



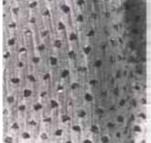
**Julio/2012**

# RODILLO DE DIAMANTE PERFILADOR PARA RECTIFICADO EN PLUNGÉ.

Son rodillos con el mismo perfil que la pieza a mecanizar. Son especialmente adecuados para perfiles complejos y rectifican muelas abrasivas en plungé.

Si las tolerancias son muy precisas, lo normal es usar rodillos por electrolisis negativa (G-) y si las tolerancias no son tan precisas, se emplean rodillos infiltrados (S-) o de electrolisis positiva (G+).

## Distribución del grano en función del tipo de rodillo

	Tipo	Fabricación	Liga	Distribución	Concentración
	G-	Proceso Negativo	Galvánica	Aleatoria	Máxima
	S-	Proceso Negativo	Infiltrado	Aleatoria/Situada	Máxima/Controlada
	G+	Proceso Positivo	Galvánica	Aleatoria	Máxima

### Rodillo G-

El grano de diamante se distribuye aleatoriamente en la superficie del rodillo. La concentración de diamante es mayor que en los rodillos donde el diamante se posiciona a mano. Con este sistema es posible conseguir radios cóncavos  $\geq 0,3\text{mm}$  y convexos  $\geq 0,8\text{mm}$ . Con este sistema, se pueden conseguir unas tolerancias de perfil de mínimo  $\geq 0,8\ \mu\text{m}$ .

### Rodillo S-

En este sistema los granos de diamante se pueden posicionar a mano siguiendo un patrón. Dependiendo del perfil del rodillo se empleará un grano de diamante u otro, por lo que no todas los perfiles se pueden hacer con este sistema. La concentración de diamante se puede controlar con el posicionamiento de los diamantes. Las tolerancias finales se consiguen rectificando la superficie de diamante, pudiendo conseguir radios cóncavos o convexos mínimos de  $0,3\text{mm}$ . Dependiendo del estado del rodillo una vez usado, puede ser rectificado. Las tolerancias finales del perfil pueden ser  $\geq 2\ \mu\text{m}$ .

### Rodillo G+

En este sistema los granos de diamante son distribuidos aleatoriamente. Es posible conseguir radios cóncavos y convexos  $\geq 0,5\text{mm}$ . Este sistema se usa para series cortas con bajas

exigencias de geometría y rugosidad, y la vida de la herramienta es corta. La tolerancia del perfil se puede mejorar rectificando la superficie de diamante.

### Factores que pueden afectar a la vida del rodillo

- Rigidez de la máquina y del dispositivo de rectificado
- El descentramiento del rodillo y la fijación al soporte
- Adecuada refrigeración durante el rectificado
- Especificaciones de la muela a rectificar
- Parámetros de rectificado
- Distribución del diamante y tamaño de grano
- Tipo de rodillo
- Tolerancias dimensionales y de forma

### El efecto sobre la muela rectificada

El comportamiento de la muela depende de su estructura y del avivado del grano en la superficie de corte, así como de los parámetros de corte.

La altura del grano efectiva en la superficie de la muela es una de las cosas más importantes para la configuración de la muela. Cuanto mayor es esa altura, mayor será la capacidad de corte, así como aumentará la rugosidad en la pieza.

El ataque axial mostrado abajo, es el más aconsejable para conseguir un buen ángulo de rectificado. Se crea una altura efectiva mayor, y en consecuencia hay menor probabilidad de quemar la pieza.



Los ejes del rodillo y la muela son paralelos entre sí, pero en ángulo con el eje de la pieza. El ataque del rectificado es en ángulo recto al eje de la muela.

Los ejes del rodillo y la muela no son paralelos entre sí. El ataque del rectificado es en ángulo recto al eje de la muela. El perfil del rodillo es el mismo que la pieza.

El ratio  $Q_d$  entre la velocidad del rodillo/velocidad de muela, la profundidad de rectificado por giro de muela  $f_r$  y el número de vueltas en vacío sin carga de trabajo  $n_a$ , (el número de vueltas que da la muela sin más profundidad de pasada), son los parámetros de trabajo que más afectarán a la rugosidad de la muela, y en consecuencia, de la pieza.

