

# EFECTOS DE LA APLICACIÓN Y DEL TIPO DE FLUIDO PARA RECTIFICADO SOBRE EL RENDIMIENTO DE UNA RUEDA CBN

Por: Alan C. Carius

Program Manager, Borazon CBN Marketing  
GE Superabrasives Worthington, Ohio

©Reproducido con autorización expresa del editor



Fig 1

## INTRODUCCIÓN

El uso de ruedas rectificadoras que contienen nitruro de boro cúbico (CBN), un abrasivo super duro, se ha incrementado dramáticamente en los últimos años. (Figura 1) Antes, desde la introducción del CBN en 1969 por la General Electric, su uso era limitado y se aplicaba principalmente en el afilado de herramientas de corte. Una serie de factores han conllevado a un incremento en el interés por el uso de este superabrasivo, en particular en las áreas de rectificado de producción. Uno de estos factores es el conocimiento adquirido por los usuarios potenciales del CBN acerca de sus beneficios y

principios de funcionamiento. Los parámetros y consideraciones necesarias para aplicar y optimizar el rendimiento de una rueda CBN no son difíciles de entender. Sin embargo, en muchos casos, ellos difieren un poco de aquellos ampliamente aceptados y por mucho tiempo utilizados en ruedas de óxido de aluminio  $Al_2O_3$  convencionales.

Haciendo una discusión y un análisis profundo de todos los factores que influyen en el rendimiento de una rueda CBN se podría fácilmente llenar un libro. De hecho, ha sido publicado un nuevo libro que contiene información acerca de los superabrasivos.<sup>(10)</sup>

Existen cinco factores principales que deben ser considerados al diseñar un proceso de remoción de metales que incorpore el uso de una rueda rectificadora CBN. La optimización del proceso de rectificado, con respecto a estos factores, incrementará el rendimiento de la rueda CBN y bajará los costos totales del rectificado. En muchos casos, estos factores hacen la diferencia entre el éxito y el fracaso del proceso. Estos factores son:

- Calidad de la máquina herramienta
- Acondicionamiento inicial de la rueda rectificadora
- Parámetros de avance de la máquina
- Velocidad de la rueda rectificadora
- Fluidos para rectificado.

Ninguno de los factores nombrados con anterioridad son un misterio, ni deben ser considerados exclusivos al CBN. El rendimiento de cualquier rueda rectificadora será mejorado si estos factores son tenidos en cuenta y optimizados para alguna aplicación particular. Sin embargo, la relativamente corta vida y bajo costo de las ruedas convencionales, en muchos casos, han satisfecho a sus usuarios.

La razón de rectificado (GR) es un valor que indica la eficiencia y sobre todo el potencial de vida de una rueda rectificadora. Este valor es obtenido dividiendo el volumen de material removido en el proceso de rectificado por el volumen consumido por la rueda de rectificado. El valor GR para una rueda CBN típicamente fluctuará de 100 a 1000 veces, a como lo haría una rueda  $Al_2O_3$  bajo las mismas condiciones. En consecuencia, el resultado de la optimización del rendimiento de la rueda por medio de la consideración de estos factores es similarmente magnificada cuando las ruedas CBN son utilizadas.

#### **Calidad de la máquina herramienta**

El rendimiento del mejor y más sofisticado equipo de rectificado CNC será limitado por la capacidad de la rueda que se está utilizando. Sin embargo, una máquina bien diseñada y bien mantenida puede incrementar significativamente el potencial de rendimiento de una rueda rectificadora (Figura 2). Algunas máquinas alrededor del mundo han sido diseñadas específicamente para ser usadas con ruedas de rectificado CBN. (6, 13, 18)

#### **Calidad de la máquina herramienta**

- Rigidez
- Exactitud de los sistemas de alimentación
- Energía adecuada
- Equipo de acondicionamiento de la rueda
- Aplicación del fluido/contención

**Fig. 2**

Las ruedas CBN pueden desempeñarse muy satisfactoriamente en equipos no tan nuevos si estos han tenido un mantenimiento apropiado. Un buen rodamiento de husillo, así como unas guías y tornillos de avance ajustados y exactos, son esenciales para un rendimiento efectivo. Una máquina vieja y usada no puede llegar a desempeñarse en iguales condiciones que una máquina nueva con la instalación de una rueda rectificadora CBN. De hecho, bajo estas condiciones, un equipo de rectificado puede rendir de manera menos efectiva con ruedas CBN que con ruedas  $Al_2O_3$ .

#### **Acondicionamiento inicial de la rueda rectificadora**

El acondicionamiento inicial de la rueda rectificadora aparenta ser muy básico. Sin embargo, si se desea que la rueda rectificadora funcione bien, este debe ser hecho apropiadamente. Muchas ruedas rectificadoras CBN fallan en su funcionamiento como resultado de un acondicionamiento inadecuado más que por alguna otra razón. El tipo de rueda y el tipo de sistema de unión, así como la condición en que se encuentra la rueda al ser recibida de quien la ha fabricado, dictarán la magnitud de alineado y preparación mecánica requeridas. Se han escrito un número de artículos técnicos sobre el acondicionamiento de ruedas CBN y su efecto en el rendimiento de estas. (1, 12, 15, 16)

#### **Parámetros de avance de la máquina**

El proceso global de rectificado abarca un número de elementos tales como, avance descendente, avance normal, avance transversal y velocidad de trabajo. La variación de estos parámetros, respecto uno del otro, puede afectar la vida de la

rueda, el acabado e integridad de la superficie de la pieza de trabajo, la exactitud geométrica de la parte y la efectividad de costo de la operación.

