kV y a una distancia de trabajo de 10 mm. Los aumentos usados fueron de 3.000 x para los materiales de la Muestra 1 y de 4.000 x para la Muestra 2.

El tamaño promedio de grano del WC se evaluó usando el método de Jeffries descrito a continuación, a partir de al menos dos micrografías diferentes para cada material. A continuación, se calculó un valor promedio a partir de los valores medios de tamaño de grano obtenidos de las micrografías individuales (para cada material, respectivamente). El procedimiento para la evaluación del tamaño promedio de grano usando un método de Jeffries modificado fue el siguiente:

Se seleccionó un marco rectangular de tamaño adecuado dentro de la micrografía SEM para contener un mínimo de 300 granos de WC. Los granos dentro del marco y los intersectados por el marco se cuentan manualmente, y el tamaño medio de grano se obtiene a partir de las ecuaciones (1-3):

$$M = \frac{L_{\text{escala mm}} \times 10^{-3}}{L_{\text{escala micro}} \times 10^{-6}} \quad (1)$$

$$\% \text{ vol WC} = 100 \times \left( -1,308823529 \times \frac{\left( \frac{\% \text{ peso Co}}{100} - 1 \right)}{\left( \frac{\% \text{ peso Co}}{100} + 1,308823529 \right)} \right) \quad (2)$$

$$d = \frac{1.500}{M} \times \sqrt{\frac{L_1 \times L_2 \times \% \text{ vol WC}}{\left( n_1 + \frac{n_2}{2} \right) \times 100}} \quad (3)$$

Donde:

$d$  = tamaño promedio de grano del WC (µm)

$L_1, L_2$  = longitud de los lados del marco (mm)

$M$  = amplificación

$L_{\text{escala mm}}$  = longitud medida de la barra de escala sobre la micrografía en mm

$L_{\text{escala micro}}$  = longitud real de la barra de escala con respecto a la amplificación (µm)

$n_1$  = n.º de granos completamente dentro del marco

$n_2$  = n.º de granos intersectados por el límite del marco

% en peso de Co = contenido de cobalto conocido en % en peso.

La Ecuación (2) se usa para estimar la fracción del WC en función del contenido conocido de Co en el material. Luego, la Ecuación (3) produce el tamaño promedio de grano del WC a partir de la relación entre el área total del WC en el marco y el número de granos contenidos en él. La Ecuación (3) también contiene un factor de corrección que compensa el hecho de que en una sección 2D aleatoria, no todos los granos se seccionarán por su diámetro máximo.

- 5 La Tabla 2 muestra los valores promedios de tamaño de grano del WC obtenidos para los materiales según los Ejemplos 1-2 (Muestra 1 y Muestra 2) con el procedimiento descrito anteriormente.

Tabla 2

| Material de la muestra         | Tamaño promedio de grano del WC ( $\mu\text{m}$ )<br>(método de Jeffries modificado) |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Muestra 1 (Según el Ejemplo 1) | 2,6                                                                                  |
| Muestra 2 (Según el Ejemplo 2) | 1,8                                                                                  |

#### Ejemplo 3, insertos de broca de perforación y su tratamiento

- Los insertos de broca de perforación se hicieron de un material según la descripción en los Ejemplos 1 y 2 respectivamente. Los insertos tenían un tamaño de 10,0 mm de diámetro exterior (DE) y de 16,6 mm de altura con un peso de aproximadamente 16,6 g cada uno y con un domo esférico ("filo de corte"). Los insertos se desbastaron en la parte negativa pero dejando el domo y la parte inferior en una condición sinterizada. Algunas de las inserciones se trataron con un método que se puede describir mejor como un método de colisión oscilante de alta energía, en lo sucesivo denominado método-E. El equipo usado es un agitador de pintura Simple Shake 90 comercialmente disponible de la marca comercial Corob™ con una carga máxima de 40 kg y una frecuencia de agitación máxima de 65 Hz. El método-E se basa en un movimiento oscilante rápido de un recipiente cerrado lleno de insertos o una combinación de insertos y medios de volteo, en donde el recipiente se somete repetidamente a picos de aceleración típicamente de hasta 8,8 g a la frecuencia de agitación de 45 Hz, donde  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . El movimiento oscilatorio se produce principalmente a lo largo del eje z, es decir, el eje vertical, con una amplitud de varios cm, y un movimiento simultáneo de menor intensidad a lo largo del eje y en el plano horizontal. Los insertos se ponen en movimiento por medio de impactos con las paredes del recipiente en movimiento y de los impactos posteriores con otros insertos y medios de volteo. La alta frecuencia de la inversión del vector de velocidad (es decir, cambios bruscos frecuentes en la dirección del movimiento) da como resultado una gran cantidad de colisiones de alta energía de los insertos por unidad de tiempo. Esta propiedad característica del método-E permite obtener el efecto deseado en los insertos tratados ya después de tiempos de tratamiento muy cortos.