## Montaje y desmontaje de los rodillos

- La tolerancia del eje del rodillo es H3
- La tolerancia requerida para el eje soporte del rodillo debe ser 0 a  $-0.002\text{mm}$ . El mayor error de excentricidad permitido en el soporte del rodillo es de  $0,002\text{mm}$
- Se requiere una limpieza absoluta del eje donde se monta el rodillo. No utilice lubricantes. Para ayudar al montaje del rodillo, se puede calentar el mismo por debajo de  $50^{\circ}\text{C}$  en un baño de agua. El eje también puede ser enfriado. El rodillo no debe ser presionado o forzado a la hora del montaje y por supuesto no golpear con ninguna herramienta para facilitar el montaje
- Los anillos separadores y casquillos usados para el montaje, tendrán una tolerancia  $<0,002\text{mm}$  plano paralelo
- Después del montaje, la excentricidad axial y radial se puede determinar por medición en las caras planas. Las desviaciones máximas permitidas son de  $0,002\text{mm}$  en ambos casos
- Para desmontar el rodillo, el conjunto rodillo/eje puede ser enfriado. Posteriormente, el rodillo puede ser calentado en agua por debajo de  $50^{\circ}\text{C}$
- Antes del primer rectificado, la boquilla de refrigeración debe ser controlada y ajustada si fuera necesario. Esta boquilla debe ser montada en la dirección en que gira la muela abrasiva. Sin una buena refrigeración, podemos disminuir considerablemente la vida del rodillo. Para perfiles muy profundos, sería importante el diseño de boquillas para adecuarlo a dichos perfiles
- El rodillo en parado no debe entrar en contacto con la muela abrasiva girando, ya que se dañaría el perfil del rodillo

## Solución de problemas

Efecto	Causas y acciones correctivas
La máquina incrementa el ruido durante el rectificado	Desequilibrio o descentramiento radial del rodillo o la muela, o excesiva presión de rectificado.
Constante ruido al rectificar	a) Corregir desequilibrio o excentricidad b) Cambiar la dirección de rotación de uni-direccional a contra-dirección c) Reducir el avance de rectificado
Ruido alto al inicio y gradualmente se va bajando	La disposición no es lo suficientemente rígida. Reducir las fuerzas de rectificado.
El perfil de la pieza no es el requerido	a) La muela es muy blanda y el perfil se pierde rápidamente b) La muela es muy dura y hay excesiva presión en el rectificado
La pieza muestra marcas rugosas	Vibraciones en la máquina pueden ser debidas a: a) Inadecuada disposición de los rodamientos en el eje de la muela o en el soporte del rodillo b) Inadecuada rigidez de la máquina o de la unidad de rectificado c) Insuficiente fuerza motriz en el eje de rectificado d) La excentricidad radial del rodillo es demasiado alta
Desviación en las anchuras de ranuras o nervios	a) Hay holgura axial en los rodamientos del eje de la muela o en el soporte del rodillo b) El rodillo tiene excentricidad axial
Marcas de quemado en la pieza	a) Insuficiente caudal de refrigeración b) Inadecuada estructura de muela o dureza c) Inadecuado conjunto: pieza-muela-rodillo d) Muchas vueltas sin pasada y avance de rectificado muy lento e) Inadecuado cálculo del ratio $q_d$
Elevada ondulación de la superficie de la pieza y rugosidad	a) Diamante ya gastado en el rodillo b) Refrigeración contaminada c) Insuficientes giros sin pasada cuando diamanta

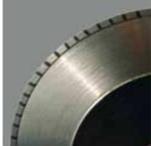
## MOLETA DE DIAMANTE PARA RECTIFICADO EN CNC.

Este tipo de moletas permite rectificadas de perfiles complejos así como rectificadas planos cilíndricos de diferentes anchuras. Además, se pueden modificar los parámetros de rectificado para conseguir diferentes resultados en el rectificado, y consecuentemente en la calidad de la pieza.

Las principales ventajas de este tipo de rectificados por seguimiento en máquinas CNC son:

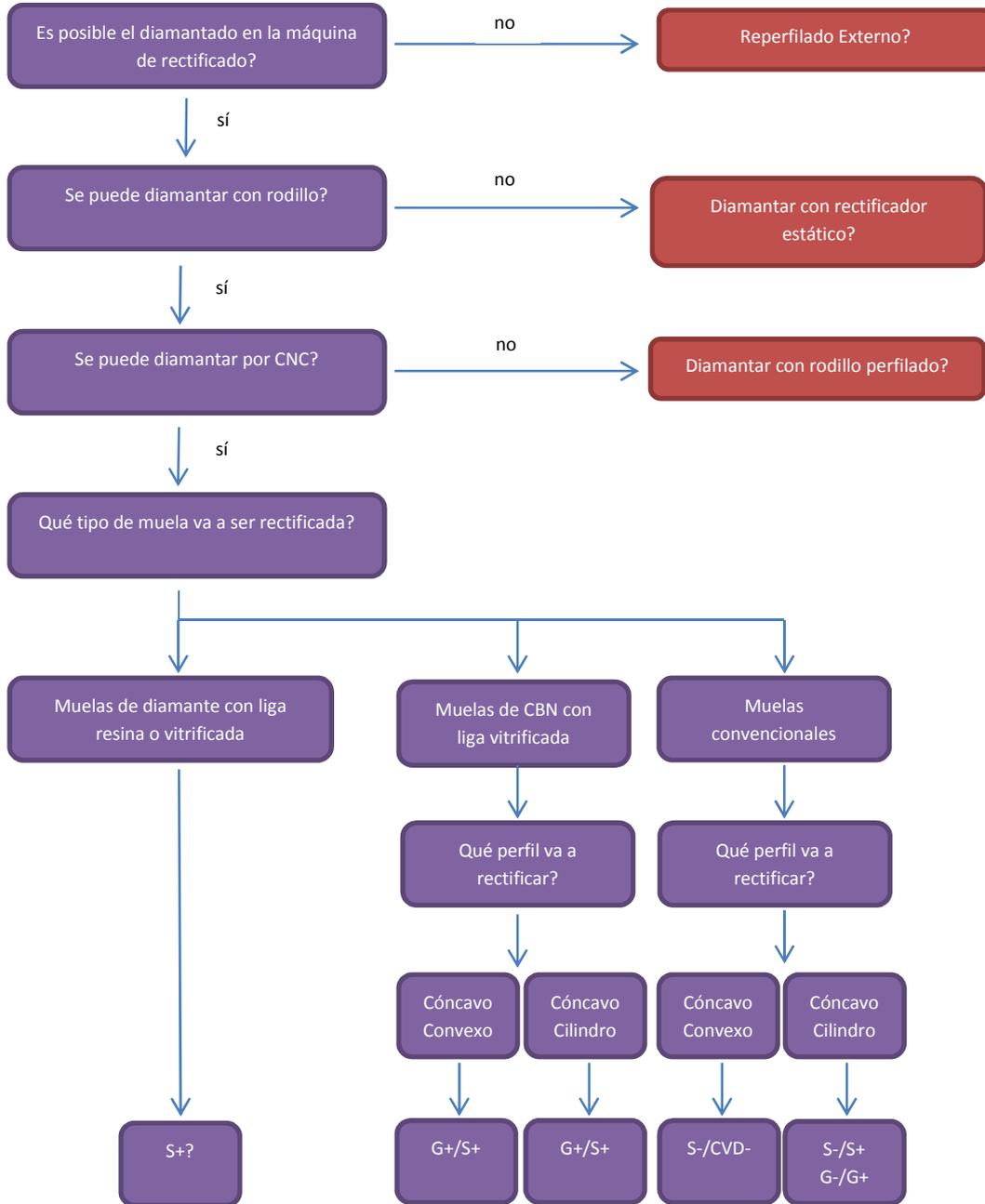
- Una herramienta más versátil
- El diseño de la moleta permite rectificar diferentes tipos de piezas
- Contacto efectivo del rectificado constante
- Automatización del proceso de rectificado
- Alta repetición de precisión en el rectificado, con bajos rechazos de piezas

### Distribución del grano en función del tipo de rodillo

	Tipo	Fabricación	Liga	Distribución	Concentración
	G+	Proceso Positivo	Galvánica	Aleatoria	Máxima
	S-	Proceso Negativo	Infiltrado	Aleatoria/Situada	Máxima/Controlada
	CVD-	Proceso Negativo	Infiltrado	Situada	Controlada
	S+	Proceso Positivo	Sinterizado	Aleatoria	Controlada
	G-	Proceso Negativo	Galvánica	Aleatoria	Máxima

## QUE MOLETA USAR?

El diagrama siguiente pretende ayudar en la elección del tipo de moleta. Depende principalmente de la geometría a rectificar y del acabado de la superficie a conseguir en la pieza final.



## Moletas G+

Las moletas electrodepositadas positivas G+, tienen una única capa de diamantes en la superficie y además tienen una anchura de rectificado efectiva constante.

