

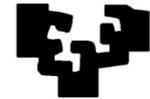
MÓDULO III: MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA

TEMA 13: Rectificado

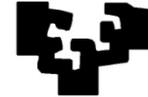
TECNOLOGÍA MECÁNICA

DPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea



- 1. Introducción a los procesos abrasivos**
- 2. Comparación del rectificado con otros procesos de corte**
- 3. Tipos de Operaciones y Máquina**
- 4. Muelas de Rectificado**
- 5. Desgaste de muelas**
- 6. Cuestionario tutorizado**
- 7. Oportunidades laborales: empresas y productos**

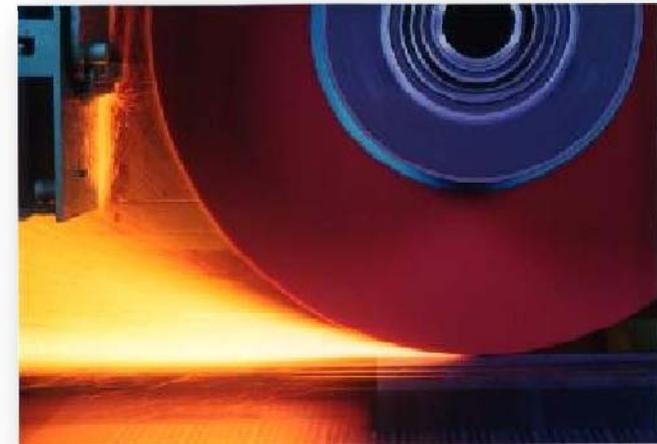


CARACTERÍSTICAS DE LOS PROCESOS ABRASIVOS:

Uso de partículas abrasivas para modificar forma y/o acabado superficial de las piezas

APLICACIONES:

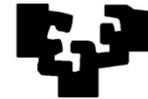
- Mecanizado de precisión (tol. en μm)
- Acabados superficiales muy finos ($Ra < 2\mu\text{m}$)
- Materiales de pieza muy duros (desde 40-50HRc), y/o difíciles de mecanizar (fundiciones con inclusiones, materiales aeronáuticos,...)



PROCESOS ABRASIVOS:

- **Rectificado:** El más común.
- Lapeado
- Pulido
- Bruñido
- Otros





EJEMPLOS DE APLICACIONES

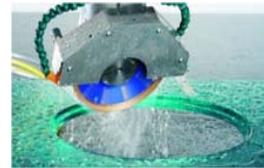
RECTIFICADO:



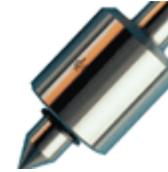
Htas. de corte



Transmisión



Biselados



Amarres

LAPEADO



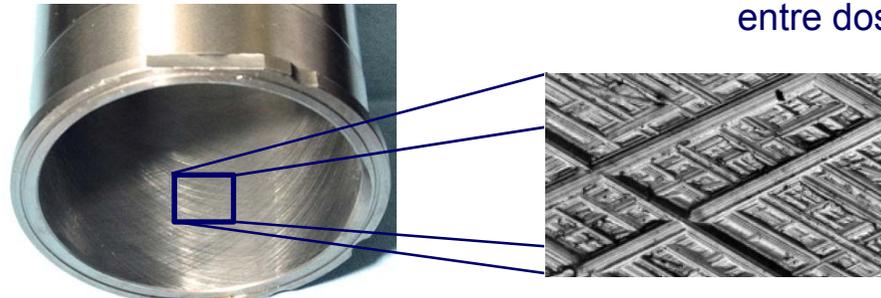
Lapeado de pares de engranajes

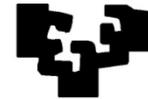


Lapeado de caras de bloques patrón

Medida muy precisa entre dos caras

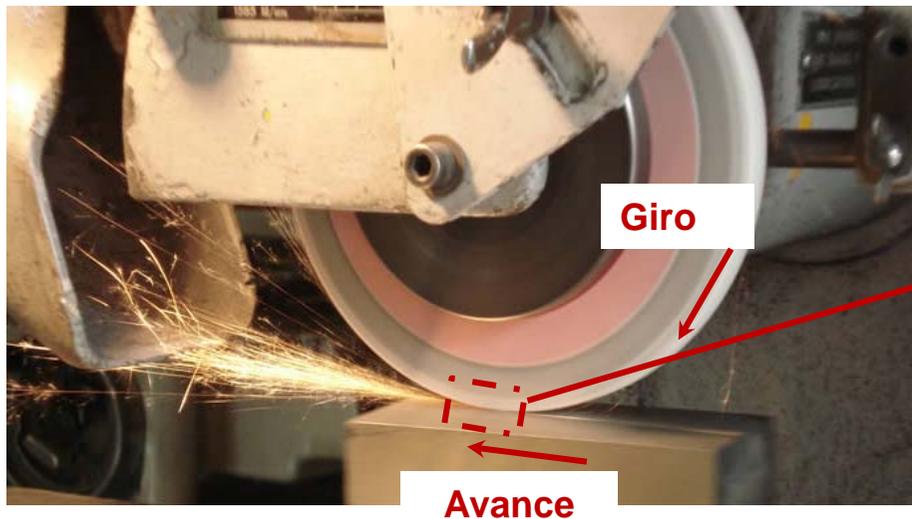
BRUÑIDO: generación de textura en cruceta



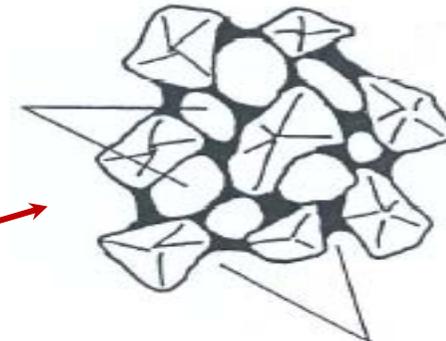


RECTIFICADO

El proceso de RECTIFICADO utiliza una herramienta abrasiva (MUELA) y se lleva a cabo en una máquina llamada RECTIFICADORA. Suele utilizarse en la etapa final de fabricación, tras el torneado o fresado, para mejorar la tolerancia dimensional y el acabado superficial del producto.