- El programa usado para los tratamientos del inserto por el método-E se correspondía a una frecuencia de agitación de 45 Hz. Se colocaron de 5 a 20 insertos de perforación de rocas en recipientes de plástico duro y termoestable con tapas dobles y dimensiones de 133 mm de altura y 122 mm de diámetro, junto con 4,5 kg de medios (gránulos de metal duro con una parte superior e inferior esférica y una parte negativa en entre ambas; altura total = 6,95 mm, siendo la altura de la parte negativa de 3,22 mm y el diámetro de la parte negativa = 6,67 mm, grado H10F de Sandvik y con un peso de cada gránulo de unos 3 g) y de 1 a 2 dl de agua fría para enfriar. La altura de llenado en los recipientes fue de aproximadamente 1/2 y no debe exceder los 3/4. Se sujetaron automáticamente de uno a cuatro recipientes y luego se inició la agitación. La frecuencia usada fue de 45 Hz y el tiempo de agitación fue de 27 min para algunos insertos y de 60 min para algunos insertos. Para evitar que los recipientes se calentaran en exceso y se derritieran, se tuvo que realizar el enfriamiento de los recipientes después de 9 min durante el tratamiento.

- Se ha demostrado que el tratamiento-E aumenta significativamente la resistencia a fallas más tempranas debido a las altas fuerzas de impacto, pero también, dado que el efecto del tratamiento está presente en todo el inserto de la broca, también evitará otros tipos de fallas del inserto durante la manipulación. El método también proporciona un aumento significativo de la dureza (HV3) en toda la superficie y en unos pocos mm hacia el interior del inserto en comparación con la dureza en el volumen (= dureza inicial, condición sinterizada).

#### Ejemplo 4, insertos de broca de perforación y su tratamiento

- Se fabricaron insertos de broca de perforación adicionales según la descripción de los Ejemplos 1 y 2 respectivamente. Los insertos tenían un tamaño de 7,3 mm de diámetro exterior (DE) y 9,8 mm de altura con un peso de aproximadamente 4,8 g cada uno y con un domo esférico ("filo de corte"). Los insertos se desbastaron en la parte negativa pero se dejan el domo y la parte inferior en una condición sinterizada. Algunas de los insertos se trataron usando el "método-E" como se describe en el Ejemplo 3, excepto que el tiempo de agitación fue de 9 minutos.

#### Ejemplo 5, mediciones de dureza

- El endurecimiento inducido por el tratamiento superficial de alta energía se puede caracterizar mediante la realización de mapas de dureza Vickers. Los insertos se seccionan a lo largo del eje longitudinal y se pulen usando procedimientos estándar. A continuación, se distribuyen sistemáticamente muescas Vickers con una carga de 3 kg sobre la sección pulida. Para una descripción más detallada del método aplicado, ver a continuación:

Las mediciones de dureza se realizaron usando un probador de dureza programable, KB30S de KB Prüftechnik GmbH calibrado contra bloques de prueba HV3 emitidos por Euro Products Calibration Laboratory, Reino Unido. La dureza se mide según la norma ISO EN6507. HV3 significa 3 kg de carga, HV5 significa 5 kg de carga, etc.

Las mediciones de HV3 se realizaron de la siguiente manera:

- 5
  - Escaneo del borde de la muestra.
  - Programación del probador de dureza para hacer indentaciones a distancias definidas del borde.
  - Programación de las distancias entre las indentaciones a 0,3 mm o más.
  - Indentación con una carga de 3 kg en todas las coordenadas programadas.
- 10
  - La computadora se mueve el escenario a cada coordenada con indentaciones y efectúa el ajuste automático de la luz, el enfoque automático y luego mide automáticamente el tamaño de cada indentación.
  - El usuario inspecciona todas las fotos de las indentaciones por enfoque y otros asuntos que interfieren con el resultado.

La distancia real se puede encontrar en las figuras midiendo la distancia entre los símbolos "◇" que marcan la ubicación real de la muesca HV3 en la figura y luego correlacionándola con la escala en mm dada en los ejes X e Y.