### Aplicaciones:

- Para diamantar muelas de CBN vitrificadas
- Para diamantar muelas convencionales

### Ventajas:

- La distribución aleatoria de los granos permite una máxima concentración de diamante
- Excelente precisión de giro debido al acabado de la capa diamantada
- Espesor constante de la capa diamantada debido a la mono capa de diamantes
- Dependiendo del grano de diamante, se puede conseguir un mínimo radio  $R=0,10\text{mm}$
- Gran variedad de versiones se pueden suministrar para cualquier aplicación o máquina

## Moletas S-

Las moletas infiltradas negativas S-, se caracterizan por una elevada resistencia al desgaste y consiste en un recubrimiento de una sola capa. Se pueden reforzar los cantos y aristas para una mayor resistencia.

### Aplicaciones:

- Para diamantar muelas convencionales

### Ventajas:

- Se pueden fabricar con distribución aleatoria o de piedras situadas
- Altísima precisión ya que la superficie es rectificada
- Se pueden elegir las piedras para reforzar radios pequeños
- En  $R<0,4\text{mm}$  se usarán agujas de diamante
- Se pueden conseguir  $R<0,1\text{mm}$  para un ángulo interno de  $30^\circ$

## Moletas CVD-

Las moletas infiltradas negativas con diamante sintético CVD-, son especiales para diamantar radios muy pequeños. Su diseño permite rectificar el rodillo un número determinado de veces.

### Aplicaciones:

- Se emplea PCD para diamantar muelas de corindón especial fundido
- Se emplea CVD o MCD para diamantar muelas de corindón sinterizado

### Ventajas:

- Concentración de diamante controlada
- Altísima precisión ya que la superficie es rectificada
- Puede ser reperfilado varias veces
- Radios mínimos en un ángulo interno de:
  - $R = 0.05 \text{ mm}$  para un ángulo mínimo de  $35^\circ$
  - $R = 0.10 \text{ mm}$  para un ángulo mínimo de  $25^\circ$

## **Moletas S+**

Las moletas sinterizadas positivas S+, consisten en un recubrimiento multi-capa que puede ser rectificado varias veces. Estas moletas son recomendadas para aplicaciones cilíndricas en máquinas sin centros con unos requerimientos de acabado de superficie muy buenos.

### *Aplicaciones:*

- Para diamantar muelas de CBN vitrificadas
- Para diamantar muelas convencionales

### *Ventajas:*

- Distribución de diamante aleatoria
- Concentración de diamante controlada
- Alta precisión ya que la superficie es rectificada
- Gran variedad de versiones se pueden suministrar para cualquier aplicación o máquina
- Anchura de rectificado efectiva constante, dependiendo del diseño
- Puede ser reperfilado varias veces
- Recubrimiento multi-capa

## **Moletas G-**

Las moletas electrolíticas negativas G-, consisten en un recubrimiento mono-capa con alta resistencia al desgaste. Se pueden reforzar los cantos y aristas para una mayor resistencia.

### *Aplicaciones:*

- Para diamantar muelas convencionales

### *Ventajas:*

- Concentración de diamante altísima
- Distribución aleatoria de los diamantes
- Proceso de fabricación de alta precisión que permite conseguir elevadas tolerancias en la capa de diamante
- En rodillos perfiladores en plungé, se pueden fabricar con radios cóncavos mínimos de 0,03mm y radios convexos mínimos de 0,1mm.

## PARAMETROS DE DIAMANTADO.

La correcta elección de los parámetros de rectificado es esencial para optimizar el proceso de rectificado. El diamantado es un proceso de alta influencia en la superficie activa rugosa y geometría de la muela rectificada.

### Acondicionamiento

DIAMANTADO		LIMPIEZA
Perfilado	Acabado	
<b>Macroestructura</b>	<b>Microestructura</b>	<b>Microestructura</b>
Excentricidad y perfil de la muela	Generar la forma de la muela	Eliminación de lascas
Efecto del grano y de la liga	Acondicionamiento de la liga	Sin intención de modificar la muela

Los parámetros de trabajo tienen una gran influencia en el comportamiento de la muela. El uso de moletas para diamantado en CNC permite rápidos cambios en la rugosidad de la superficie activa de la muela, así como de su geometría.

Para los resultados de rectificado tiene influencia la pasada de diamantado,  $a_{ed}$ , el avance del diamantado,  $f_{ad}$ , y el grano de diamante, son los 3 factores que más afectan al resultado del rectificado. La superficie efectiva de contacto,  $b_d$ , y el solapamiento asociado,  $U_d$ , afecta a la rugosidad activa,  $R_{ts}$ , de la superficie de la muela.