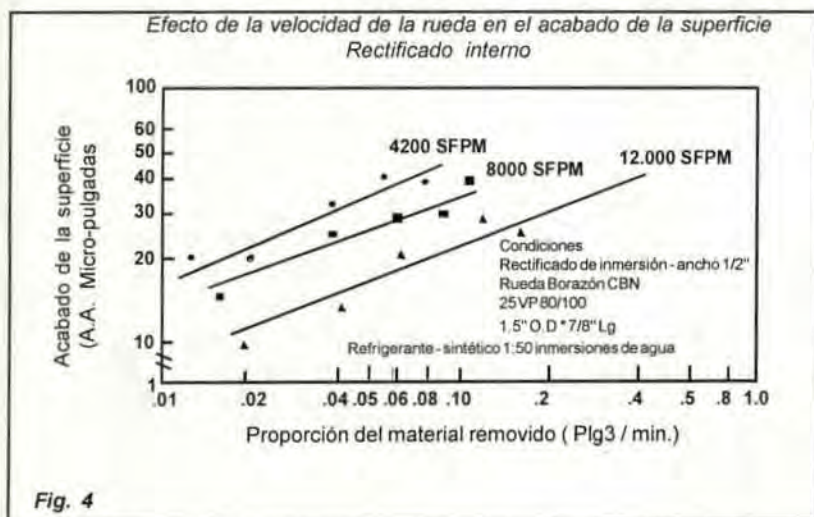
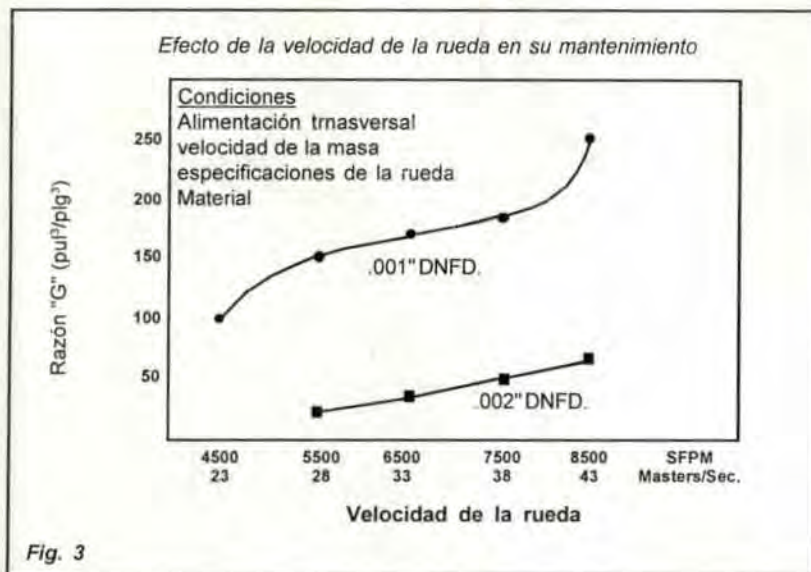
Por estas razones estos parámetros no deben ser considerados a la ligera. Puesto que una rueda CBN se desgasta más lentamente que una rueda  $Al_2O_3$  convencional, un avance adicional para compensar el desgaste de la rueda por lo general, no es requerido. Unos rangos de avance más bajos pueden extender la vida de una rueda CBN y a menudo remover la misma cantidad de material que una rueda  $Al_2O_3$  que esté funcionando con rangos de avance más altos para compensar sus posibles fallas.

#### **Velocidad de rectificado de la rueda**

El uso de una mayor velocidad en la rueda de rectificado suministra un gran número de beneficios. Se ha probado que un incremento en la velocidad de la rueda de 4500 SFPM (pies por minuto (rev)) a 8500 SFPM (pies por minuto (rev)) puede duplicar la vida de la rueda CBN o proveer una vida equivalente mientras duplica el grado de remoción de material (Figura 3). También se ha probado que la calidad del acabado superficial generado mejorará con el incremento de la velocidad de la rueda (Figura 4).

Muchas máquinas herramientas comunes son capaces de incrementar la velocidad de las ruedas en el rango de 6500, 7500 u 8500 SFPM (pies por minuto (rev)).

Los rodamientos de husillo, los sistemas de balanceo y de descarga de refrigerante pueden requerir modificaciones para operar



a estas velocidades. Sin embargo, las velocidades nunca deben excederse de aquellas recomendadas por el fabricante de las ruedas de rectificado.

En los últimos años se han llevado a cabo varios trabajos en universidades<sup>(19)</sup> y en la industria privada para desarrollar sistemas de rectificado que operen a muy altas velocidades hasta 50000 SFPM y a veces más. Estas condiciones no se encuentran en equipos comunes con ruedas CBN estándar. Una nueva generación de

máquinas herramientas están siendo diseñadas e implementadas para lograr rangos de remoción de material nunca antes imaginados en un proceso de rectificado.

## FLUIDOS DE RECTIFICADO

El fluido de rectificado es probablemente el factor más malentendido y descuidado en la optimización del rendimiento de una rueda. No sólo es importante el tipo de fluido sino también su utilización para el

éxito de una operación de rectificado.

