

**[Resumen]**

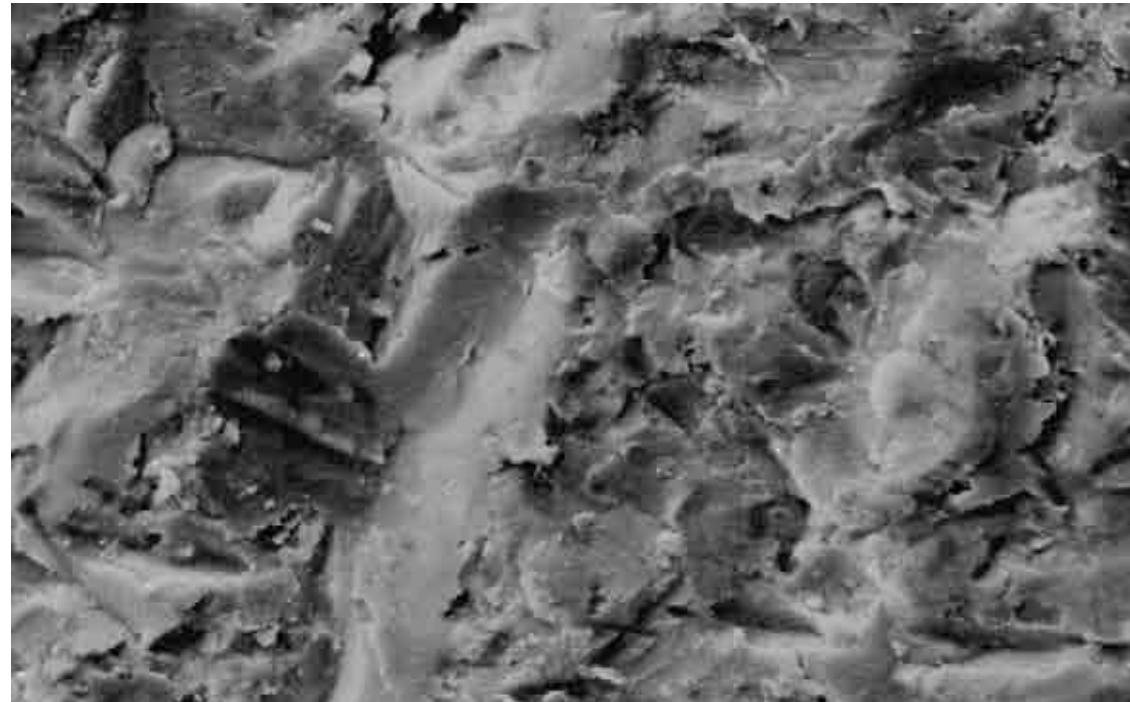
El Y-TZP (dióxido de zirconio parcialmente estabilizado con ítrio) está considerado como consolidado en la prótesis dental restauradora. En la mayoría de los casos, las restauraciones se tallan en una forma aumentada a partir de una pieza en bruto porosa y a continuación se sinterizan hasta obtener su densidad y tamaño definitivos. En muchos casos, el propio sistema hace inevitables los retoques manuales finales por medio de instrumentos rotatorios. En este estudio se estudiaron herramientas de rectificado y pulido convencionales para determinar su comportamiento abrasivo y desgaste. A ello se contrapusieron los daños superficiales encontrados en el Y-TZP y sus repercusiones sobre el comportamiento mecánico resultante. El método desarrollado especialmente para estos estudios permite por primera vez llevar a cabo estudios comparativos estandarizados de instrumentos de rectificado y pulido para pieza de mano y turbina y emitir recomendaciones.

**Palabras clave**

Dióxido de zirconio.  
Transformación de fase.  
Rectificado. Arenado.  
Comportamiento abrasivo.

(Quintessenz Zahntech.  
2009;35(4):470-83)

**Introducción**



## Estudio de la influencia de distintos sistemas de tallado de cerámica sobre el dióxido de zirconio

**Andrea Coldea, Marc Stephan, Michael Tholey y Norbert Thiel**

Gracias a los avances en el ámbito de las restauraciones de cerámica sin metal, hoy en día es posible satisfacer los requisitos de estética, biocompatibilidad y propiedades mecánicas excelentes planteados a las reposiciones cerámicas<sup>7,12</sup>. Sin embargo, para obtener unas construcciones de cerámica sin metal óptimas a menudo es necesario un acabado a mano utilizando instrumentos rotatorios.