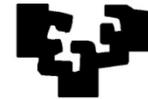


Huecos



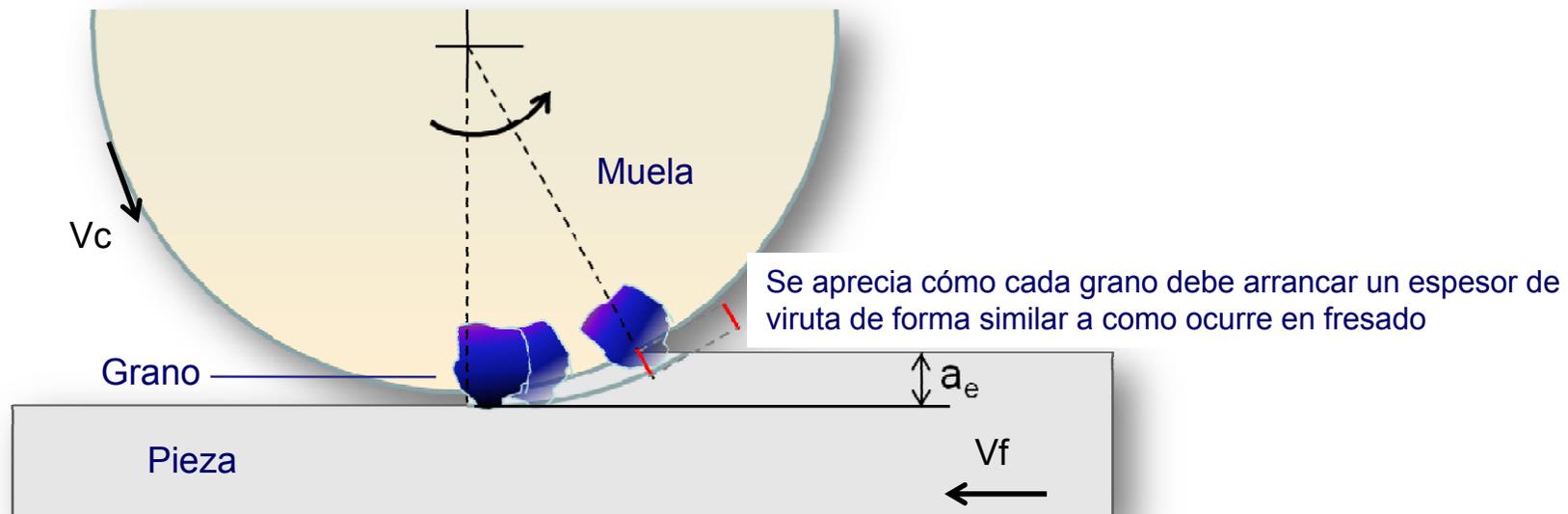
Granos
abrasivos

Aglomerante



RECTIFICADO

Cada grano abrasivo es encargado de arrancar una pequeña cantidad de material de pieza, de forma análoga a como lo haría un filo de corte en una fresa.



Dimensiones orientativas:

Diámetro de muela (mm)

Profundidad de pasada (μm)

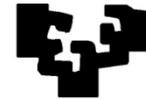
Tamaño de grano (μm)

V_c (m/s)

V_f (mm/min)



2. Comparación del rectificado con otros procesos de corte



DIFERENCIAS CON FRESADO Y TORNEADO

VELOCIDAD DE CORTE: mucho más alta en RECTIFICADO

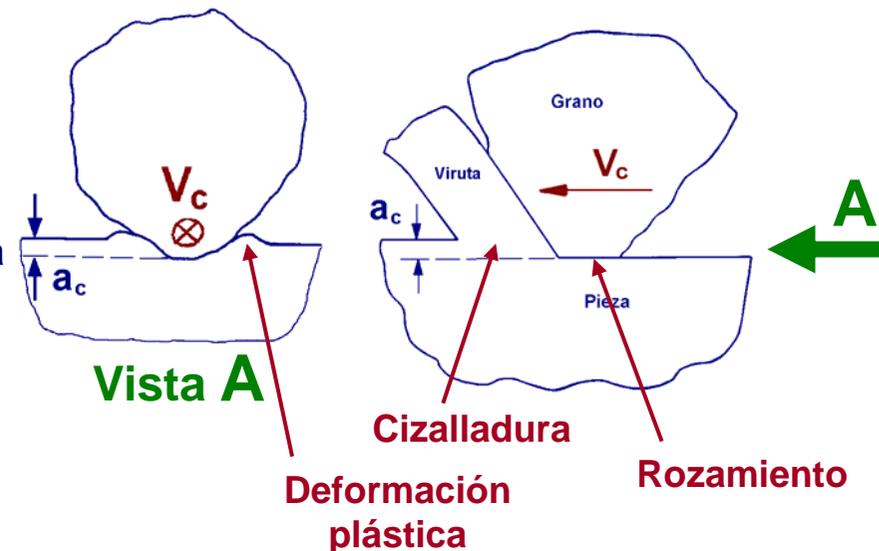
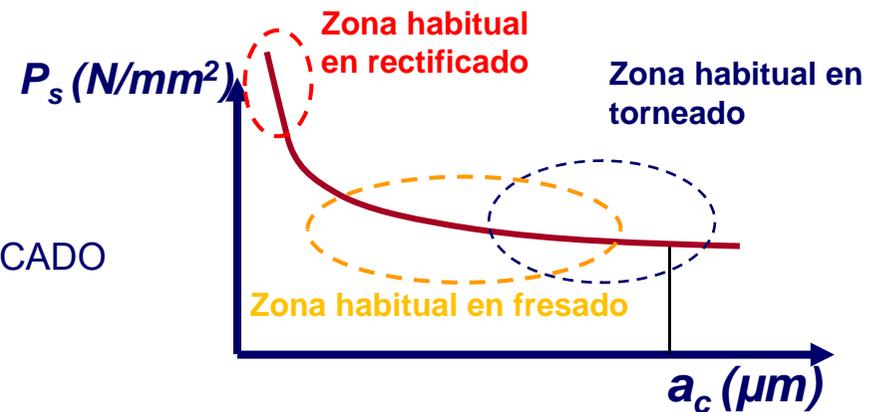
- Rectificado, 30-40m/s, pero puede alcanzar hasta 100m/s
- Torneado, fresado,...: inferior a 6m/s

ESPESOR DE VIRUTA: mucho más pequeño en RECTIFICADO

- Rectificado, 0,1-1 μm
- Torneado, fresado,...: 10-100 μm
- Efecto tamaño

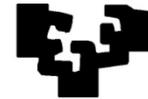
DIFERENCIA ENTRE GRANO Y FILO:

- El grano no tiene geometría definida
- Por su forma tiende a DEFORMAR la viruta





3. Tipos de Operaciones y Máquinas



Las máquinas en las que se llevan a cabo las operaciones de rectificado son las **RECTIFICADORAS**. Existe una amplia gama de procesos y de máquinas rectificadoras en el mercado:

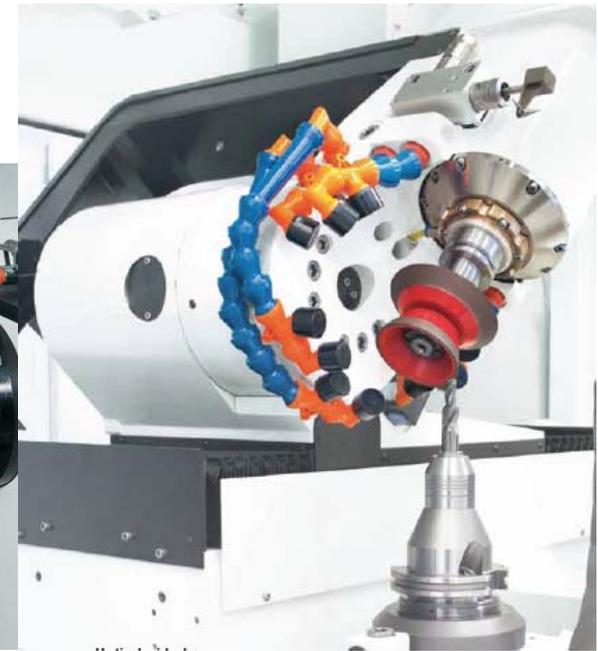
- Planeadoras
- Rectificadoras cilíndricas de exteriores, de interiores y sin centros
- Rectificadoras para la producción de herramientas de corte
- Rectificadoras de engranajes
- Etc.



Rectificadora planeadora



Rectificadora cilíndrica de exteriores



Rectificadora para tallado de
herramientas de corte

RECTIFICADO PLANO:

➤ Acabado de superficies planas o perfiles

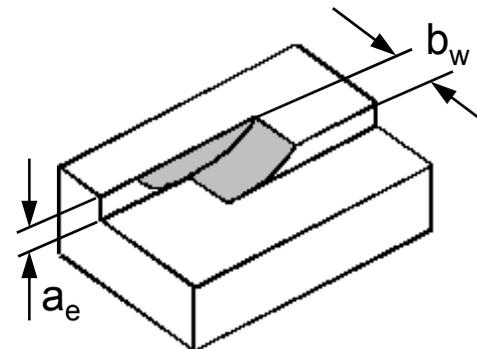
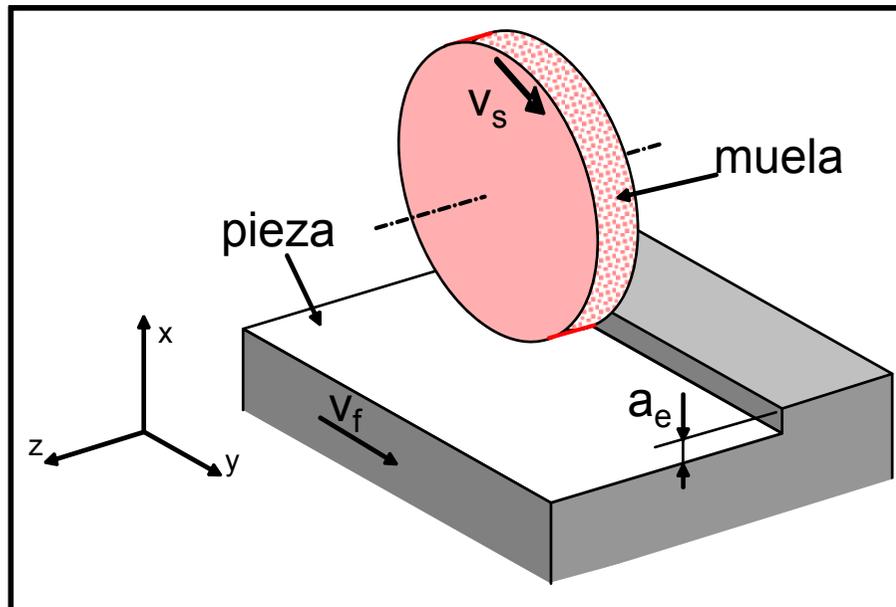
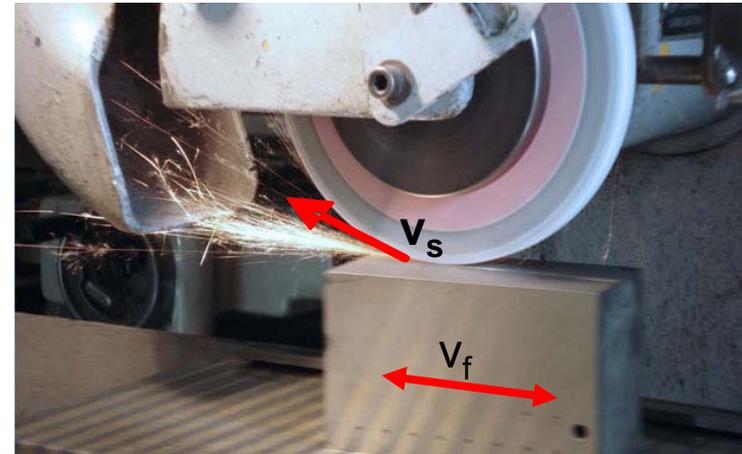
➤ Parámetros:

Profundidad de pasada, a_e (μm)

Velocidad periférica de muela, V_s (m/s)

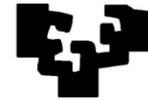
Velocidad de avance, V_f (m/min)

Anchura de pasada, b_w (mm)





3. Tipos de Operaciones y Máquinas



RECTIFICADORAS PLANEADORAS:

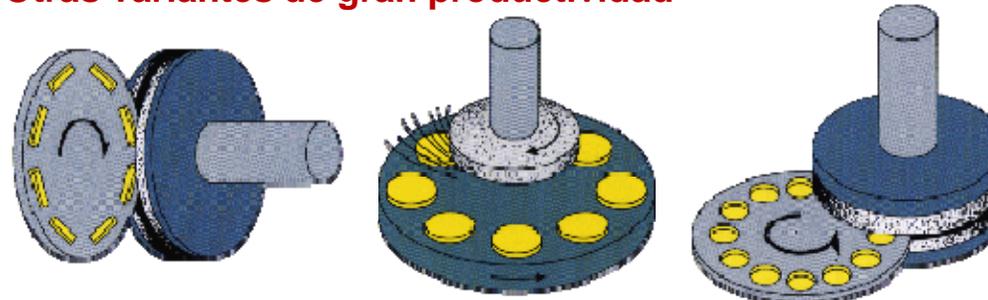
➤ Husillo horizontal (o vertical) y mesa alternativa



➤ Husillo horizontal (o vertical) y mesa rotativa

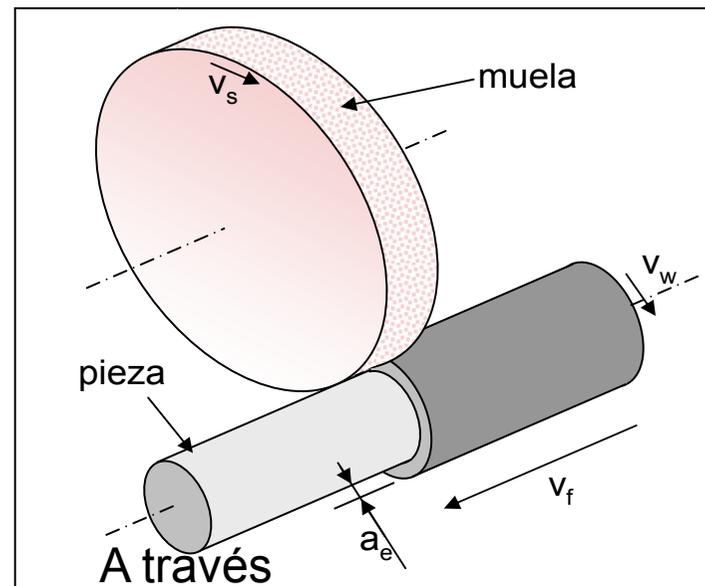
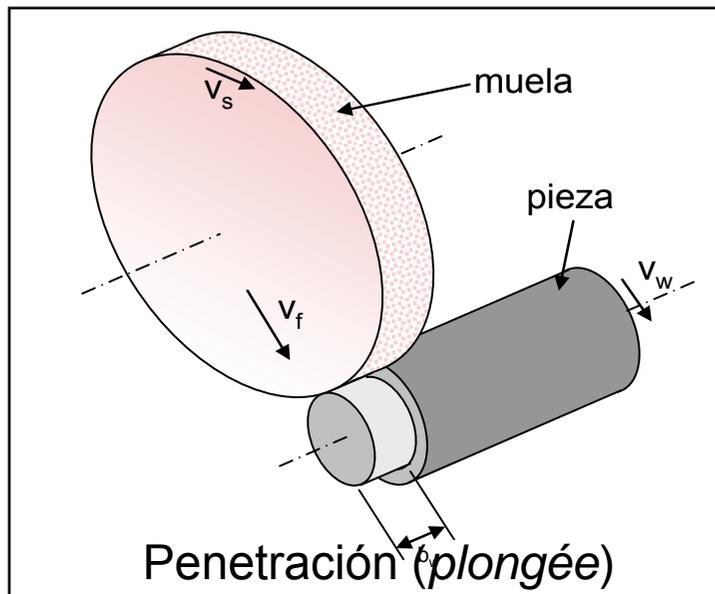


Otras variantes de gran productividad



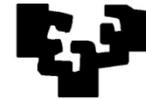
RECTIFICADO CILÍNDRICO:

- Acabado de superficies de revolución (interiores y exteriores)
- "A través" y "en penetración" (*plongée*)
- Parámetros:
 - Profundidad de pasada radial, a_e (μm)
 - Anchura de pasada, b_w (mm)
 - Velocidad periférica de muela, V_s (m/s)
 - Velocidad de avance, V_f (m/min)
 - Velocidad periférica de pieza, V_w (m/min)





3. Tipos de Operaciones y Máquinas



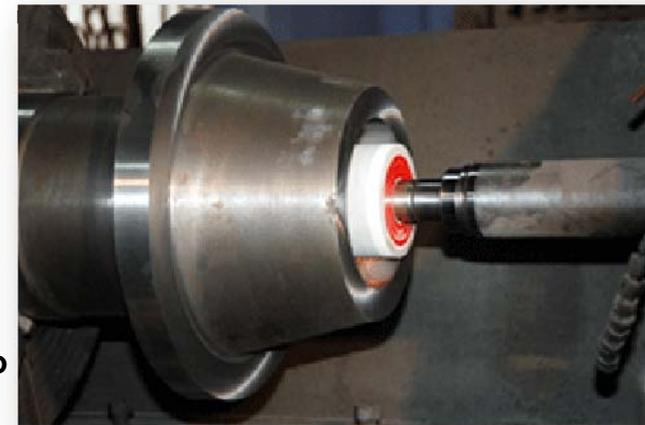
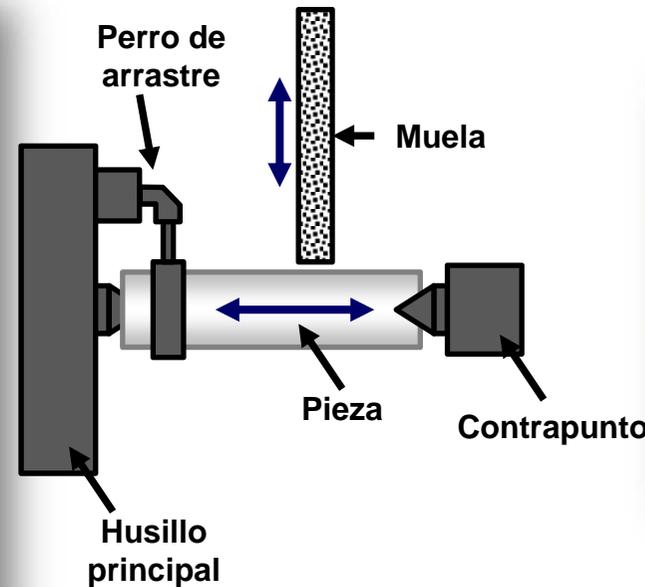
RECTIFICADORA CILÍNDRICA DE EXTERIORES:

- Pieza amarrada por los extremos usando punto y perro de arrastre

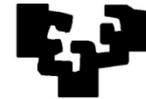


RECTIFICADORA CILÍNDRICA DE INTERIORES:

- Altas velocidades de rotación de muela
- Muela trabajando en voladizo
- Dificultad de amarre de pieza y de suministro de fluido de corte

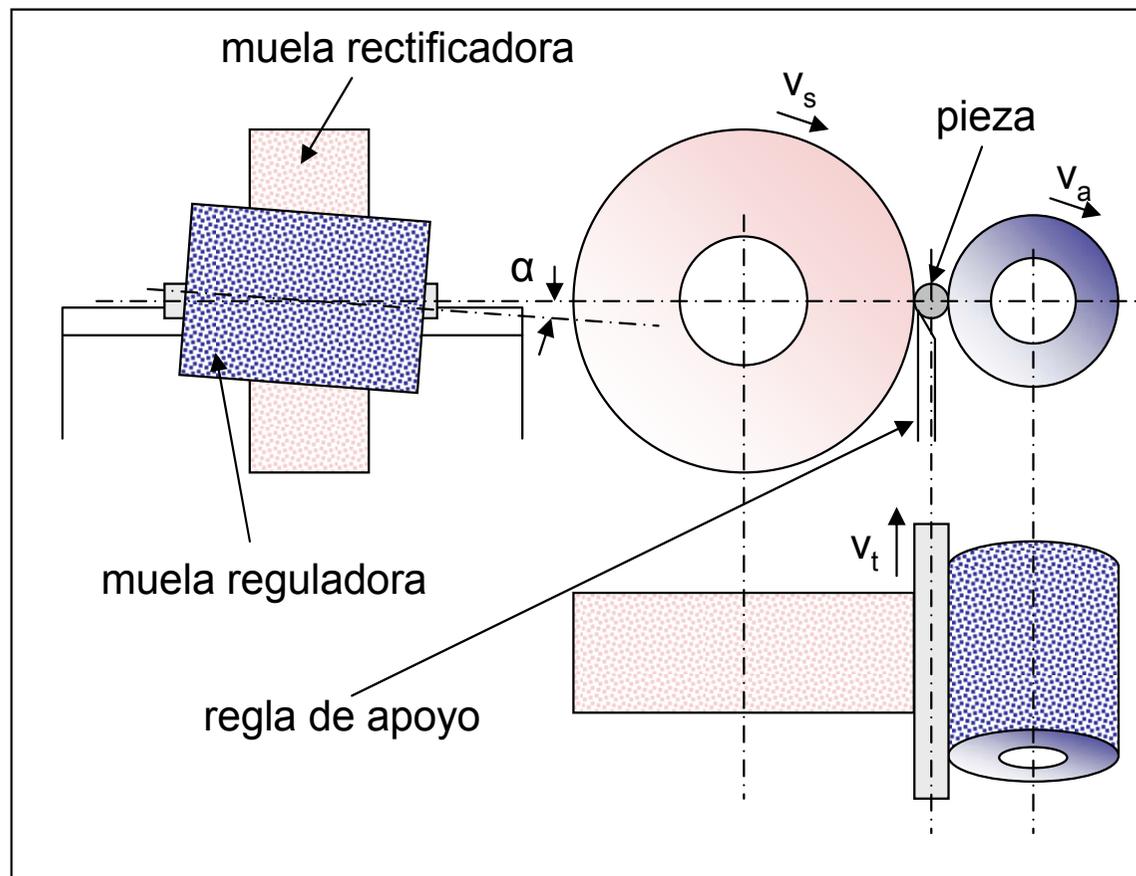


Amarre de una pieza “entre puntos”, habitual en una rectificadora cilíndrica de exteriores



RECTIFICADO SIN CENTROS:

- Acabado de superficies de revolución de gran esbeltez

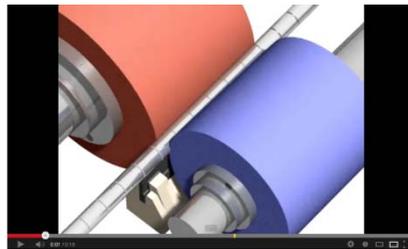


RECTIFICADORA SIN CENTROS:

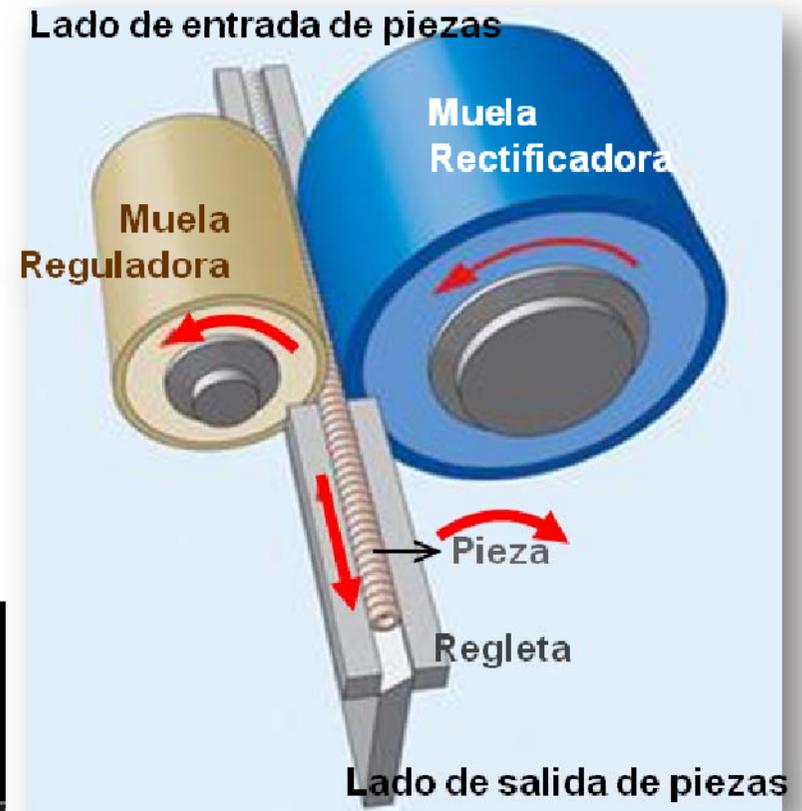
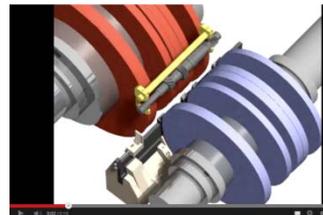
- Minimización de tiempos de amarre y centrado de pieza
- Posibilidad de usar muelas de gran anchura sin deformar la pieza
- No hay errores de centrado: Alta precisión
- Facilidad de automatización
- Empleado para:
 - Piezas pequeñas (de revolución)
 - Piezas de gran esbeltez (de revolución)
 - Largas tiradas

HAY DOS TIPOS:

- "A través" o *traverse*

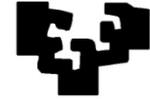


- "en penetración" o *plongée*





4. Muelas de Rectificado



Las herramientas utilizadas en operaciones de Rectificado se denominan **MUELAS**. La selección de la muela es crítica en la operación, del mismo modo que ocurre con las herramientas de torneado o fresado. A la hora de elegir la mejor muela para una aplicación, debe atenderse a:

- **La geometría de la operación** (planeado, cilíndrico a través, sin centros, rectificado de forma, etc.)
- **La especificación de la muela:**
 - Tipo de material abrasivo
 - Tamaño de grano abrasivo
 - Dureza de la muela
 - Estructura
 - Tipo de aglomerante



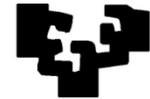
Izq.: muela de forma fabricada para una aplicación concreta



Arriba: muelas estándar para diferentes aplicaciones



4. Muelas de Rectificado



TIPO DE MATERIAL ABRASIVO:

- Selección en función del material de pieza a rectificar
- Tipos:
 - **Convencionales**

– Óxido de aluminio (Al_2O_3 , alúmina) **[A]**
Aplicación general al rectificado de aceros. Muy extendido.

– Carburo de silicio (SiC) **[C]**
Rectificado de carburos, cerámicas, metales no férricos, fundiciones, ... (menos extendido).

- **Superabrasivos**

– Nitruro de boro cúbico (CBN) **[B]**
Rectificado a alta velocidad de férricos de alta dureza, herramientas de corte, aleaciones termo-resistentes, ...

– Diamante **[D]**
Rectificado a alta velocidad y precisión de cerámicas y metal duro.



Carburo de silicio (SiC)



Alúmina o corindón (Al_2O_3)



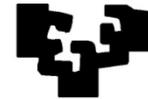
Diamante policristalino



CBN negro



4. Muelas de Rectificado



TAMAÑO DEL GRANO ABRASIVO:

- Está relacionado con el acabado superficial y con la precisión.
- Tamaño de grano grande: para desbaste, acabado superficial “pobre”.
- Tamaño de grano pequeño: para acabado, buena precisión y acabado superficial.

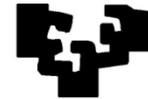
| LEYENDA DE USO | | ACABADO SUPERFICIAL Y TAMAÑO DE GRANO | | | | | | | |
|-----------------------|------------|---------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Altamente recomendado | | TAMAÑO DE GRANO | | | | | | | |
| SUPERFICIE | ACABADO | 46 | 40 | 80 | 100 | 120 | 150 | 180 | 220 |
| μ in CLA | μ m Ra | | | | | | | | |
| 42 | 1,10 | | | | | | | | |
| 32 | 0,80 | | | | | | | | |
| 26 | 0,70 | | | | | | | | |
| 21 | 0,50 | | | | | | | | |
| 16 | 0,40 | | | | | | | | |
| 14 | 0,35 | | | | | | | | |
| 11 | 0,25 | | | | | | | | |
| 8 | 0,20 | | | | | | | | |
| 7 | 0,17 | | | | | | | | |
| 6 | 0,14 | | | | | | | | |
| 5 | 0,12 | | | | | | | | |
| 4 | 0,10 | | | | | | | | |
| 3 | 0,08 | | | | | | | | |
| 2 | 0,05 | | | | | | | | |

Tabla de tamaños de los granos producidos por Krebs & Riedel (Extracto de FEPA)

| Nombre (Series F) | Tipo de grano | Diámetro nominal en micras |
|-------------------|---------------|----------------------------|
| 10 | muy grueso | 2360 - 1700 |
| 12 | muy grueso | 2000 - 1400 |
| 14 | grueso | 1700 - 1180 |
| 16 | grueso | 1400 - 1000 |
| 20 | grueso | 1180 - 850 |
| 22 | grueso | 1000 - 710 |
| 24 | grueso | 850 - 600 |
| 30 | grueso | 710 - 500 |
| 36 | medio | 600 - 425 |
| 40 | medio | 500 - 355 |
| 46 | medio | 425 - 300 |
| 54 | medio | 355 - 250 |
| 60 | medio | 300 - 212 |
| 70 | fino | 250 - 180 |
| 80 | fino | 212 - 150 |
| 90 | fino | 180 - 125 |
| 100 | fino | 150 - 106 |
| 120 | fino | 125 - 90 |
| 150 | muy fino | 106 - 63 |
| 180 | muy fino | 90 - 54 |
| 220 | muy fino | 75 - 45 |
| 240 | muy fino | 70 - 38 |
| 280 | muy fino | 59 - 22 |
| 320 | muy fino | 49 - 16,5 |
| 360 | microfino | 40 - 12 |
| 400 | microfino | 32 - 8 |
| 500 | microfino | 25 - 5 |



4. Muelas de Rectificado



DUREZA DE LA MUELA:

- Resistencia del aglomerante a “soltar” granos como consecuencia de las fuerzas en el proceso
- Se designa con una letra que va desde la A hasta la Z:

| Dureza | Tipo de muela |
|--------|------------------------|
| A-E | Muelas muy blandas |
| F-K | Muelas blandas |
| L-Q | Muelas de dureza media |
| R-T | Muelas duras |
| U-Z | Muelas muy duras |

ESTRUCTURA DE LA MUELA:

- Está relacionado con la densidad (cantidad de abrasivo y de aglomerante en la muela)
- Se designa con un número que indica el grado de “apertura” de la muela



Rectificado de materiales frágiles,
precisión y acabado

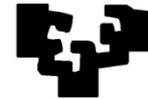
Más espacio a la viruta en
materiales dúctiles, desbaste

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13





4. Muelas de Rectificado



MATERIAL DE UNIÓN (AGLOMERANTE):

➤ Funciones:

- Evitar pérdidas de granos afilados.
- Permitir liberar granos desafilados.
- Transmitir fuerzas entre grano y husillo.
- Disipar el calor generado en el proceso.

➤ Tipos:

- Vítreo [V]: el más usado en muelas de alúmina, CBN
- Resinoso [B]: poco frecuente
- Metálico [M]: Empleados en superabrasivos. Muelas muy duras.
- Otros...

Ejemplo de designación de muela Típica:



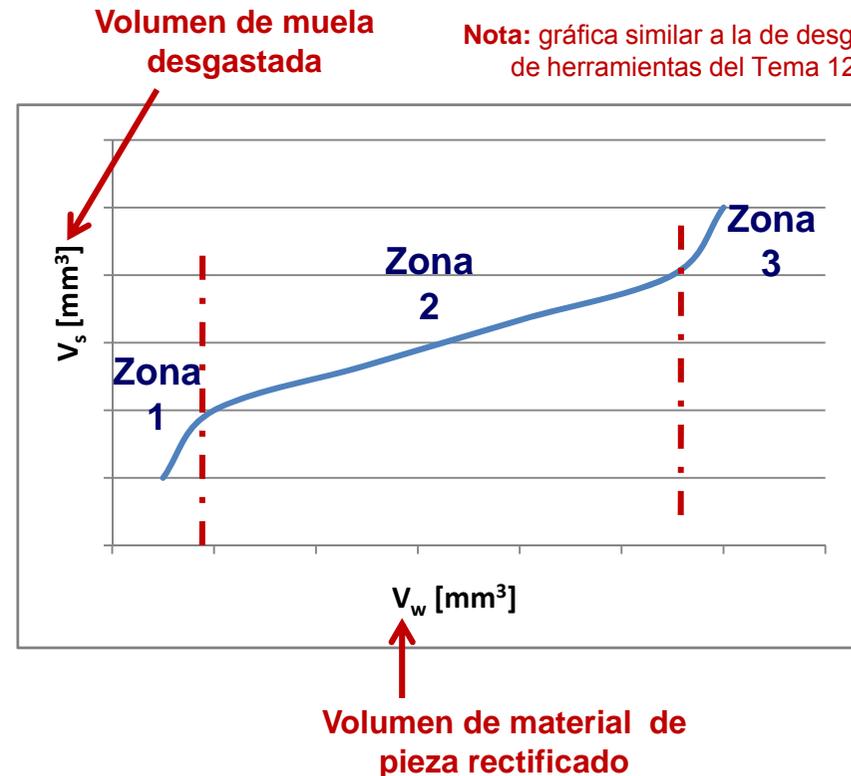
5. Desgaste de muelas

Al igual que las herramientas de corte, las muelas de rectificado también sufren DESGASTE como consecuencia de las grandes fuerzas y altas temperaturas que se alcanzan en la zona de contacto. El desgaste produce en la muela:

- Pérdida de capacidad abrasiva (escala microscópica).
- Pérdida de geometría/perfil (escala macroscópica).

CONSECUENCIAS DEL DESGASTE:

- Aumento de la potencia consumida
- Peor acabado y pérdida de precisión
- Vibraciones



Parámetro de medida del desgaste:

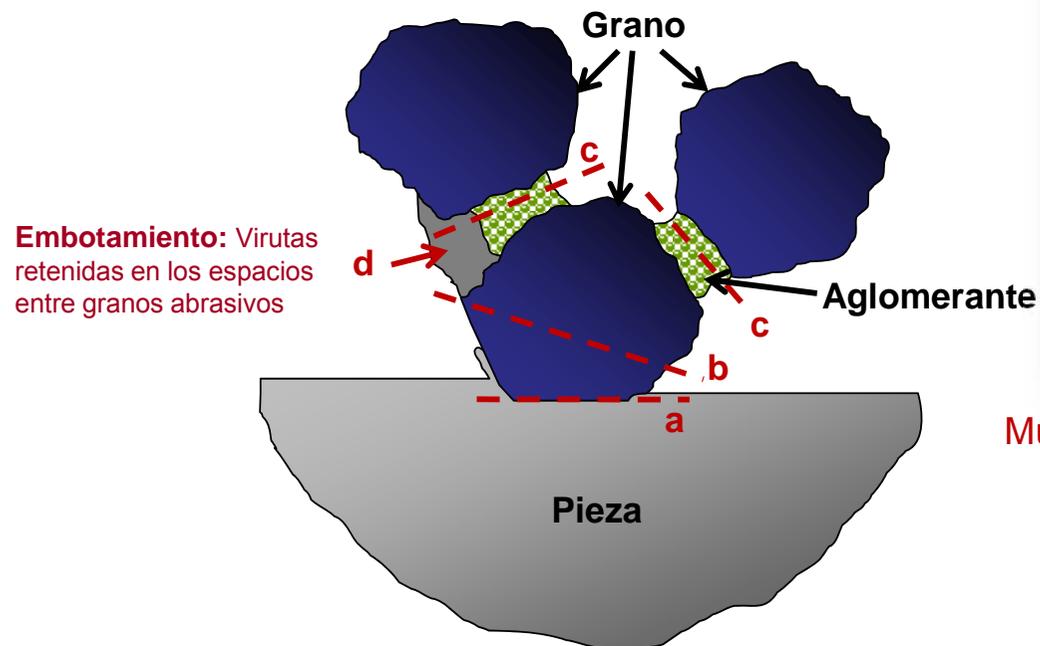
Razón de rectificado

$$G = V_w / V_s$$

Inversa de la pendiente de la curva de desgaste medida en la zona 2

MECANISMOS DE DESGASTE:

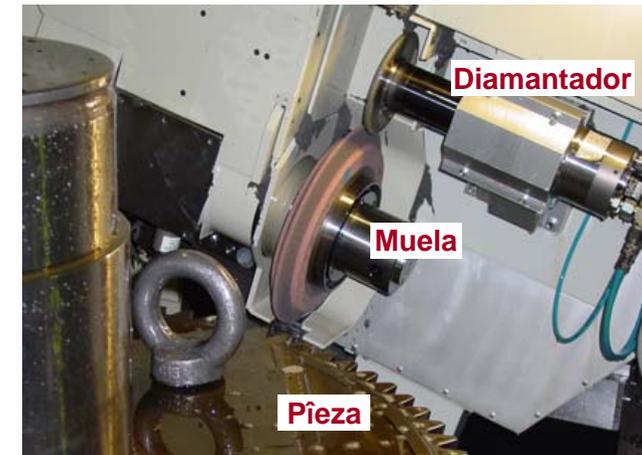
- Pérdida de filo de grano (a)
- Fractura/rotura de grano (b)
- Rotura de aglomerante (pérdida de granos útiles) (c)
- Embotamiento de la muela (d)



Muela de alúmina, aglomerante vítreo, embotada.
Aspecto tras diferentes pasadas

DIAMANTADO DE MUELAS:

- Recuperación de la capacidad abrasiva
 - Micro-rotura de granos para crear nuevos filos
 - Eliminación del material embotado
- Recuperación de la geometría de la muela
- Eliminación del salto radial en el montaje
- Herramientas empleadas: diamantes (monopunta, multipunta), discos de diamante, sticks de SiC.



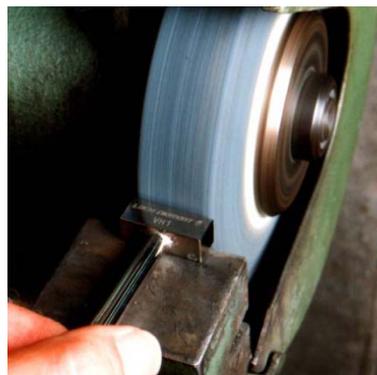
Muela y diamantador en una
rectificadora de engranajes



Stick de SiC para
aplicación manual



Diamantador
multipunta aplicado
manualmente



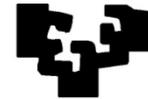
Disco de diamante para
muelas de forma



Diamantador monopunta



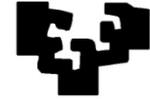
6. Cuestionario tutorizado



1. **¿Por qué la energía específica de corte es tan elevada en el rectificado? ¿Cómo afecta a las fuerzas durante el proceso un valor elevado de la energía específica de corte?**
2. **¿Qué consecuencias tiene el hecho de que, por su propia geometría, los granos de abrasivo generen ángulos de desprendimiento muy negativos?**
3. **Durante el rectificado la fuerza normal puede llegar a ser incluso el doble, en magnitud, que la fuerza tangencial. ¿Qué consecuencias crees que puede tener este hecho?**
4. **Define una muela cuya especificación normalizada viene dada por 200x16x50,8 C46J5B. ¿A qué tipo de aplicaciones crees que irá destinada?**
5. **Calcula la velocidad de rotación (en rpm) a la que tiene que girar una fresa de diámetro 100mm para alcanzar una velocidad de corte típica de fresado. A continuación calcula la velocidad de rotación de una muela del mismo diámetro, para alcanzar una velocidad de corte típica de rectificado. Analiza los resultados.**
6. **Representa esquemáticamente cómo se lleva a cabo una operación de diamantado de muela con diamante monopunta.**
7. **Investiga qué valores del avance y de la profundidad de pasada pueden ser típicos en la operación de diamantado de la pregunta 6.**



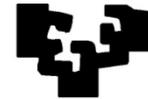
7. Cuestionario tutorizado



8. Investiga qué orden de magnitud de profundidad de pasada es habitual en un rectificado de planeado y en un fresado de una superficie plana. Compara los valores y analiza las diferencias.
9. ¿Por qué crees que algunas rectificadoras utilizan accionamientos hidráulicos en sus ejes?
10. ¿Por qué se consigue un importante ahorro de tiempos no productivos en el rectificado sin centros?
11. ¿Por qué el rectificado sin centros mejora la precisión con respecto al rectificado cilíndrico de exteriores?



7. Oportunidades laborales: empresas y productos



Abrasivos MANHATTAN S.A.

Fabricante de ABRASIVOS
Localización: Vitoria (Alava)
www.abrasivosmanhattan.es

Abrasivos UNESA (Grupo Manhattan)

Fabricante de ABRASIVOS
Localización: Hernani (Gipuzkoa)
www.abrasivosunesa.es

TYROLIT

Fabricante de ABRASIVOS
Multinacional
www.tyrolit.es

NORTON (grupo Saint Gobain)

Fabricante de abrasivos
Multinacional
www.nortonabrasives.com

DOIMAK S.A.

Fabricante de rectificadoras
Localización: Elgoibar (Gipuzkoa)
www.doimak.es

GER

Fabricante de rectificadoras
Localización: Itziar-Deba (Gipuzkoa)
www.germh.com

DANOBAT S.COOP.

Fabricante de rectificadoras
Localización: Elgoibar (Gipuzkoa)
www.danobat.com

**Abrasivos UNESA
cuenta con una
amplia gama de
muelas de
rectificado**



**Rectificadora LG-400
fabricada por Danobat
dispone de bancada de
granito y motores
lineales**