Aunque algunas aplicaciones son llevadas a cabo en seco (sin el uso de un fluido), las operaciones de producción de más alta eficiencia utilizan algunos fluidos de rectificado. Los fluidos lubrican la zona a rectificar, reducen el calor por fricción, enfrían la rueda y la parte trabajada para reducir o eliminar el daño térmico y limpiar la rueda y la zona de rectificado de virutas y otras partículas que pueden cargar la cara de la rueda y reducir la eficiencia del proceso. Los fluidos proporcionan rangos de remoción de material más altos, mientras que incrementan la vida de la rueda y la calidad de la pieza. Antes se utilizaba agua con un simple inhibidor de óxido, ahora los fluidos son una sofisticada mezcla de ingredientes, los cuales refrigeran, lubrican e inhiben la corrosión mientras que alargan la vida del fluido a pesar de la existencia de condiciones muy adversas.

### Tipos de fluidos para rectificado

- Sintético (químico)
- Semi-sintético
- Aceite soluble (emulsión)
- Aceite corriente.
  - Petróleo
  - Sintético

Fig. 5

Los fluidos de rectificado pueden ser clasificados en cuatro categorías principales: (Figura 5) Estas categorías se diferencian una de otra en sus características químicas y de rendimiento. Algunas de estas características son presentadas en la Figura 6. Ningún

| Características de los fluidos para rectificado |           |                |                |                  |
|-------------------------------------------------|-----------|----------------|----------------|------------------|
|                                                 | 1= pobre  |                | 4 = óptimo     |                  |
|                                                 | Sintético | Semi-sintético | Aceite soluble | Aceite corriente |
| Remoción de calor                               | 4         | 3              | 2              | 1                |
| Lubricidad                                      | 1         | 2              | 3              | 4                |
| Mantenimiento                                   | 3         | 2              | 1              | 4                |
| Filtrabilidad                                   | 4         | 3              | 2              | 1                |
| Ambiente                                        | 4         | 3              | 2              | 1                |
| Costo                                           | 4         | 3              | 2              | 1                |
| Vida de la rueda                                | 1         | 2              | 3              | 4                |

Fig. 6

fluído puede ser denominado como ideal en todos sus aspectos. Cada fluído debe ser evaluado por los requerimientos y las limitaciones de la aplicación y por el ambiente en que será utilizado. La vida de la rueda, la calidad de la pieza, las capacidades del equipo y las consideraciones ambientales deben ser tenidas en cuenta.

### Programas de prueba

Recientemente se han gestionado tres programas de evaluación diferentes para determinar las características de rendimiento de varios tipos de fluidos de rectificado (figura 7).

#### Evaluación del rendimiento de los fluidos para rectificado

- 3 Programas de laboratorio
- Tipos de fluidos
  - Aplicación de alta presión
  - Tensión residual producida con fluidos a base de agua

Fig. 7

### Tipos de fluidos

El primer programa evalúa el efecto de los tipos de fluidos de rectificado en la vida de las ruedas CBN con uniones de resina.<sup>(3)</sup> En estas

evaluaciones de rectificado de superficies sobre aceros enduridos T-15 y D-2, se muestra que, entre los productos evaluados, el aceite corriente sobresalió en rendimiento sobre todos los tipos de fluidos basados en agua por factores de 1.2 a 9 veces. (figuras 8,9,10).

#### Tipos de fluidos vs vida de la rueda

Material: T-15  
Veloc. de la rueda: 5500pies/min (rev)  
Veloc. de la mesa: 50 pies/min  
Avance vertical: 0.002 pulg  
Avance transversal: 0,050 pulg  
Rueda: 6X1/4" unión de resina  
100 conc 140/170  
Borazón CBN=11

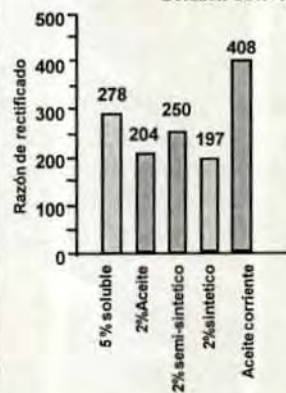


Fig. 8

El uso de fluidos a base de agua que contienen aceites, a menudo

#### Tipos de fluidos vs vida de la rueda

Material: D-2  
Veloc. de la rueda: 5500pies/min (nev)  
Veloc. de la mesa: 50 pies/min  
Avance vertical: 0.002 pulg  
Avance transversal: 050 pulg  
Rueda: 6X1/4" unión de resina  
100 conc 140/170  
Borazón CBN=11

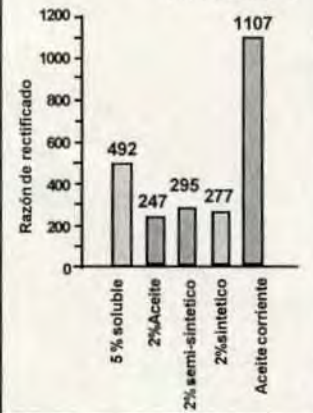


Fig. 9

no pueden ser mostrados como benéficos cuando son comparados con aquellos que no lo contienen. Los fluidos de aceite soluble y los fluidos semi-sintéticos contienen algún porcentaje de aceite, el cual le agrega lubricidad y protección a la partícula abrasiva CBN.

El aumento en la concentración de estos fluidos en la base de agua generalmente mejora la efectividad de estos.

Sin embargo, la información sobre la concentración ideal de cualquier fluído dado, ha sido usualmente desarrollada por su fabricante y debe ser seguida de este modo.

El uso de una concentración muy alta puede causar espumado o no dar ningún beneficio adicional, mientras que agrega costos.