Tras la sinterización a la máxima densidad se procede a trabajar la estructura de dióxido de zirconio tallada, por ejemplo mediante su ajuste sobre el muñón dental o el trabajado de piezas primarias en las técnicas paralela y cónica.

Otro uso de instrumentos rotatorios con material sinterizado a máxima densidad o sometido a prensado hidrostático forma parte del procedimiento en diversos sistemas CAD/CAM, como por ej. en los sistemas DCS PRECIDENT (Allschwil, Suiza), KaVo Everest

# CIENCIA CERÁMICA SIN METAL

(Biberach, Alemania), Digident (Pforzheim, Alemania) y Straumann-ekton (Gräfelfing, Alemania). En este caso se mantienen barras entre el bloque y la estructura. La mecanización y el corte de las barras plantean elevadas exigencias tanto a las herramientas durante el rectificado como para las fresas abrasivas durante el acabado. La dificultad en el acabado de Y-TZP (dióxido de zirconio parcialmente estabilizado con itrio) sinterizado a máxima densidad radica en la elección de los instrumentos adecuados, debido a la dureza muy elevada del material de la estructura. Las fresas abrasivas convencionales poseen una duración demasiado reducida y un desgaste excesivo.

Hasta ahora no se conoce ningún método para estudiar de forma estandarizada y por ende comparable la eficiencia de fresas abrasivas para la aplicación descrita. Con el creciente número de fresas abrasivas y de pulido especiales para Y-TZP, cada vez resultaba más difícil para el usuario acertar en su elección, máxime cuando los intereses de los fabricantes de fresas abrasivas y los de los fabricantes de materiales parecen ser opuestos. Las promesas de los fabricantes de fresas abrasivas de ofrecer tasas de abrasión cada vez más elevadas y mayores duraciones en las fresas abrasivas para Y-TZP se contraponen a las recomendaciones de la mayoría de los fabricantes de materiales, quienes normalmente consideran inapropiada una mecanización dura de las restauraciones sinterizadas.

En consecuencia, era preciso desarrollar un método que permitiera simular de forma reproducible las condiciones de uso.

A fin de respetar los intereses de ambas partes (fabricantes de fresas abrasivas y fabricantes de materiales), no debían analizarse únicamente las tasas de abrasión y las tasas de desgaste medidas de las fresas abrasivas, sino también los daños materiales resultantes en las superficies de Y-TZP. En este contexto, la idea consistía en determinar las influencias de la mecanización sobre el estado de fase, así como los daños superficiales del material de la estructura.

Los ejes de este estudio son la evaluación del comportamiento abrasivo, la representación de los daños a la superficie y de la transformación de fase debido al fresado o pulido, así como al arenado de Y-TZP sinterizado a máxima densidad.

Para este estudio se analizaron un total de 158 fresas abrasivas de los siguientes doce fabricantes: Meisinger (Neuss, Alemania), Edenta (Au/SG, Suiza), EVE (Pforzheim, Alemania), Stoddard (Hertfordshire, Inglaterra), Komet (Lemgo, Alemania), DFS (Riedenburg, Alemania), Jota (Rüthi/SG, Suiza), steco (Hamburgo, Alemania), NTI (Kahla, Alemania), Strauss & Co (Ra'anana, Israel), Shofu (Ratingen, Alemania) y Kenda (Vaduz, Liechtenstein). Todas las fresas abrasivas ensayadas han sido concebidas por los fabricantes especialmente para la mecanización de dióxido de zirconio. Las fresas abrasivas fueron divididas en 7 grupos en función de sus distintas indicaciones:

- Corte de barras
- Pulido de barras/corrección preliminar
- Corrección de precisión
- Pulido preliminar
- Pulido de precisión/pulido a brillo