- 15 La razón para usar valores de dureza medidos a 0,3 mm por debajo de la superficie es que con el método de indentación de Vickers usado en la presente invención es difícil medir la dureza en la misma superficie.

Las Fig. 2-9 muestran mapas de dureza (mapas HV3) de los resultados de las indentaciones realizadas para los insertos de broca de la Muestra 1 y la Muestra 2 (según el Ejemplo 3).

- 20 La Tabla 3 muestra los valores promedio de dureza para el contorno (todos los valores HV medidos a una distancia dada por debajo de la superficie) para la Muestra 1 y la Muestra 2 tratada según el Ejemplo 3.

Tabla 3

|                     | HV3 promedio |                  | HV3 (0,3 mm) –<br>HV3 (4,8 mm) | HV3 (0,3 mm) –<br>HV3 (1,2 mm) |
|---------------------|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                     | 0,3 mm       | 4,8 mm (volumen) |                                |                                |
| Muestra 1, 27 min E | 1.332        | 1.296            | 36                             | 20                             |
| Muestra 2, 27 min E | 1.443        | 1.407            | 36                             | 25                             |

Ejemplo 6, pruebas de resistencia al impacto de la Muestra 1 y la Muestra 2

- 25 La resistencia al impacto de los insertos de broca de perforación de la Muestra 1 y la Muestra 2 (según el Ejemplo 3) en un estado sinterizado y después del tratamiento-E se ensayó usando una prueba de impacto con martillo pendular. En la Fig. 10 se muestra un dibujo esquemático de la configuración de la prueba del martillo pendular. El procedimiento de la prueba usado es el siguiente:

- 30 Un inserto de minería hecho según el Ejemplo 3 con una punta en forma de domo de 5,0 mm de radio y un diámetro de 10,0 mm se monta firmemente en un soporte (A) sobresaliendo únicamente la sección con forma de domo. En el péndulo (B) se monta una superficie de contacto dura, como se muestra en la Fig. 15 como un área gris claro en la cabeza del martillo pendular. La superficie de contacto usada fue una placa SNGN pulida (h = 5,00 mm, l = 19,40 mm, w = 19,40 mm) de un grado de metal duro de grano fino duro con una dureza Vickers (HV30) de aprox. 1.900.

Cuando se suelta el péndulo, la superficie de contacto golpea la punta de la muestra. Si la muestra falla, la energía de impacto absorbida por la muestra AE (en julios) se calcula, para un ángulo pendular inicial dado, usando la ecuación 5.

$$35 \quad AE = (m_{\text{tot}} \times g \times L \times (1 - \cos(\alpha))) \quad (5)$$

Donde m es la masa total del martillo pendular 4,22 kg, g es la constante gravitacional 9,81 m/s<sup>2</sup>, L es la longitud del martillo pendular 0,231 m y α es el ángulo en radianes.

- 40 Para determinar la energía necesaria para fracturar la muestra, primero se golpea con el péndulo lanzado desde un ángulo bajo adecuado. Luego, el ángulo se aumenta gradualmente con un paso de 5 grados hasta que la muestra falla. La muestra se impacta una vez en cada nivel de energía de impacto (ángulo). Una fisura o desconchado visible se considera como falla de la muestra. La primera prueba a partir del nivel de energía de bajo impacto no se cuenta como válida en la evaluación. En las siguientes pruebas, usadas en la evaluación, el ángulo se reduce en 5 grados

desde el ángulo en el que se observó la falla por primera vez, y luego se aumenta nuevamente con un paso más fino de 3 grados hasta que se alcanza nuevamente la falla. El resultado objetivo es tal que cada inserto falla en el segundo ángulo (impacto); sin embargo, algunos de los insertos fallaron solo en el tercer impacto. Estos también se contaron como resultados válidos. Los insertos que fallaron en el primer impacto no se incluyeron en la evaluación. En estas pruebas, la superficie de contacto se cambió cada 5-10 impactos. Los resultados obtenidos para la Muestra 1 y la Muestra 2 en función de los diferentes tratamientos superficiales se presentan en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Muestra 1 (comparativa)

| Tratamiento                | Energía absorbida en la falla (J) | $\Delta AE$ (%) | No. de pruebas/muestras válidas |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Sin tratar (DE-desbastado) | 3,5                               | 0               | 3                               |
| 27 min E                   | 12,6                              | 261             | 3                               |

Tabla 5. Muestra 2 (invención)

| Tratamiento                | Energía absorbida en la falla (J) | $\Delta AE$ (%) | No. de pruebas/muestras válidas |
|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| Sin tratar (DE-desbastado) | 3,5                               | 0               | 3                               |
| 27 min E                   | 13,8                              | 295             | 3                               |

En las Tablas 2 y 3:  $\Delta AE$  en porcentaje se calcula como:

$$\Delta AE = ((AE \text{ promedio (Tratado)} - AE \text{ promedio (DE-desbastado)}) / AE \text{ promedio (DE-desbastado)}) * 100$$

donde AE es la energía absorbida en la factura.