Ha sido aceptado que las ruedas de rectificado CBN suministran un

# Tipos de fluidos vs vida de la rueda

Material: D-2  
Veloc. de la rueda: 5500 pies/min (nev)  
Veloc. de la mesa: 50 pies/min  
Avance vertical: 0.003 pulg  
Avance transversal: 0.050 pulg  
Rueda: 6X1/4" unión de resina  
100 conc 140/170  
Borazón CBN=11

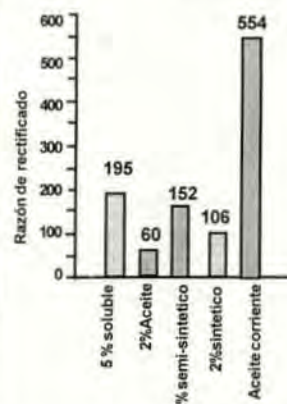


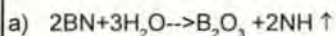
Fig. 10

rendimiento sobresaliente cuando son utilizadas con fluidos de tipo lubricante con ausencia de agua. Estos fluidos no solamente proveen menos generación de calor por fricción sino que también reducen o eliminan la descomposición química asociada con el CBN y con el vapor de alta temperatura. La formación de un óxido ( $B_2O_3$ ) en la superficie de una partícula CBN crea una capa protectora que impide una futura oxidación (Figura 11 a,b).

Sin embargo, esta capa de óxido es soluble en agua a altas temperaturas (Figura 11 c) y puede permitir una oxidación posterior de la partícula CBN.

Estas reacciones, aunque son muy lentas, pueden causar fallas aceleradas en las partículas abrasivas CBN, y de este modo acortar la vida de la rueda. El uso de fluidos para rectificado de aceite corriente minimiza este efecto.

## Reacciones químicas del nitrato de boro en fluidos a base de agua



o

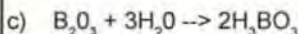
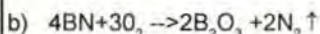


Fig. 11

## Aplicaciones de alta presión

Como se ha venido discutiendo, el tipo de fluido tiene un efecto primordial en el rendimiento de un proceso de rectificado CBN. Sin embargo, el método por el cual éste es aplicado puede también tener un efecto dramático. Los sistemas típicos de aplicación de fluidos pueden producir rangos de

Un programa para determinar los efectos de la aplicación de un fluido a alta presión fue recientemente desarrollado.<sup>(5)</sup> El montaje del ensayo (Figura 12) fue diseñado para rectificar una pieza de trabajo angosta, con una rueda ancha electrodepositada con CBN de forma inclinada con avances de deslizamiento - una condición muy severa. El sistema de fluido a alta presión se compone del estándar incrementado por un segundo sistema, un suministro filtrado que es bombeado bajo presiones de 300-1000 psi hacia unas boquillas localizadas cerca de la rueda de rectificado.

Los resultados de este programa indican que cuando el sistema de aplicación estándar (Figura 13a) fue aumentado con una limpieza de alta presión (Figura 13b), con una

## Montaje para el ensayo de fluidos a alta presión

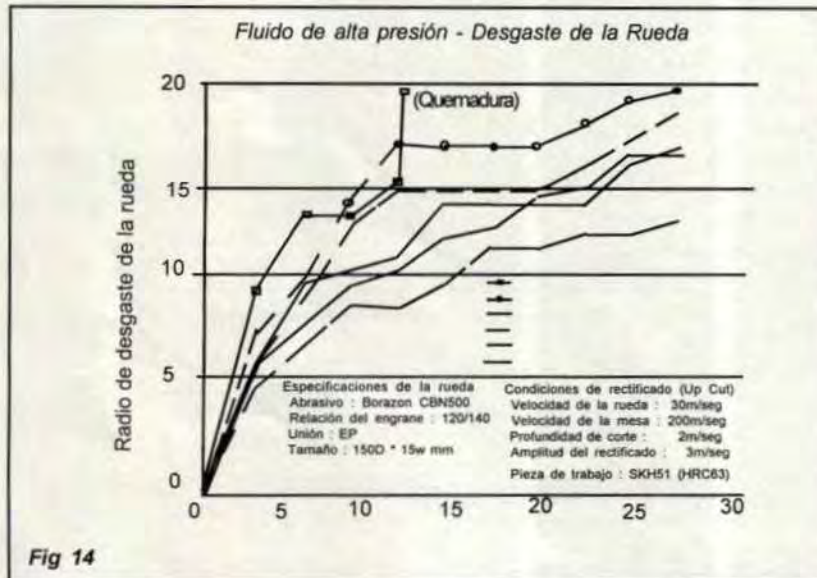
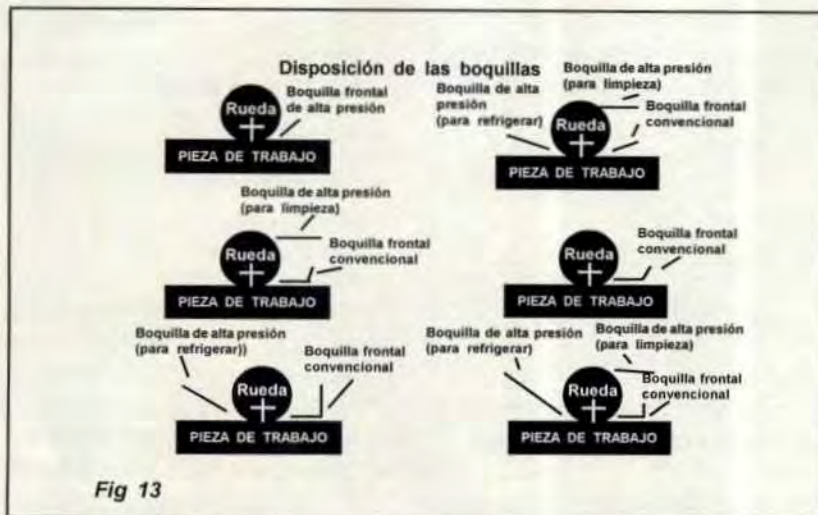