## Planteamiento del problema

## Material Fresas abrasivas

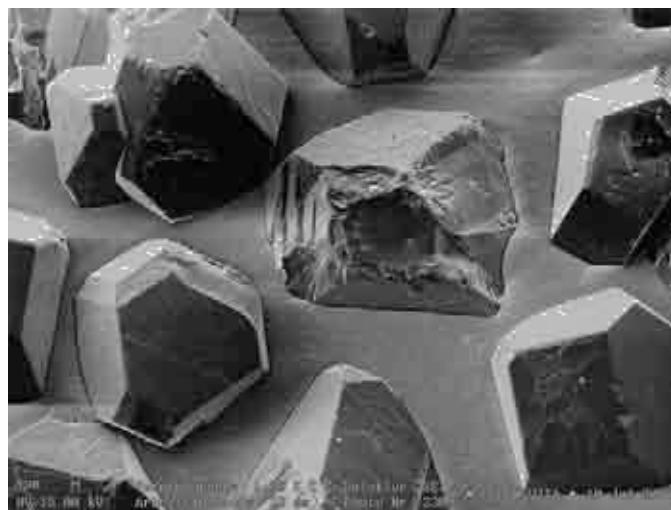


Fig. 1. Una imagen MEB (1.000 aumentos): ejemplo para una fresa abrasiva con granos de diamante ligados galvánicamente.

**Tabla 1.** División de los instrumentos rotatorios diamantados según tamaños de grano conforme a la DIN EN ISO 7711-3

Denominación	Abreviatura	Identificación cromática	Valor promedio del tamaño de grano [mm]	Número ISO
Ultrafino	UF	Blanco	8	494
Extrafino	EF	Amarillo	25	504
Fino	F	Rojo	46	514
Medio	M	Azul	107	524
Grueso	C	Verde	151	535
Muy grueso	VC	Negro	181	544

- Abrillantado intenso
- Tratamiento superficial de piezas primarias

En todas las fresas abrasivas para la mecanización de dióxido de zirconio, el material abrasivo consiste en granos de diamante (fig. 1). Éstos se aplican galvánicamente sobre un soporte metálico o están integrados en forma sinterizada en el soporte metálico. Los instrumentos de fresado se diferencian en cuanto al tamaño de grado de los granos de diamante; la tabla 1 refleja la división conforme a la DIN EN ISO 7711-3 0.

#### Superficie a mecanizar

En este estudio se utilizó como material de estructura VITA In-Ceram YZ (Vita Zahnfakrik, Bad Säckingen, Alemania) sinterizado a la máxima densidad. Se trata de bloques de dióxido de zirconio<sup>13</sup> ( $ZrO_2$ ) parcialmente estabilizado con óxido de itrio ( $Y_2O_3$ ) con un porcentaje en peso del 5%, sinterizados a la máxima densidad en un horno de alta temperatura (VITA ZYrcomat) conforme a las indicaciones del fabricante<sup>13</sup> y que presentaban siempre la misma densidad (6,07 g/cm<sup>3</sup>).

#### Método Abrasión

En el caso de la VITA-Machine for Standardized Grinding (MSG) (fig. 2) se trata de una máquina que posibilita un fresado automatizado, estandarizado y reproducible. El objeto de muestra (4) se fija mediante un sargento (3) sobre una mesa (9) con accionamiento

# CIENCIA CERÁMICA SIN METAL

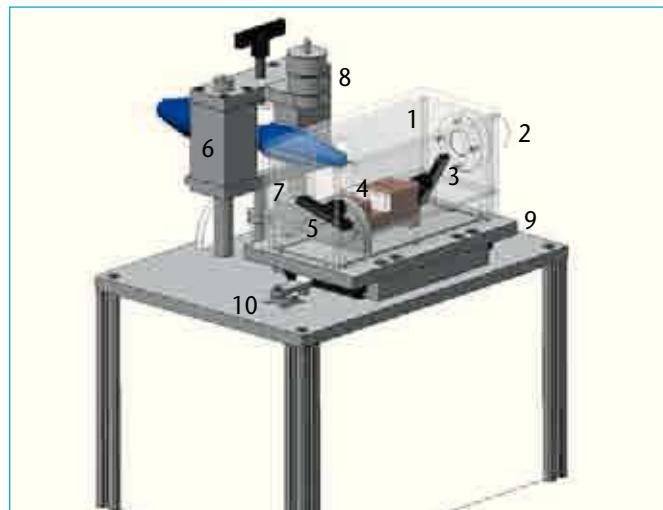


Fig. 2. Un dibujo técnico en 3D de la fresadora (software: Autodesk Inventor, Autodesk, Múnich, Alemania).

to (10). Esta mesa se mueve unidimensionalmente a una velocidad regulable. Además se puede inclinar el portamuestras (5). Esto es necesario al utilizar fresas abrasivas cuya forma geométrica no pueda aplicarse de forma plana sobre la superficie de la muestra (por ejemplo, cabezas abrasivas cónicas).