Los resultados muestran que la resistencia a la falla, medida como la energía necesaria para fracturar la muestra, aumenta más (295 %) cuando se compara un inserto que contiene cromo que ha sido tratado con el método-E con un inserto que no contiene cromo (261 %), siendo el nivel de referencia las muestras no tratadas (DE-desbastado).

Ejemplo 7, tenacidad de la Muestra 1 y la Muestra 2

La tenacidad de los insertos de broca de perforación de la Muestra 1 y la Muestra 2 (fabricados según el Ejemplo 4) se caracterizó mediante la prueba de compresión del inserto, que es una alternativa a la prueba del martillo pendular usado en el Ejemplo 6.

Para cada uno de los materiales, Muestra 1 y Muestra 2, una parte de los insertos del mismo lote se probaron en condición sinterizada, mientras que otra parte de los insertos se probaron después de 9 minutos de tratamiento usando el método-E como ya se describió en el Ejemplo 4.

El método de prueba de compresión del inserto (IC) consiste en comprimir un inserto de broca de perforación entre dos superficies opuestas duras, planas y paralelas, a una velocidad de desplazamiento constante, hasta la falla del inserto. Se usó un dispositivo de prueba basado en la norma ISO 4506:2017 (E) "Metales duros - Prueba de compresión", con yunques de carburo cementado de dureza superior a 2.000 HV, mientras que el método de prueba en sí se adaptó a la prueba de dureza de insertos de perforación de rocas. El accesorio se instaló en un marco de prueba Instron 5989. El eje de carga era idéntico al eje de simetría rotacional de los insertos.

Las superficies de contacto del montaje cumplían con el grado de paralelismo exigido en la norma ISO 4506:2017 (E), es decir, una desviación máxima de 0,5  $\mu\text{m/mm}$ . Esto es de gran importancia para el ajuste de la prueba y la repetibilidad de los resultados. Los insertos ensayados se cargaron a una velocidad constante de desplazamiento de la cruzeta igual a 0,6 mm/min hasta el fallo, mientras se registraba la curva carga-desplazamiento. El banco de pruebas y la conformidad del dispositivo de prueba se sustrajo de la curva carga-desplazamiento medida antes de la evaluación de la prueba. Se probaron dos insertos por material y tratamiento. Las superficies de contacto se inspeccionaron en busca de daños antes de cada ensayo. Se definió que la falla del inserto ocurría cuando la carga medida descendía repentinamente en al menos 1.000 N. La inspección posterior de los insertos probados confirmó que esto en todos los casos coincidía con la ocurrencia de una grieta macroscópicamente visible.

La tenacidad del material se caracterizó por medio de la energía de deformación total absorbida hasta la fractura, denotada como AEIC. La AEIC se calculó para cada prueba como el área total bajo la curva carga-desplazamiento medida hasta la fractura. La Tabla 6 muestra los valores medios de la AEIC obtenidos para los materiales de la Muestra 1 y la Muestra 2 en estado sinterizado y después de 9 minutos de tratamiento-E, respectivamente.  $\Delta AEIC$ , el aumento porcentual promedio en la energía absorbida después del tratamiento, también se incluye en la tabla. El aumento se calculó a partir del promedio de los valores de energía absorbidos como:

$$\Delta AEIC = ((AEIC \text{ tratada} - AEIC \text{ sinterizada}) / AEIC \text{ sinterizada}) * 100$$

Tabla 6. Energía absorbida en la prueba de compresión del inserto.

| Material  | AEIC (sinterizada) (J) | AEIC (tratada 9 min método-E) (J) | $\Delta AEIC$ (%) |
|-----------|------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Muestra 1 | 0,53                   | 2,99                              | 463               |
| Muestra 2 | 0,68                   | 4,18                              | 511               |

Se puede ver a partir de los resultados de la prueba que incluso el corto tiempo de tratamiento del método E de 9 minutos resultó en un aumento dramático de la energía absorbida. El efecto del tratamiento fue claramente más pronunciado para la Muestra 2 que contenía cromo, con una  $\Delta AEIC$  del 511 % en comparación con el 463 % obtenido con la Muestra 1 sin cromo, a pesar del mismo volumen de fase aglomerante de los dos materiales.