Fig. 12

flujo a relativa menor presión. Para operaciones de grandes y altas remociones de existencias, las aplicaciones de volúmenes de fluido y presión pueden ser significativamente mayores. En la mayoría de los casos, esto es adecuado y producirá excelentes resultados.

Luego, ¿qué efecto podría esperarse si el fluido es aplicado a la zona de rectificado bajo presiones más altas?

refrigeración de alta presión (Figura 13c), o una combinación de estas (Figura 13d) mejoran el rendimiento del rectificado. Se notaron mejoramientos posteriores cuando la boquilla estándar de baja presión fue reemplazada con una de alta presión (Figura 13e,f). No sólo decreció el desgaste de la rueda, sino también la energía de rectificado y se mejoró el acabado de la superficie (Figuras 14, 15, 16). Sólo con el sistema convencional de aplicación del fluido, se desarrolló



una quemadura en la pieza de trabajo y la evaluación fué terminada. En todos los casos en que se utilizó un fluido a alta presión, no se notó ninguna quemadura en la pieza de trabajo. También se puede notar una correlación entre el desgaste de la rueda, los requerimientos de energía, los acabados de la superficie de la pieza de trabajo y el número de boquillas de alta presión utilizadas.

#### **Tensión residual producida con fluidos a base de agua**

Un trabajo hecho por R. Mukai y T. Imai de Toyoda Koki<sup>(14)</sup> demuestra los efectos del tipo de fluido para rectificado y la importancia de los aditivos de presión extrema (EP) cuando son añadidos a fluidos para rectificado estándar. El programa fue dividido en dos segmentos separados. El primer segmento evaluaba los efectos del tipo de fluido (sintético, semi - sintético, y aceite soluble con aditivos EP) para la vida y requerimientos de energía en una rueda CBN de unión vítrea. La pieza de trabajo también fué

evaluada para determinar el acabado superficial y la integridad de la superficie fundamental. Los parámetros evaluativos para ambos segmentos de ensayo son mostrados en la Figura 17.

Los resultados de estas evaluaciones (Figura 18) indican que el fluido de aceite soluble dió el mejor rendimiento con aproximadamente el doble de la vida de la rueda, fuerzas tangenciales más bajas y un significativo mejor acabado superficial. La tensión residual de las superficies fundamentales, medida por difracción de rayos-X, es presentada gráficamente en la Figura 19. Aunque todos los fluidos permitieron la formación de tensiones de compresión benéficas en la superficie, ambos fluidos, los sintéticos y los semi-sintéticos, produjeron esfuerzos de tensión justo debajo de la superficie con una profundidad de por lo menos 50 micrómetros.

La tensión residual es un factor clave en la vida a la fatiga de materiales de alta resistencia. Se ha probado en un número de estudios que, en la mayoría de los casos, las tensiones residuales pueden disminuir la vida a la fatiga de las partes fundamentales. (4, 7, 8, 11) Estos estudios también indicaron que el esfuerzo de tensión es fundamentalmente el resultado de exceso de calor absorbido por la parte durante el proceso de rectificado. Si se utiliza el CBN, junto con el tipo correcto y la aplicación apropiada de fluido de rectificado, esta generación de calor puede ser minimizada, dando como resultado la reducción o eliminación de los esfuerzos de tensión.

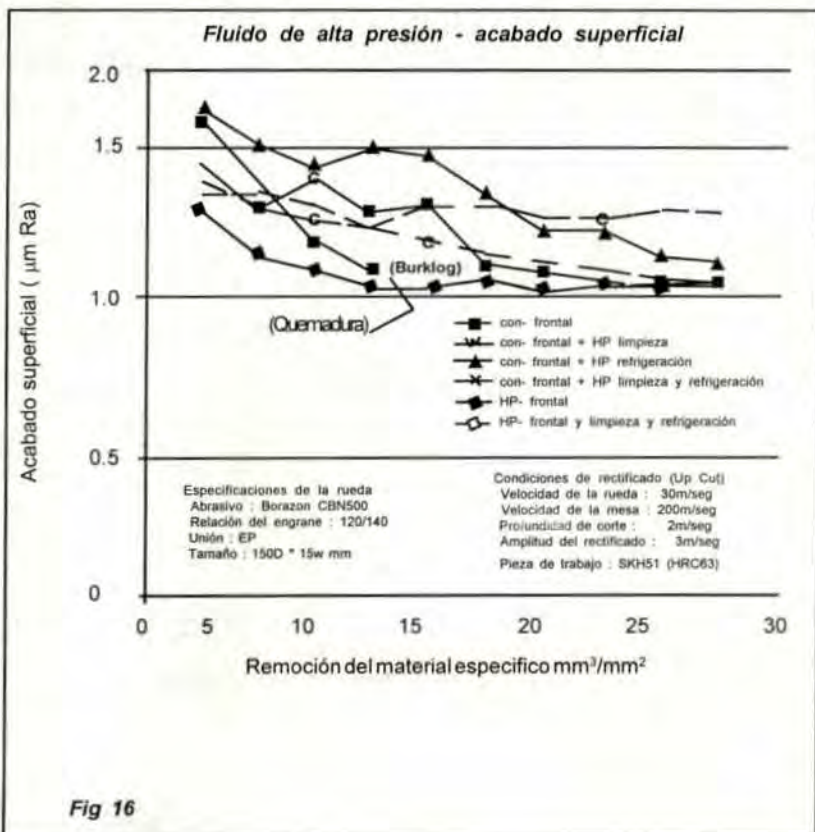
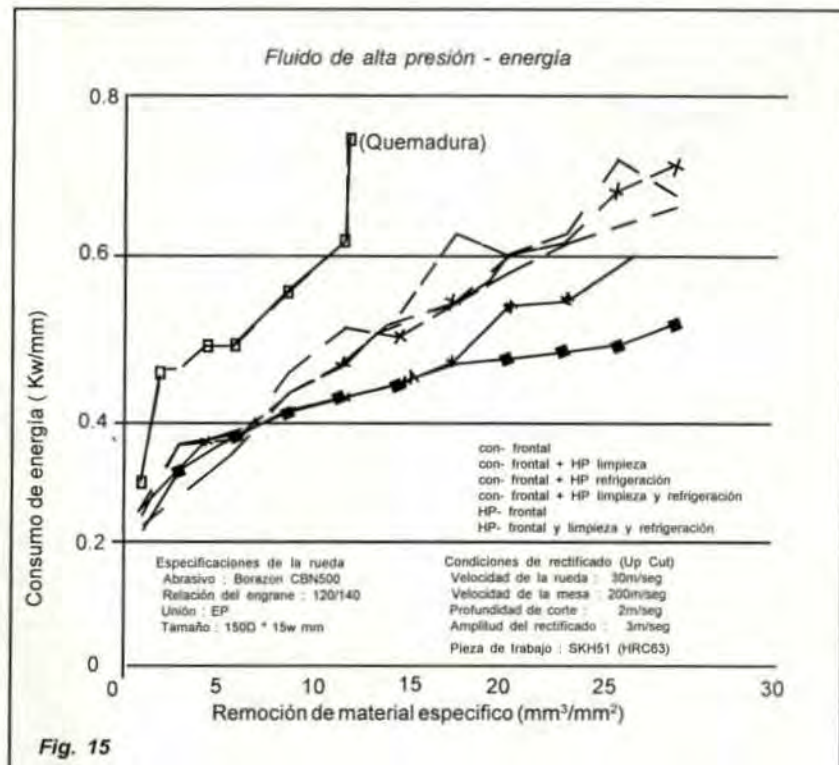
En el segundo segmento del trabajo hecho por Mukai e Imai, los efectos de la adición de aditivos de presión extrema EP al fluido para rectificado fueron evaluados. Se utilizaron tres fluidos de aceite soluble para esta prueba. Uno no contenía aditivos EP, mientras que el segundo contenía azufre y el tercero azufre y cloro.

Los resultados de estas evaluaciones indican que la adición de aditivos EP tiene un impacto importante no sólo en la vida de la rueda CBN, sino también en la calidad de la superficie fundamental (figura 20). La adición de azufre incrementa la razón de rectificado de la rueda con unión vítrea en un 20%, mientras que la adición de ambos azufre y cloro la incrementan en un 96%. También se mejoró dramáticamente el acabado superficial de 2.9,  $\mu\text{m Rz}$  a 2.0,  $\mu\text{m Rz}$ .

Los efectos de estos aditivos EP en las tensiones residuales de la superficie fundamental son mostrados en la Figura 21. El fluido que contenía azufre y cloro produjo tensiones de compresión en la superficie, así como en la sub-superficie hasta una profundidad de 40 micrómetros. El fluido que contenía sólo azufre produjo tensiones de compresión en la superficie y esfuerzos de tensión bajo esta, con una profundidad de 40 micrómetros. Sin aditivos EP en el fluido de rectificado, el esfuerzo de tensión fué más severo.

### Conclusiones

Las ruedas de rectificado CBN pueden proveer ventajas de rendimiento significativas cuando son comparadas con las ruedas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en el rectificado de aceros endurecidos y su efectividad puede mejorar



significativamente con la correcta selección de los fluidos para rectificado. No sólo se puede mejorar la vida de la rueda y la efectividad de los costos de estas herramientas sino también la calidad de la parte trabajada. Mientras que crezcan las demandas de calidad en las piezas, con respecto al acabado superficial y a la vida de fatiga, se hará más énfasis en los efectos de los parámetros del proceso. Los fluidos para rectificado siempre tendrán un importante papel en estos desarrollos.

Aunque el tipo de fluido de rectificado será un importante factor en la optimización de la rueda de rectificado, el método de aplicación del fluido debe ser considerado también importante. Un posicionamiento correcto, así como el uso de un sistema de aplicación de alta presión para enfriar y limpiar la rueda y la zona de rectificado, mejoran significativamente el proceso de rectificado.