A continuación, se puede fijar mediante un sargento una pieza de mano o una turbina al soporte ajustable verticalmente en altura (6). Como pieza de mano se utilizó un modelo de la firma KaVo (tipo 4911) y como turbina un modelo de Bien Air (Biel, Suiza, tipo TDS 890). El soporte apoyado en rodamiento de bolas puede ser cargado con pesos (8) con arreglo a las fuerzas de apriete (según las indicaciones del fabricante). El peso propio de la pieza de mano y de la turbina se neutraliza mediante los contrapesos (7) correspondientes.

La cubierta de plexiglás transparente (1) se conecta mediante un manguito aspirador (2) al sistema de aspiración de una estación de trabajo de prótesis dental, a fin de evitar la formación de polvo con partículas respirables de dióxido de zirconio. Además sirve (1) como protección contra salpicaduras durante el uso de fresas abrasivas refrigeradas por agua. A través de una abertura en la mesa (9) se recoge el agua en un recipiente en la carcasa.

Se llevó a cabo un análisis de la abrasión a partir de la abrasión (en la estructura y en las fresas abrasivas) tras la mecanización (fresado, pulido, etc.). Se determinó la relación de la abrasión en la fresa abrasiva con la observada en el Y-TZP. Antes y después de la mecanización se midió el peso de la fresa abrasiva y del bloque Y-TZP.

Después de fijar la fresa abrasiva y el bloque Y-TZP en la máquina y tras ajustar el número de revoluciones, la fuerza de apriete y el ángulo de inclinación, se procedió al fresado seis veces durante un minuto cada vez. Para cada uno de los siete grupos se estableció una clasificación por rango en función de la relación de abrasión, empezando por el valor más bajo.

En este método de evaluación es preferible una fresa abrasiva con una menor relación de abrasión.

## *Análisis de la abrasión*

$$\text{Relación de abrasión} = \frac{\text{Abrasión en la fresa abrasiva [G]}}{\text{Abrasión en Y-TZP [g]}}$$

*Difractometría de rayos X  
(D8 Advance, Bruker AXS  
GmbH, Karlsruhe, Alemania)*

Se obtuvo un difractograma de cada bloque de Y-TZP fresado (un bloque por cada fresa abrasiva).

El principio de la difractometría de rayos X se basa en la interacción entre la radiación X y las redes cristalinas. La radiación X es difractada en un ángulo muy concreto, el ángulo de reflexión o de difracción, en los planos reticulares de la muestra (fig. 3). Estos ángulos son característicos de un cristal y se corresponden a las distancias entre los planos reticulares<sup>8</sup>. Los reflejos medidos se representan en un diagrama de difracción (fig. 4). En éste se representa el ángulo de reflexión en relación con la intensidad (radiación detectada). La posición de los distintos picos (= planos reticulares distintos) es característica de un cristal (comparable a una huella dactilar del material de muestra).

Mediante la comparación de espectros ya conocidos y registrados en una base de datos con el espectro registrado resulta posible la identificación<sup>8</sup>.

A partir de ahí fue posible constatar una transformación posible de la fase tetragonal a la fase monoclinica.

*Medición de la semianchura*

Se aplicó la medición de la semianchura (FWHM: Full Width at Half Maximum) para observar las tensiones en la red cristalina (a partir del pico principal tetragonal) y compararlas entre sí (fig. 4). Cuanto más ancho sea el pico tetragonal, tanto mayores son las tensiones de la red cristalina como consecuencia de la mecanización.

*Microscopía electrónica  
de barrido*

A partir de imágenes obtenidas mediante el microscopio electrónico de barrido (REM: LEO 438 VPi Carl Zeiss SMT) pudieron representarse los daños superficiales y las topografías superficiales inducidos por la mecanización.

*Arenado*

Para comparar un tratamiento superficial mediante fresas abrasivas se arenaron superficies de dióxido de zirconio con corindón precioso de 50 µm a una presión de 2,5 bar (P-G 400, Harnisch + Rieth, Winterbach, Alemania).

Según Vita, una superficie de Y-TZP mecanizada cuya estructura cristalina se ha modificado se transforma de nuevo mediante una cocción especial de regeneración a 1.000 °C. Se comprobó de nuevo la veracidad de esta afirmación.