En el caso del diamantado por CNC, los resultados también se ven afectados por el ratio de velocidad,  $q_d$ , y la dirección de rotación, si es uni-direccional (GL) o contra-direccional (GGL). Es muy importante usar un refrigerante adecuado para el diamantado.

En el caso de diamantado en plungé con rodillos perfiladores, el efecto es conseguido a través del ratio de velocidad y la dirección de rotación, como se indicaba anteriormente. En estos casos, no hay movimientos laterales.

### Características del proceso de acondicionamiento

Componentes del Sistema	Variables de Proceso	Objetivos
Muela	Fuerzas del diamantado	Perfil de la muela abrasiva
Diamantador	Emisión de señales ruidosas	Excentricidad de la muela
Condiciones del refrigerante	Fuerza de los ejes de muela y diamantador	Rugosidad de la superficie de la muela
Parámetros de diamantación: a) Ratio de solapamiento (CNC) b) Ratio de velocidad c) Rotación de la muela d) Pasada y Avance		Ratio de desgaste en el diamantado y la calidad de la muela

**Pasadas y Avance cuando se usan diamantadores estáticos o moletas por seguimiento CNC.**

Con la carga radial (pasada),  $a_{ed}$ , el diamantador se aproxima a la muela con cada pasada. La pasada o carga total,  $a_{ed\ tot}$ , se puede dividir en pasadas de desbaste y pasadas de afinado.

Para muelas de corindón:

$a_{ed\ tot}$ , para muelas de corindón fundido	20 $\mu\text{m}$ – 40 $\mu\text{m}$ , dependiendo del grano de la muela
$a_{ed\ tot}$ , para muelas de corindón sinterizado	10 $\mu\text{m}$ – 20 $\mu\text{m}$ , dependiendo del grano de la muela

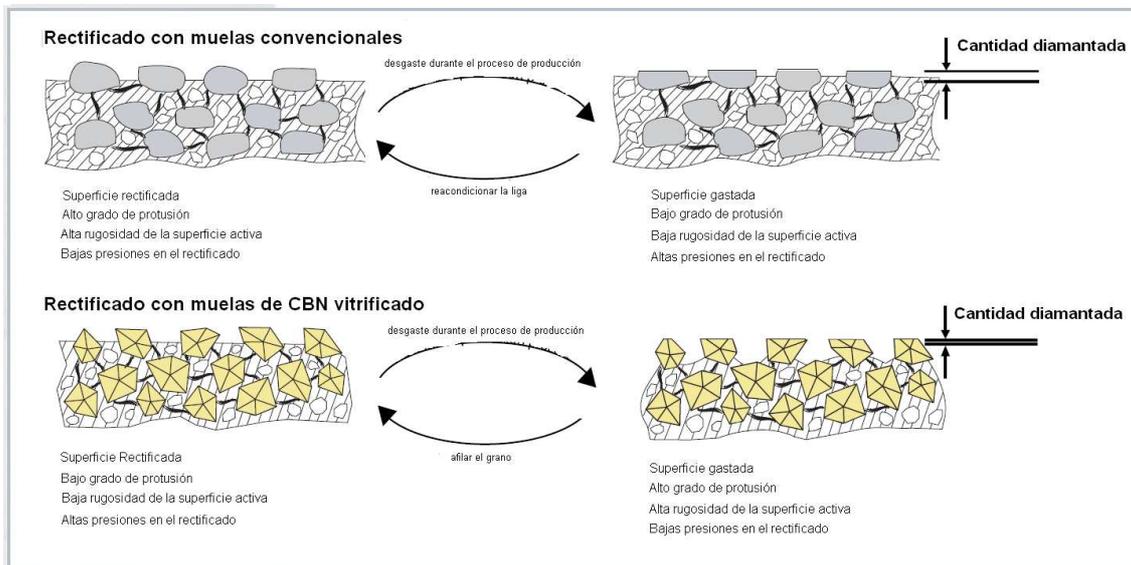
Para muelas de CBN:

$a_{ed}$ , carga por pasada	1 $\mu\text{m}$ – 3 $\mu\text{m}$
$a_{ed\ tot}$ , carga o pasada total	No más del 10% del tamaño de grano medio de la muela

Detalles generales:

1. Evitar rectificadores sin pasada  $a_{ed}$ .
2. Para mejorar el coste efectivo del diamantado, es recomendable tener contactos avisadores.
3. Tener una buena refrigeración (volumen, dirección y filtración).