### CONDICIONES DE ENSAYO

|                                          |                                                                         |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Modelo de rectificado                    | Inmersión cilíndrica                                                    |
| Material                                 | AISI 4135 HR <sub>2</sub> 50                                            |
| Rueda                                    | 14x3 plg - Unión vitrificada,<br>170 conc. 80/100<br>Borazón CBN tipo I |
| Velocidad de la rueda                    | 16,000 Pie/min (per)                                                    |
| Velocidad de la pieza de trabajo         | 60 pie.min                                                              |
| Proporción de remoción del material (Z') | 15 mm <sup>3</sup> / mm seg                                             |
| Volúmen del fluido                       | 15.5 gal/min                                                            |

Fig. 17

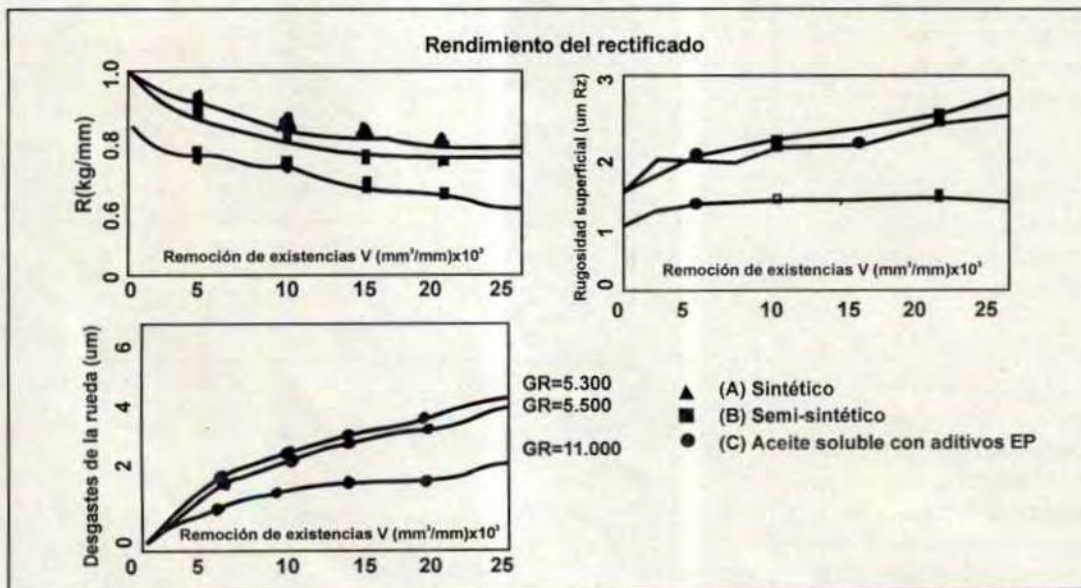


Fig. 18

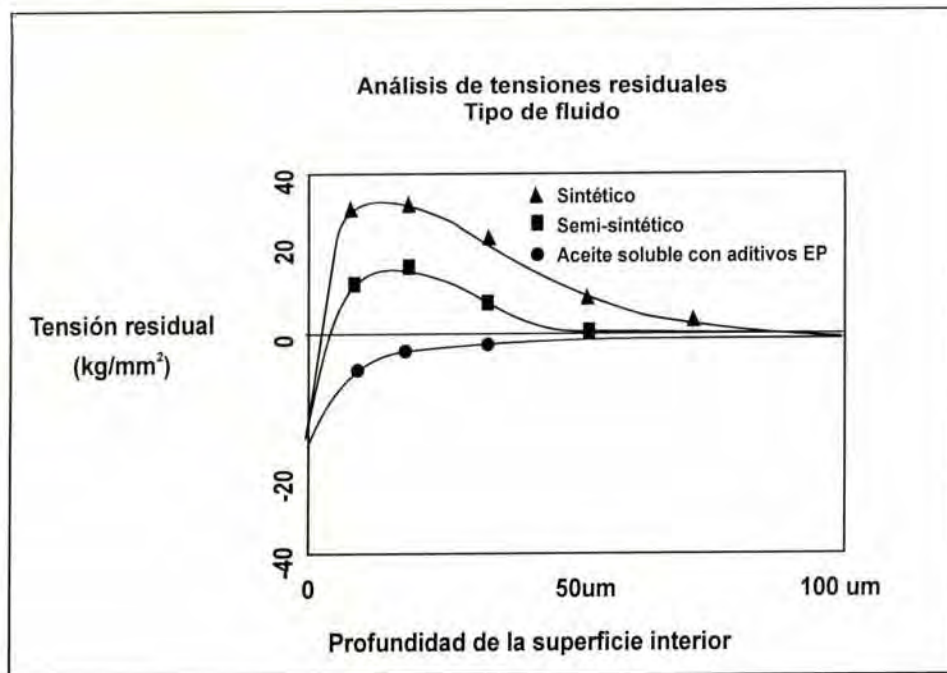


Fig. 19

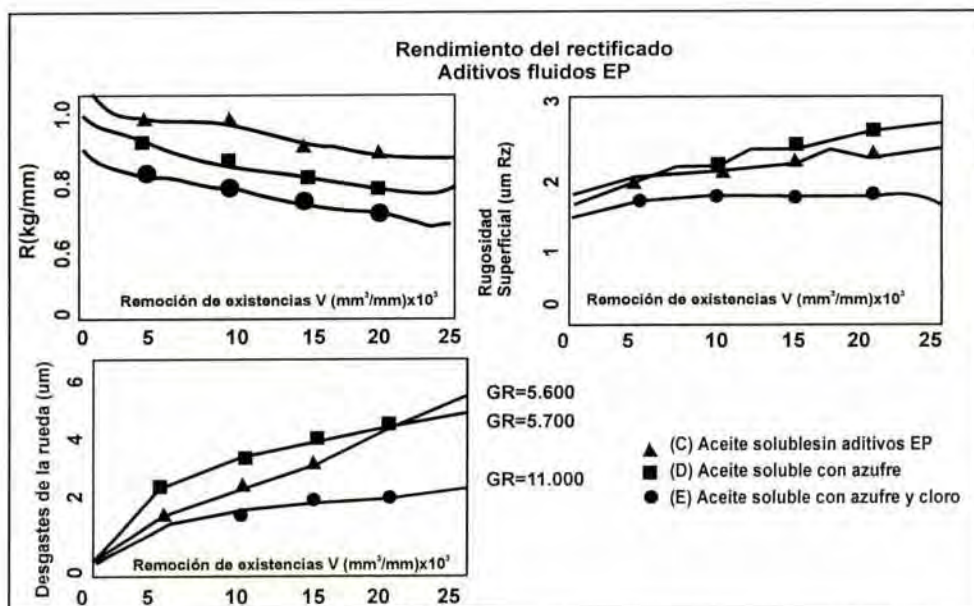


Fig. 20

## Bibliografía

- (1) Carius, Alan C. Preliminaries to Success - Preparation of Grinding Wheels Containing CBN. Paper number MR84-547, Society of Manufacturing Engineers, International Grinding Conference, Lake Geneva, Wisconsin, 1984.
- (2) "CBN at 30,000 sfm" American Machinist, June 1989.
- (3) "Coolant Types and Their Applications significantly Influence Performance of Borazon\* CBN wheels". GE Superabrasives Technical Report No. 1, May, 1986.
- (4) Drago, Raymond J. Comparative Load Capacity Evaluation of CBN-finished Gears, AGMA Technical Paper, 88FTM8, October 1988.
- (5) "High Pressure Coolant Study - Phase II (Effect of High Pressure Coolant in Creep Feed Grinding)." Ge Superabrasives EB No. P-88049, 1988.
- (6) JIMTOF 1986, Worthington, Ohio: GE superabrasives, 1986. Videotape No. B-219.
- (7) Johnson, Glenn A., and Ratterman, Ernest, "Enhanced product performance Through CBN Grinding". Gear Technology, Vol. 5 No. 5, September / October 1988.
- (8) Jhonson, Glenn A.. Beneficial compressive Residual Stress Resulting From CBN Grinding. Society Of Manufacturing Engineers. Second International Grinding conference Philadelphia, PA., 1986.
- (9) Konig, W., Yegenoglu, Kemal Stuckenholtz, Bernd. "Lower Grinding Costs and Better Workpiece Quality by High Performance Grinding with CBN Wheels." Gear Technology, January/February 1986