Ejemplo 8, prueba de desgaste por abrasión

Los insertos de broca de perforación de la Muestra 1 y la Muestra 2 según el Ejemplo 3 ( $\varnothing 10$  mm de DE, frente esférico) en un estado sinterizado y después del tratamiento E se probaron en una prueba de desgaste por abrasión, en donde las puntas de la muestra se desgastan contra una superficie de contacto giratoria de registro de granito en una operación de torneado. Los parámetros de la prueba usados fueron los siguientes: carga de 200 N aplicada a cada inserto, rpm del registro de granito = 280, circunferencia de registro entre 44 y 45 cm y una velocidad de avance horizontal de 0,339 mm/rev. La distancia de deslizamiento en cada prueba fue constante a 150 m y la muestra se enfriaba por un flujo continuo de agua. Cada muestra se pesó cuidadosamente antes y después de la prueba. Se evaluó la pérdida de masa de una a dos muestras por material después de una distancia de deslizamiento de 150 m. La pérdida de volumen de muestra para cada uno de los materiales probados y diferentes tratamientos superficiales, calculada a partir de la pérdida de masa medida y de la densidad de la muestra, se presenta en la Tabla 7.

Los resultados de la prueba de desgaste por abrasión muestran claramente una resistencia al desgaste significativamente mayor para el material según la invención (Muestra 2), en comparación con el material de referencia (Muestra 1). Se observó una mejora adicional en la resistencia al desgaste para los insertos que habían sido sometidos al tratamiento superficial del método-E durante 27 min.

Tabla 7. Resultados como desgaste de la muestra medido en la prueba de desgaste por abrasión.

| Material de muestra    | Tratamiento      | Pérdida de masa de cada espécimen (g) | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Desgaste volumétrico de cada espécimen (mm <sup>3</sup> ) | Desgaste volumétrico medio (mm <sup>3</sup> ) |
|------------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Muestra 1, comparativa | Domo Sinterizado | 0,0078<br>0,0095                      | 15,10                         | 0,517<br>0,629                                            | 0,573                                         |
| Muestra 1, comparativa | 27 min E         | 0,0071<br>0,0071                      | 15,10                         | 0,470<br>0,470                                            | 0,470                                         |
| Muestra 2, invención   | Domo sinterizado | 0,0043<br>0,0045                      | 15,00                         | 0,287<br>0,300                                            | 0,293                                         |
| Muestra 2, invención   | 27 min E         | 0,0034<br>0,0031                      | 15,00                         | 0,227<br>0,207                                            | 0,217                                         |

## REIVINDICACIONES

1. Un inserto de perforación de rocas hecho de carburo cementado que comprende componentes duros de carburo de tungsteno en una fase aglomerante de Ni-Cr, o Ni-Co-Cr, y el resto WC e impurezas inevitables, en donde el carburo cementado comprende del 3,5 al 18 % en peso de fase aglutinante, la fase aglutinante comprende >25 % en peso de Ni, la relación másica de Cr/(Ni+Co) definida en la presente invención es, por lo tanto, sustancialmente la misma y está presente en todo el inserto de perforación de rocas, incluido en el volumen, y es de 0,02 a 0,19, en donde dicho carburo cementado tiene una dureza no mayor de 1.700 HV3, en donde no existe un gradiente sustancial de elementos de la fase aglomerante Ni, Co o Cr presentes al pasar de la superficie del inserto de perforación de rocas a su interior, y se caracteriza porque la diferencia entre la dureza, medida según el método definido en la descripción, a 0,3 mm de profundidad en cualquier punto de la superficie del inserto de perforación de rocas y la dureza mínima en el volumen del inserto de perforación de rocas es de al menos 30 HV3, y porque el carburo cementado sinterizado no contiene carburos de cromo no disueltos.
2. Un inserto de perforación de rocas según la reivindicación 1, en donde la diferencia entre la dureza a 0,3 mm de profundidad por debajo de la superficie en algún punto del inserto de perforación de rocas y la dureza a 1 mm por debajo de la superficie es al menos 20 HV3.
3. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en donde la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie en algún punto del inserto de perforación de rocas y la dureza promedio en el volumen del inserto de perforación de rocas es al menos 40 HV3.
4. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde la diferencia entre la dureza promedio a 0,3 mm por debajo de la superficie en algún punto del inserto de perforación de rocas y la dureza promedio a 1 mm por debajo de la superficie es al menos 15 HV3.
5. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde la diferencia entre la dureza a 0,3 mm por debajo de la superficie en cualquier punto del inserto de perforación de rocas y la dureza a 1 mm por debajo de la superficie del inserto de perforación de rocas es al menos 15 HV3.
6. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el valor medio del tamaño de grano del WC del carburo cementado es superior a 1 µm pero menor de 18 µm medido según un método de Jeffries como se define en la descripción.
7. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el carburo cementado comprende del 4 al 12 % en peso de fase aglomerante.
8. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde la fase aglutinante de Ni-Co-Cr comprende >50 % en peso de Ni.
9. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde la fase aglutinante es una fase aglutinante de Ni-Cr.
10. Un inserto de perforación de rocas según una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en donde la relación másica de Cr/(Ni+Co) en el carburo cementado es de 0,04 a 0,19.
11. Un inserto de perforación de rocas según la reivindicación 10, en donde la relación másica de Cr/(Ni+Co) en el carburo cementado es de 0,085 a 0,15.
12. Un cuerpo de broca de perforación de rocas que comprende uno o más insertos de perforación de rocas montados según una cualquiera de las reivindicaciones 1-11.

Fig. 1

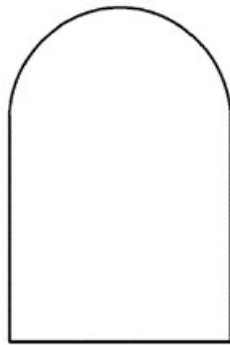


Fig. 2

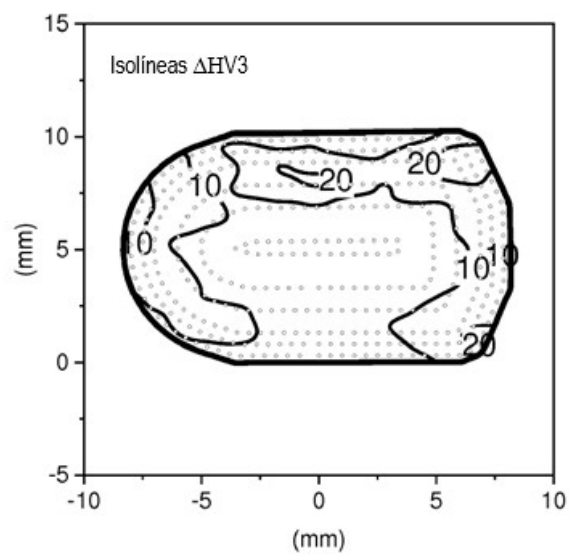


Fig. 3

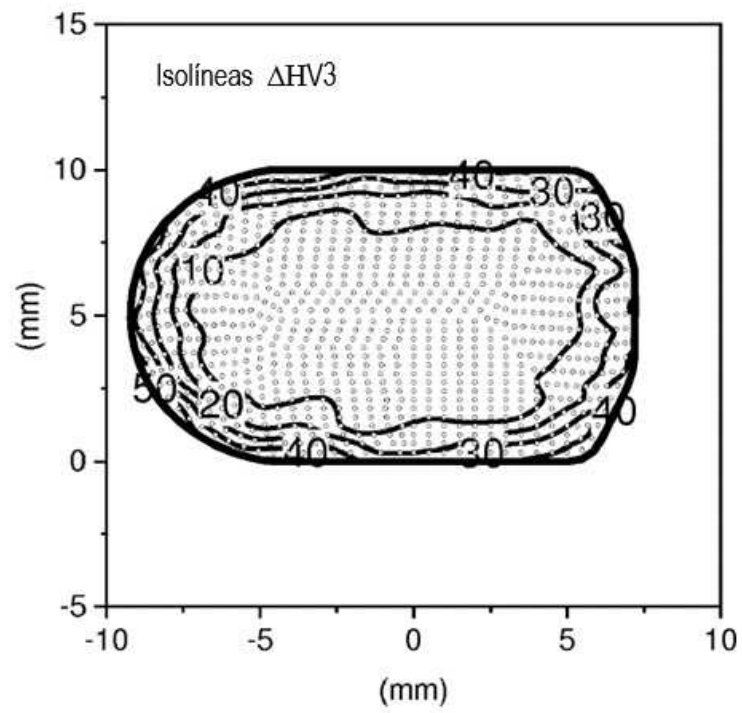