Es muy diferente el diamantado de muelas convencionales o muelas de CBN vitrificado.



**Ratio de solapamiento,  $U_d$ , para diamantadores estáticos o moletas por seguimiento CNC.**

Más allá de la geometría y las tolerancias dimensionales de una muela, la rugosidad de la superficie activa,  $R_{ts}$ , juega una importante labor. Define por si mismo el acabado final en la pieza.

Tanto los diamantadores estáticos como las moletas de seguimiento por CNC avanzan sobre el perfil de la muela diamantada con un avance axial,  $f_{ad}$ . Una de las ventajas del diamantado por CNC es que podemos modificar diferentes avances en diferentes partes del perfil. Las superficies planas pueden ser diamantadas con un solapamiento más pequeño,  $U_d$ , con el fin de evitar quemazones.

El ratio de solapamiento,  $U_d$ , se define como el número de vueltas que da la muela, hasta que la superficie de contacto real del diamantador sobre la muela,  $a_{pd}$ , se desplaza una vez en la dirección de avance.

$$U_d = a_{pd} / f_{ad}$$

$$\approx d_k / [v_{fad} / n_{sd}]$$

$$\approx d_k / [v_{fad} \cdot d_s \cdot \pi / (v_{cd} \times 60,000)]$$

$U_d$  [ - ] : Ratio de solapamiento

$a_{pd}$  [mm] : Zona de contacto del diamantador

$d_k$  [mm] : Grano de diamante del diamantador estático

$d_s$  [mm] : Diámetro de la muela abrasiva

$f_{ad}$  [mm] : Avance en mm por cada revolución de la muela

$n_{sd}$  [rpm] : Revoluciones de la muela abrasiva

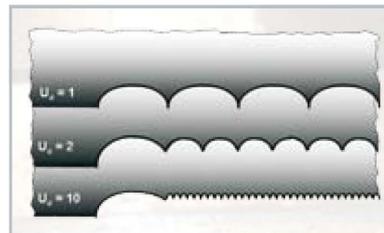
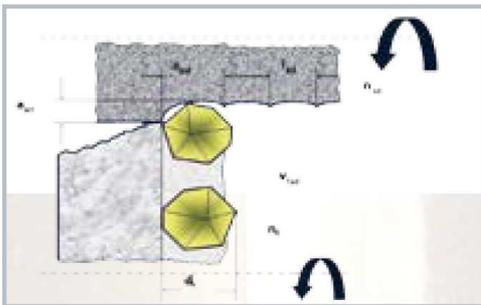
$v_{cd}$  [m/s] : Velocidad periférica de la muela abrasiva en el diamantado

$v_{fad}$  [mm/min] : Avance del diamantador durante el diamantado

$b_d$  [mm] : Anchura de contacto del diamantador en la muela

$a_{ed}$  [mm] : Profundidad de contacto del diamantador en la muela

$r_p$  [mm] : Radio del perfil del diamantador en contacto con la muela



$U_d$  Bajo – Alta rugosidad en la muela

$U_d$  Alto – Baja rugosidad en la muela

$$a_{pd} = \frac{1}{2} (b_d + f_{ad})$$

**Valores recomendados:**

$$b_d = \sqrt{8 r_p a_{ed}}$$

Ratio de Solapamiento  $U_d = a_{pd} / f_{ad}$

Para desbaste = 2 - 4

Para acabado = 4 - 8

Para súper acabado = 8 – 20

El grano del diamantador debería ser 2-3 veces mayor que el grano de la muela abrasiva.

**Carga de pasada,  $a_{ed}$ , cuando se diamanta con rodillos perfiladores.**

Con una pasada radial,  $a_{ed}$ , el diamantador se aproxima a la muela con cada pasada. La pasada depende del tamaño de grano, dureza y dimensiones de la muela, rigidez de la máquina y conjunto de diamantado, así como las especificaciones del diamantador.