- (10) Krar, S.F. and Ratterman, E. Superabrasives: Grinding and Machining with CBN and Diamond. McGraw-Hill, New York, 1989.
- (11) Kumar, K.V., Mattarese, R.R., Ratterman, E. Control of Residual Stress in Production Grinding with CBN. SAE Earthmoving Conference, Peoria, Illinois, 1989.
- (12) Meyer, Dr. Hans-Robert and Sauren, Josef. Truing and Dressing of CBN Wheels for Production Grinding. Proceedings of superabrasives of Superabrasives '85, Chicago, Illinois, 1985.
- (13) Modern Machine Tools Designed for Borazon\* CBN. Worthington, Ohio: GE Superabrasives, 1985. Videotape No. 209.
- (14) Mukai, Ryohei and Imai, Tomoyasu. "The Effect of Coolant onto CBN Wheel Grinding performance." Toyoda Koki Technical Review, Vol. 29, No. 3, January, 1989.
- (15) Nailor, Brian. Truing Parameters for Conditioning Vitrified Bond CBN Wheels. 27<sup>th</sup> International Conference, Abrasive Engineering Society, Bloomington, Illinois, 1989.
- (16) Pilbin, Larry. Truing and Dressing Devices for Precision Grinding, Paper number MR88-625, Society of Manufacturing Engineers Thirrol, International Grinding Conference, Fontana, Wisconsin, 1988.
- (17) Satow, Yoshikazu. Use of High Pressure coolant Supply in Precision of CBN Grinding. Society of Manufacturing Engineers, International Grinding Conference, Philadelphia, Pennsylvania, 1986.
- (18) The European Machine Exposition. Worthington, Ohio: GE superabrasives, 1988. Videotape No. B-226.
- (19) Werner, G. Advances in High Efficiency Deep Grinding (HEDG). Paper number MR88-588. Society of Manufacturing engineers. Third International Grinding Conference, Fontana, Wisconsin, 1988.
- (20) Woodside, James. "High Speed Grinding Proved in Production." Tooling and Production. May, 1988.

*Traducción realizada para publicar en esta edición del Informador Técnico por: Alexandra Kolb Kloetzner. Analista de Información Técnica del Servicio de Información y Documentación Tecnológica SIDA ASTIN, SENA Regional Valle.*

## Agradecimientos

A la firma General electric de U.S.A., por la colaboración al Centro ASTIN, al permitirnos reproducir este documento, como contribución a la actualización tecnológica de la industria colombiana.

Los lectores interesados en obtener más información sobre este tema pueden dirigirse a la siguiente dirección:

General Electric Company  
6325 Huntley Road, P.O. Box 568  
Worthington, Oh 43085 U.S.A.  
Tel: (614)438-2851  
Fax: (614)438-2829  
E-mail: terry.kane@gep.ge.com