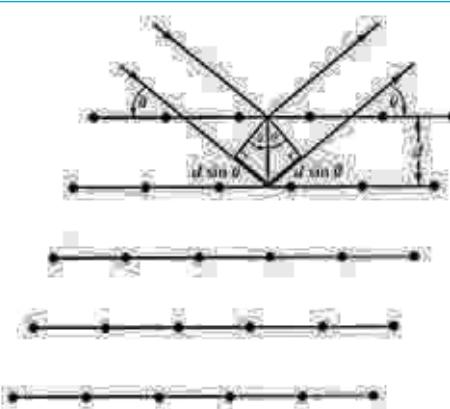


Fig. 3. Representación esquemática del proceso de difracción en planos reticulares<sup>4</sup>.

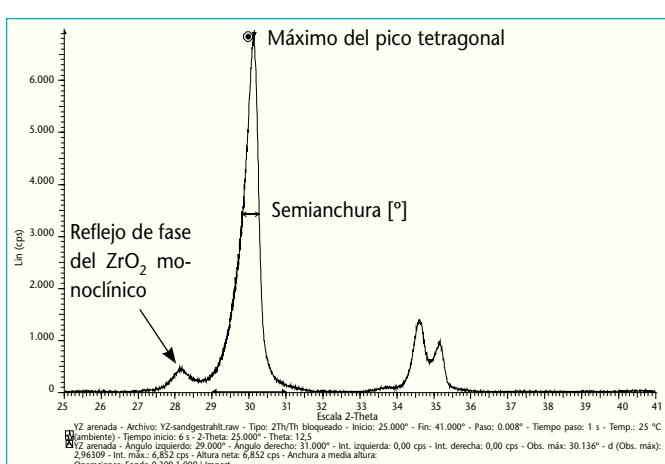


Fig. 4. Ejemplo de una medición FWHM en un difractograma.

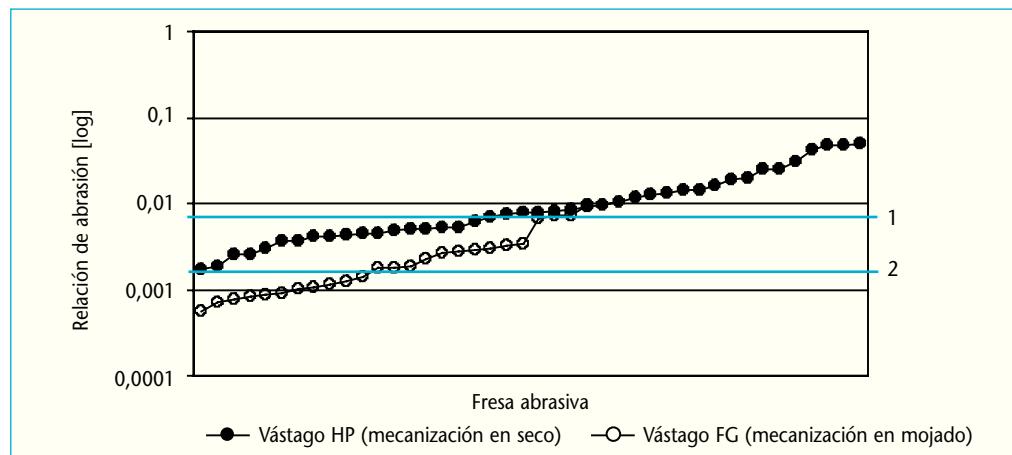


Fig. 5. La relación de abrasión (corrección preliminar) se divide en accionamiento por turbina y accionamiento por pieza de mano.

Sólo en el grupo 2 fue posible una comparación clara entre la pieza de mano (HP = Hand Piece, círculos negros en la fig. 5) y la mecanización en seco y el accionamiento por turbina (FG = Friction Grip, círculos claros en el análisis de abrasión fig. 5) y la mecanización en mojado, puesto que sólo en dicho grupo se disponía de fresas tanto FG como HP (fig. 5). Una fresa abrasiva alcanza su máxima eficiencia cuando la relación de abrasión es lo más pequeña posible.

Esta representación permite constatar que las fresas para la turbina obtienen mejores resultados en general. Hasta la primera línea dominan las fresas FG. Entre las líneas 1 y 2 se solapan las fresas de turbina y de pieza de mano. Por encima de la segunda línea aparecen exclusivamente fresas HP. En síntesis, del diagrama (fig. 5) se deriva que en la región con baja relación de abrasión predominan las fresas de turbina, mientras que en las regiones con relación de abrasión más elevada predominan las fresas de pieza de mano.

Por lo demás, las fluctuaciones dentro de las fresas de pieza de mano son sensiblemente mayores que en las fresas de turbina.

No se observaron diferencias significativas en los distintos difractogramas en relación con la proporción de fase monoclinica para las fresas de turbina y las de pieza de mano (así como entre la mecanización en mojado y en seco). A este resultado llegaron también Fischer et al en su estudio<sup>3</sup>. No fue posible un cálculo exacto de la proporción de fase monoclinica. Posiblemente ésta es reducida en comparación con la fase tetragonal. A continuación se representan como ejemplo un difractograma de una superficie Y-TZP no mecanizada (fig. 6) y de una superficie Y-TZP mecanizada mediante una fresa basta (fig. 7).

A partir de la medición de la semianchura, orientada por el pico principal tetragonal, se demostró que dicho pico principal es tanto más ancho y posee una intensidad tanto más baja cuanto más basta es el material abrasivo de la fresa abrasiva. Esto significa que la tensión en la superficie depende directamente de la fresa abrasiva.

A partir de las semianchuras del pico tetragonal se puede demostrar también la acción distinta de la turbina y de la pieza de mano. A partir de los grupos 2, 3 y 7 se obtuvieron los valores promedio de la FWHM.

### Resultados Análisis de abrasión

*Transformación  
de tetragonal a monoclinica  
(difractometría de rayos X)*

*Medición de la semianchura*

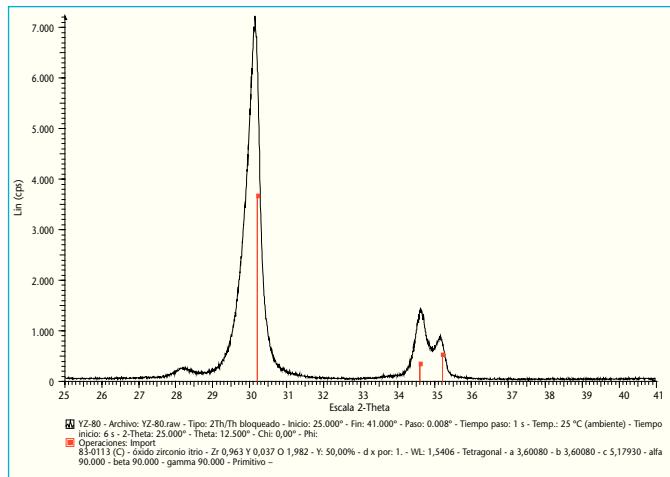
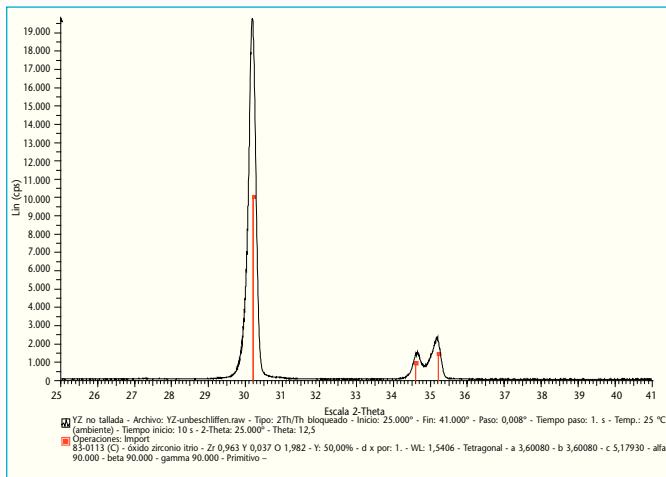


Fig. 6. El difractograma de una superficie de  $\text{ZrO}_2$  no mecanizada en la zona de 20 desde 25° hasta 40°.

Fig. 7. El difractograma de una superficie de  $\text{ZrO}_2$  mecanizada en la zona de 20 desde 25° hasta 40°.

Para las fresas HP el valor se sitúa aproximadamente en  $0,386^\circ$  y dentro de las fresas FG se sitúa en  $0,375^\circ$ . El valor de referencia se sitúa en  $0,221^\circ$  (fig. 8). Esto equivale a la semianchura del pico tetragonal de una superficie Y-TZP no mecanizada.

Las fresas de pieza de mano inducen más tensiones de la red cristalina.

Algo parecido se observa en la comparación de la semianchura dentro de los grupos de pulidores.

A medida que disminuye el tamaño de grano del material abrasivo (diamante) se reducen también las tensiones de la red cristalina inducidas por la mecanización. Así lo ilustra la figura 9, en la que se muestra una comparación de las semianchuras de los picos tetragonales de  $\text{ZrO}_2$  tratado con pulidores bastos, finos y de abrillantado intenso.

Al contraponer las fresas de distintos granos dentro del grupo 7 se observa lo mismo: las tensiones de la red cristalina disminuyen a medida que se reduce el tamaño del grano del material abrasivo. Así lo ponen de manifiesto también las semianchuras al utilizar un grano muy grueso hasta un gran ultrafino (fig. 10).

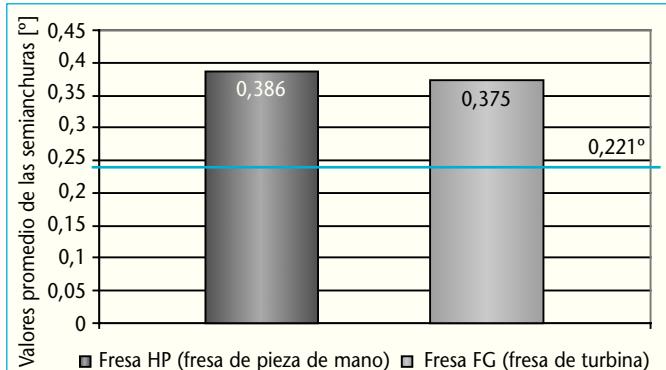


Fig. 8. Comparación de FWHM (valores promedio) entre las fresas abrasivas para la pieza de mano (izquierda) y las fresas abrasivas para la turbina (derecha).

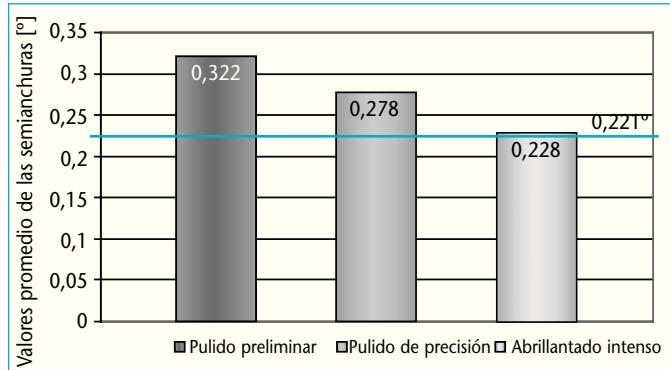


Fig. 9. Comparación de FWHM (valores promedio) entre pulidor baste, pulidor fino y pulidor de abrillantado intenso.

# CIENCIA CERÁMICA SIN METAL

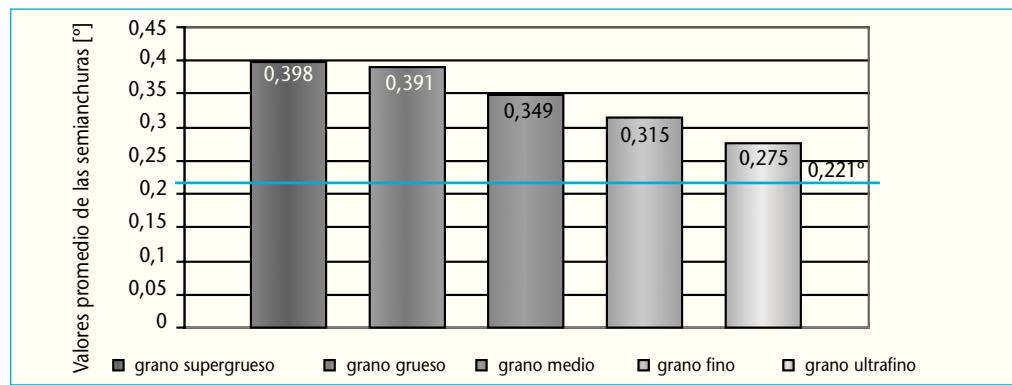


Fig. 10. Comparación de FWHM (valores promedio) dentro del grupo 7 (técnica de fresado), si bien en este caso las fresas abrasivas se dividieron en función de su grano desde supergrueso hasta ultrafino.