Para muelas de corindón:

$a_{ed\ tot}$ , para muelas de corindón fundido	20 $\mu\text{m}$ – 40 $\mu\text{m}$ , dependiendo del grano de la muela
$a_{ed\ tot}$ , para muelas de corindón sinterizado	10 $\mu\text{m}$ – 20 $\mu\text{m}$ , dependiendo del grano de la muela

Para muelas de CBN:

$a_{ed\ tot}$ , carga o pasada total	No más del 10% del tamaño de grano medio de la muela
--------------------------------------	--

Diamantado Continuo (CD):

En el proceso de diamantado continuo, el diamantador está en contacto constante con la muela. La progresiva reducción del diámetro de la muela debe ser compensada por una máquina de control numérico CNC durante el proceso de rectificado. Debido al constante reperfilado y afilado, se obtiene un perfil y una rugosidad constante sobre la muela. Este proceso de diamantado es recomendable para procesos de rectificado de desbaste.

**Ratio de velocidad,  $q_d$ , cuando se diamanta con rodillos perfiladores.**

El ratio de velocidad,  $q_d$ , entre el diamantador y la muela tiene una gran importancia sobre el acabado de la superficie de la muela y con ello con el resultado final de la pieza.

**Valores recomendados:**

*Moletas diamantadoras por CNC:*

Uni-direccional: +0,5 ... +0,85

Contra-direccional: -0,5 ... -0,85

*Rodillos diamantadores perfiladores:*

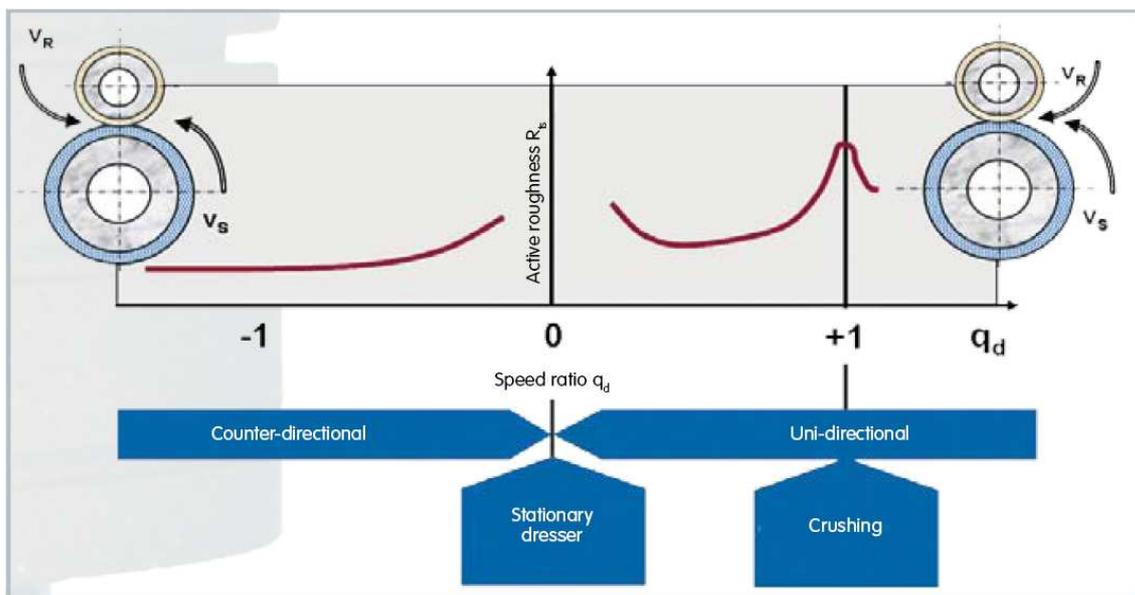
Uni-direccional: +0,3 ... +0,8

Contra-direccional: -0,3 ... -0,5

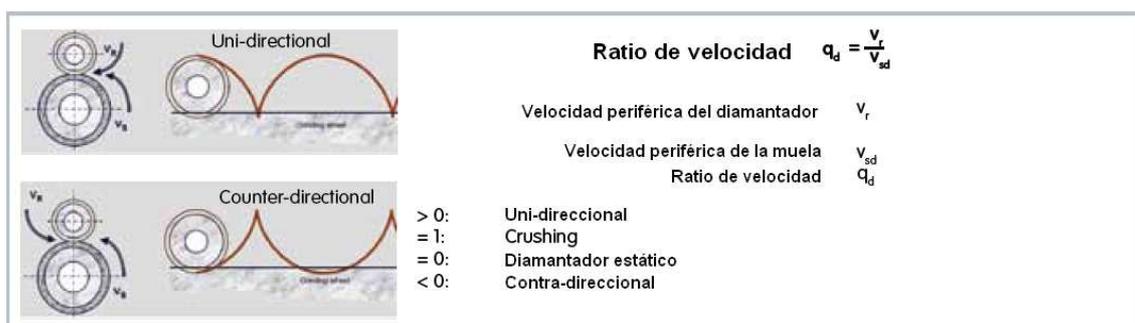
Las muelas de CBN vitrificado deberían ser diamantadas en uni-direccional, para conseguir una rugosidad de la superficie activa alta.