Fig. 4

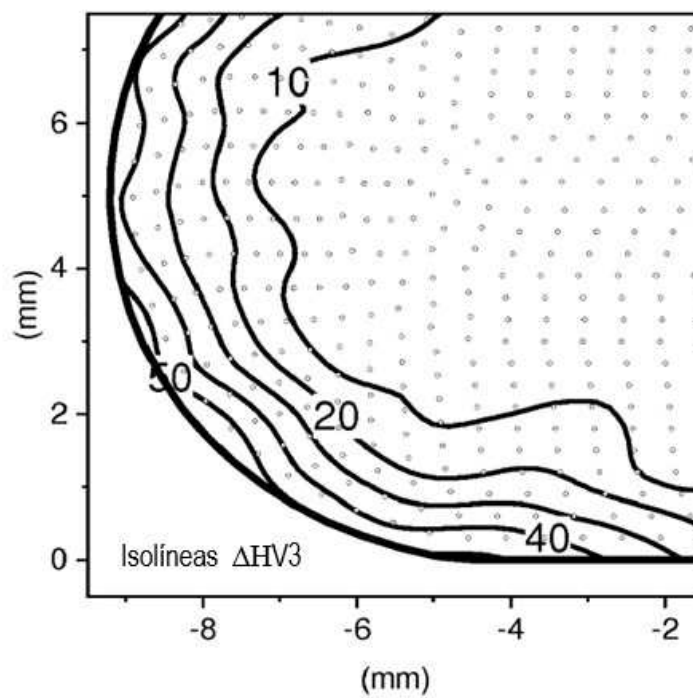


Fig. 5

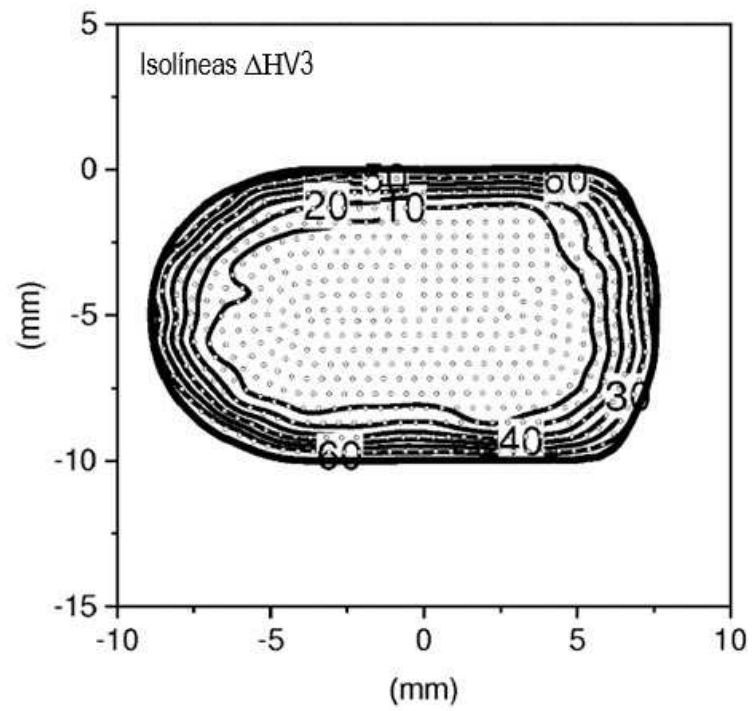


Fig. 6

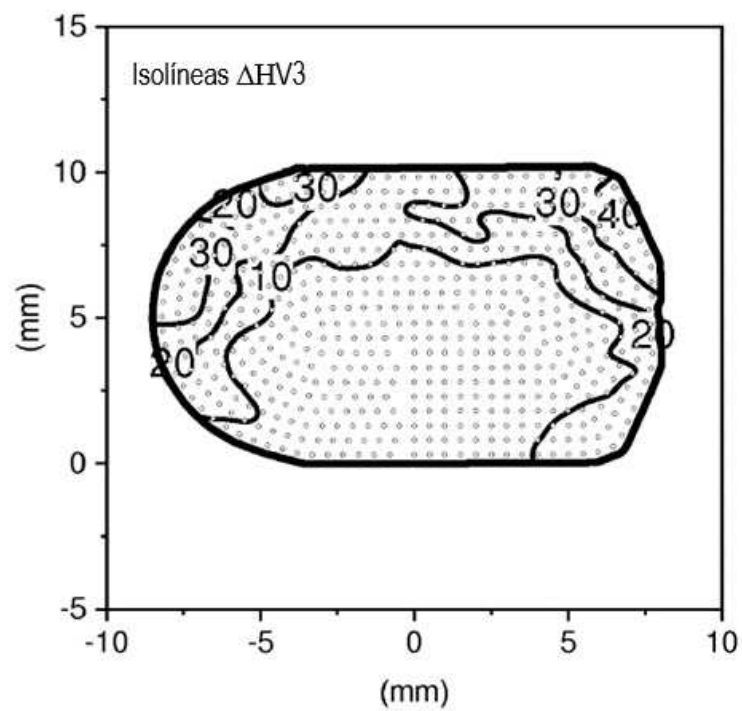


Fig. 7

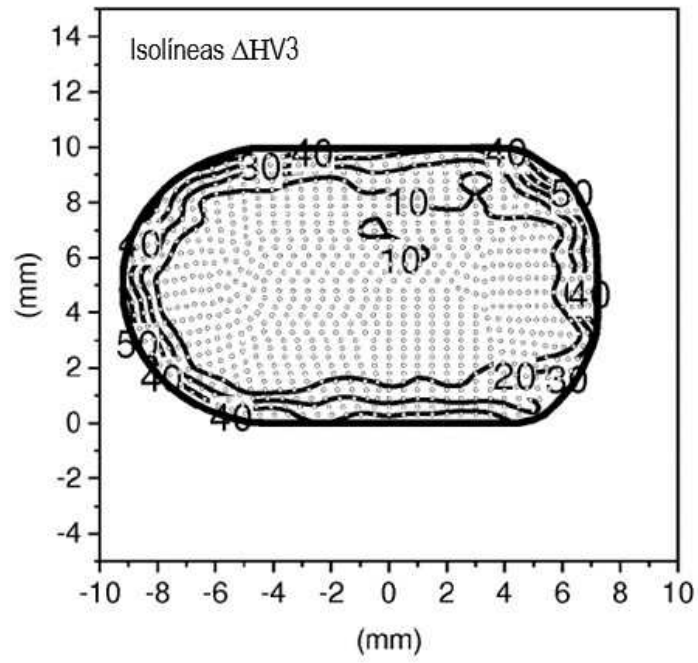


Fig. 8

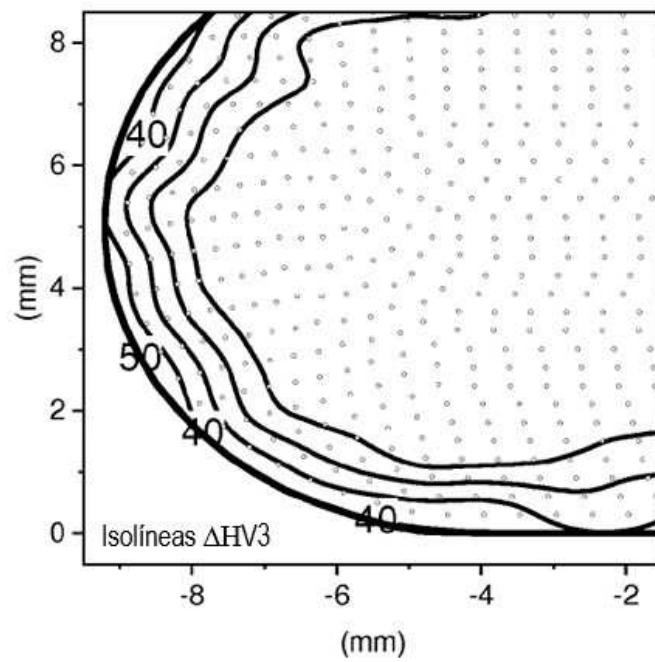


Fig. 9

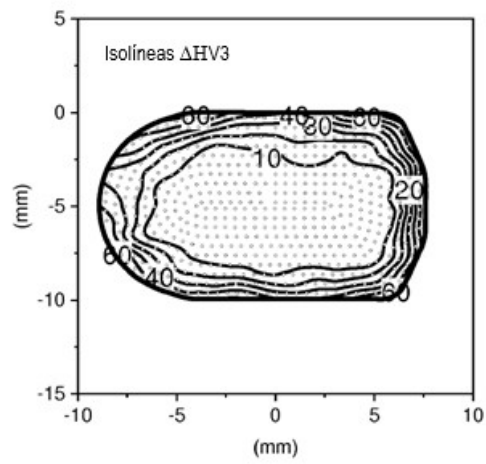


Fig. 10