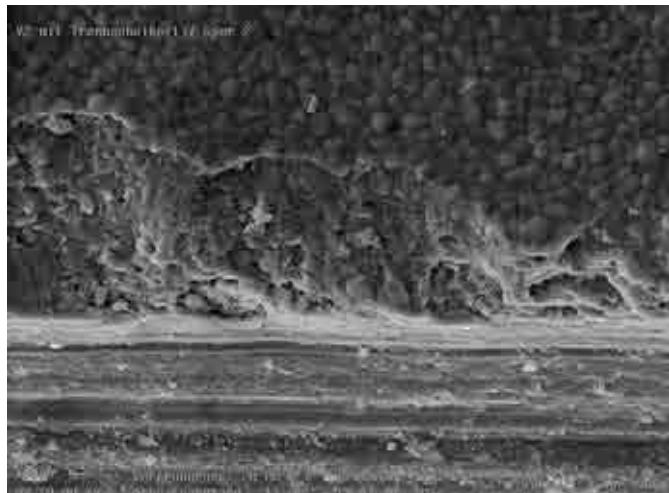


Fig. 11. Imagen MEB (20.000 aumentos) de una superficie Y-TZP mecanizada con disco de corte.

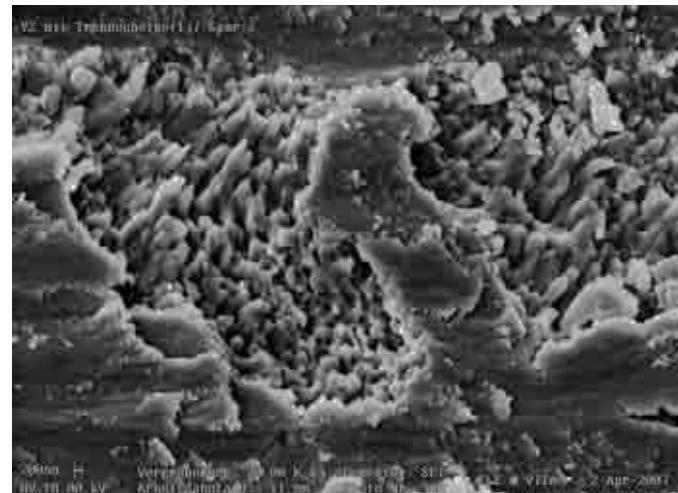


Fig. 12. Imagen MEB (20.000 aumentos) de una superficie Y-TZP mecanizada con disco de corte.

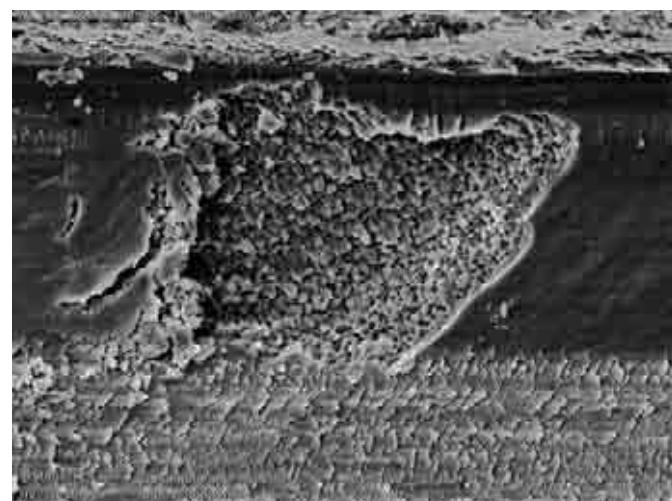


Fig. 13. Imagen MEB (10.000 aumentos) de una superficie Y-TZP mecanizada con fresa abrasiva (para la pieza de mano, ligadura cerámica).

En la figura 11 se muestra una imagen MEB de una superficie Y-TZP trabajada con un disco de corte (grano ISO: 524). Es visible la zona marginal del surco de abrasión del disco de corte. El disco de corte se movió dentro de la superficie delimitada (líneas punteadas) en la dirección de la flecha sobre el bloque Y-TZP.

## Daños a la superficie