Uni-direccional: +0,6 ... +0,9

Atención: Un ratio de velocidad de +1 puede llevar a incrementar la presión durante el diamantado y puede dañar las herramientas.



Las diferentes presiones y fuerzas durante el diamantado se explican por los diferentes ciclos de rotación entre la muela abrasiva y el diamantador.



**Diamantado Uni-Direccional:**

Durante el diamantado uni-direccional, el diamante se mueve a lo largo de un camino más corto (epicicloidal), haciendo que penetre en la superficie de la muela con un ángulo más agudo y produciendo una rugosidad,  $R_{ts}$ , de la superficie activa de la muela mayor.

- Gran influencia en la topografía de la muela
- Mayores presiones en el diamantado
- Mayores esfuerzos en el diamantador

**Diamantado Contra-Direccional:**

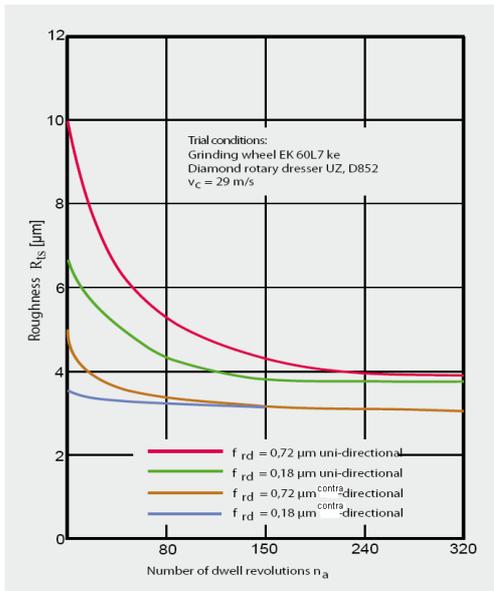
Durante el diamantado contra-direccional, el diamante se mueve a lo largo de un camino más largo (hipocicloidal), haciendo que penetre en la superficie de la muela con un ángulo más plano y produciendo una rugosidad,  $R_{ts}$ , de la superficie activa de la muela menor.

- Menor influencia en la topografía de la muela
- Menores presiones en el diamantado
- Menores esfuerzos en el diamantador

Otras causas que afectan a la rugosidad de la superficie activa y por consiguiente al acabado de la pieza final, durante el diamantado con rodillos perfiladores en plungé.

### Revoluciones en vacío diamantando (dwell).

La figura nos muestra el efecto del número de revoluciones dwell sobre la rugosidad. Significa que después de 80 revoluciones en vacío en contra-dirección o 160 revoluciones en vacío en uni-dirección, se consigue la mínima rugosidad de superficie activa en la muela. Por mucho que siga más tiempo en vacío, la rugosidad ya no se mejora.



$R_{ts}$  = Rugosidad de la superficie activa

$v_c$  = Velocidad periférica de la muela

$f_{rd}$  = Pasada de diamantado por cada giro de la muela abrasiva

### Tamaño de grano.

A parte de las condiciones de diamantado, también afecta para alcanzar la rugosidad deseada de la superficie activa de la muela, y en consecuencia, el acabado de la pieza final.

En el caso de los diamantadores infiltrados por piedras situadas, el acabado final requerido en la pieza se obtiene ajustando la concentración y el patrón de posicionamiento de los diamantes. La rugosidad y la ondulación en la pieza final se reducen diamantando con un determinado tiempo de vueltas en vacío.

En el caso de los diamantadores con distribución de diamantes aleatoria, es aconsejable aumentar la concentración de diamante para conseguir una rugosidad de la superficie activa de la muela mayor, siempre y cuando el perfil de la pieza final lo permita.

# Rugosidad

La rugosidad de la superficie de una pieza rectificada depende de varios parámetros:

- Tamaño de grano del abrasivo
- Concentración del grano abrasivo
- Especificación de la liga
- Tipo y dureza de la pieza a trabajar
- Proceso de rectificado
- Parámetros de rectificado
- Parámetros de diamantado

Una general y qualitative correlación entre el grano y la rugosidad se muestra a continuación:

