

RECTIFICADO

1.- Introducción

El rectificado es una operación de mecanizado en la que una herramienta llamada muela arranca virutas cortas y delgadas obteniendo superficies con un grado de terminación superficial, exactitud de forma geométrica y precisión dimensional generalmente superiores a las obtenidas mediante el torneado, el cepillado o el fresado.

Los elementos cortantes son granos de material abrasivo de forma irregular, de múltiples puntas y aristas. Cada grano constituye un filo de los numerosos que actúan en forma simultánea.

Las muelas son sólidos de revolución moldeados, compuestos por granos abrasivos distribuidos uniformemente y unidos mediante un material ligante o aglomerante. La figura 1 muestra muelas de tres formas clásicas: a) Cilíndrica; b) De disco y c) De copa.

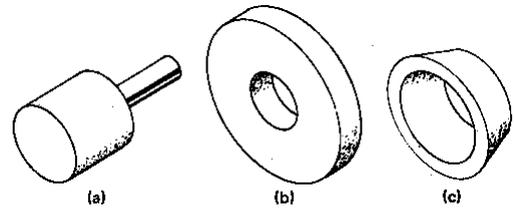


Figura 1

Hay herramientas formadas por un soporte en el cual se montan sectores o segmentos abrasivos renovables como la indicada en la figura 2.

Los granos abrasivos también pueden ir montados sobre un soporte y adheridos mediante un ligante, como en el caso de las telas planas, bandas abrasivas, cepillos giratorios, etc.

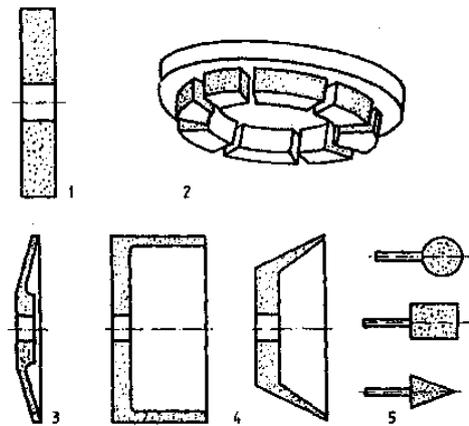


Figura 2

Los granos también pueden actuar sin que formen parte de una herramienta propiamente dicha, actuando en suspensión en un fluido, como en el caso del lapidado. La acción de mecanizado se produce al desplazarse la pieza a trabajar con respecto al “útil lapidador” (de forma complementaria a la superficie que se mecaniza), entre los cuales se encuentra interpuesto el material abrasivo.

Entre los procesos más empleados en el mecanizado con abrasivos pueden citarse: el rectificado, el súper acabado, el bruñido y el lapidado. Cada uno de ellos posee características propias en cuanto al tipo de máquina empleada, la forma de la herramienta, clase de movimientos principal y de avance, magnitud de la velocidad de corte, etc. Si bien todos estos procesos, tienen un uso industrial muy difundido, el rectificado es sin dudas el de mayor aplicación práctica, por lo cual será tratado con preferencia en lo que sigue.

2.- El Rectificado

Caracteriza a este proceso el empleo de una muela como herramienta de corte, de múltiples filos, cuya semejanza con una fresa permite establecer la siguiente comparación:

MUELA

- Gran cantidad de filos
- Alta velocidad de corte
- Pequeña profundidad de pasada
- Filos irregulares
- Filos distribuidos al azar

FRESA

- Pequeña cantidad de filos
- Menor velocidad de corte
- Mayor profundidad de pasada
- Filos iguales
- Filos uniformemente distribuidos

Las aplicaciones industriales de mecanizado con muelas abrasivas son:

- 1) Rectificado de superficies obtenidas por otras operaciones de mecanizado. En el rectificado se eliminan sobreesesores muy pequeños. El objeto es mejorar el acabado superficial, corregir defectos de forma y asegurar dimensiones más precisas.
- 2) Rectificado de superficies endurecidas por tratamiento térmico con el propósito de eliminar defectos de deformaciones producidas por el mismo.
- 3) Afilado de herramientas de corte
- 4) Desgrosado y pulido para eliminar membranas y salientes desechables en piezas en bruto obtenidas por forja o colada mejorando su aspecto externo.

3.- La muela

Esta constituida por dos tipos de elementos como muestra la figura 3:

- a) Mordiente o abrasivo.
- b) Ligante, cemento, o aglomerante.

También forman parte importante de la muela, los espacios vacíos o poros

Los granos ubicados en la superficie de la muela son los cortantes o activos, y sus aristas se van desgastando con el uso, reduciendo la capacidad de corte. Simultáneamente aumenta la fuerza sobre los granos, la que puede ocasionar su desprendimiento o fractura, apareciendo en la superficie nuevos filos. Si esto ocurre, se dice que la muela posee la propiedad de “autoafilado“.

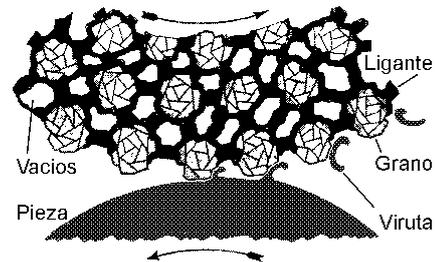


Figura 3

Si los granos son muy tenaces y el ligante muy resistente, el autoafilado no se produce o es solo parcial. Ello aumenta las zonas de desgaste de los granos, se produce fricción excesiva y sobrecalentamiento de la pieza. Así, el rectificado resulta ineficiente y deben eliminarse los granos gastados haciendo un “repasado“ mediante una herramienta con punta de diamante para reestablecer granos nuevos a la superficie de la muela.

La necesidad de repasados o reafilados frecuentes en una muela caracteriza a la misma como “dura“. Por el contrario, si los granos se desprenden o fracturan muy fácilmente, se dice que la muela es muy “blanda“. La pérdida excesiva del material de la muela hace que esta pierda su forma y dimensiones, ocasionando rectificadores deficientes, lo cual también requiere un reafilado.

Cuando se selecciona una muela para un caso específico, el criterio adecuado es el de evitar las situaciones extremas, dura y blanda.

Más adelante se analizarán los factores que se combinan para que una muela se comporte como dura o como blanda.

3.1.- Características de la muela

Para caracterizar a la muela seleccionada en cada caso específico, aparte de su forma y dimensiones, se consideran los siguientes elementos:

- Tipo de abrasivo.
- Tamaño de grano.
- Grado de dureza
- Estructura

3.1.1.- Tipo de abrasivo

Existen dos clases de materiales abrasivos:

a) Naturales: cuarzo, sílice, esmeril y corindón. Estos dos últimos están formados por 50 a 65 % y 70 a 90 % de Alúmina (Al_2O_3) respectivamente, siendo el último más duro.

Debido a las impurezas que contienen, la acción de corte de los abrasivos naturales se ve disminuida, como así también la uniformidad de las muelas.

b) Artificiales: Son los empleados con preferencia para muelas: Alúmina; Carburo de Silicio (CSi); Nitruro de Boro cúbico (CBN); Diamante negro (CBo). Por tal motivo nos referiremos específicamente a ellos. Los dos primeros son considerados convencionales y los dos últimos están destinados para materiales y operaciones específicas.

La **alúmina** u óxido de aluminio (Alundum), se obtiene en horno eléctrico. La masa obtenida se enfría y se tritura obteniéndose cristales que luego se clasifican por tamaño. Su dureza es muy alta, algo menor que el CSi pero son menos frágiles y se adaptan para rectificar materiales de alta resistencia a la tracción, como aceros de todo tipo, fundición maleable, bronce tenaces, etc.

En óxidos de aluminio, la variedad de color blanco se destaca por fracturarse más frágilmente y ofrecer filos nuevos y agudos en abundancia. Se los conoce como de “corte frío” y se emplea para el afilado de herramientas de acero rápido.

El **carburo de silicio** (Carborundum) también se obtiene en horno eléctrico. Tiene mayor dureza pero es mucho más frágil, lo cual no le permite ser usado para materiales de alta resistencia a la tracción. Se emplean para fundición, bronce, latón, aluminio, cobre y materiales no metálicos como el caucho, mármol, granito, vidrio, etc.

El carburo de silicio verde es una variedad empleada para el afilado de herramientas de carburos sinterizados. Dada la gran dureza de los carburos, para evitar el embotado de estas muelas, se las fabrica con ligantes blandos.

El **nitruro de boro cúbico** (CBN) se recomienda para aleaciones que con abrasivos convencionales son difíciles de rectificar, como aceros y fundiciones de dureza mayor a 50HRc, y aleaciones de Ni y Co de dureza mayor a 35 HRc.

El **diamante** (D) es el carbono en forma cristalina, y es el material de mayor dureza que se conoce. Puede estar constituido por piedras claras y transparentes (los mas puros) pasando a coloreadas (con impurezas). Las hay traslúcidas y opacas. Las opacas con impurezas son las llamadas Diamante Negro y por su uso en la industria se las conoce como Diamantes Industriales. Las mas puras se emplean en joyería.

Se reserva el uso del diamante como abrasivo para afilar (repasar) muelas y para cortar materiales resistentes: vidrios, piedras, cerámicos, y carburos sinterizados. Los granos son muy finos, entre los números 100 y 400 (véase tamaños de grano). Se aplican en capas desde 1/32“ hasta 1/8“ de espesor sobre soporte constituidos por discos de acero o núcleos de otros materiales aglomerados.

La capa esta compuesta por una mezcla de aglomerante y diamante, pudiendo éste último estar en distintas concentraciones en volumen y de acuerdo a ellas le corresponde una calificación especial en quilates.

Su costo es elevado, pero para ciertos trabajos se justifica su empleo, pues permite reducir el tiempo de rectificado y mejorar el acabado superficial, como en el caso del afilado de herramientas cerámicas, de carburos sinterizados, y materiales ultraduros.

3.1.2.- Tamaño del grano

Los granos de tamaño grande producen virutas mayores que los granos pequeños. Por lo tanto las huellas sobre la superficie de la pieza son más bastas cuando los granos son más grandes. Para obtener terminaciones superficiales más lisas se utilizan granos finos.

El tamaño del grano se asigna de acuerdo a la malla del tamiz por la cual pasa libremente. Así, el grano será N^o 60 si pasa por una malla de 60 aberturas por pulgada de lado, que cuenta con 3600 aberturas por pulgada cuadrada. Así, un grano N^o 20 será más grueso que otro N^o 40. En la figura 4 se aprecian los granos de tamaño N^o 8, y N^o 60 en escala 1:1.

Los granos extrafinos, denominados polvos, se designan por su tiempo de decantación en el agua. Serán de tamaño más fino aquellos de mayor tiempo de decantación.

Las normas ISO y ANSI clasifican cuatro grupos según el tamaño del grano.

Los números comprendidos en cada grupo son los que figuran en la tabla 1:

Tabla 1. Tamaño de grano de los abrasivos
(ISO 525-1975E y ANSI B74.13-1977)

GRUESO	MEDIO	FINO	MUY FINO
8	30	70	220
10	36	80	240
12	46	90	280
14	54	100	320
16	60	120	400
20		150	500
24		180	600

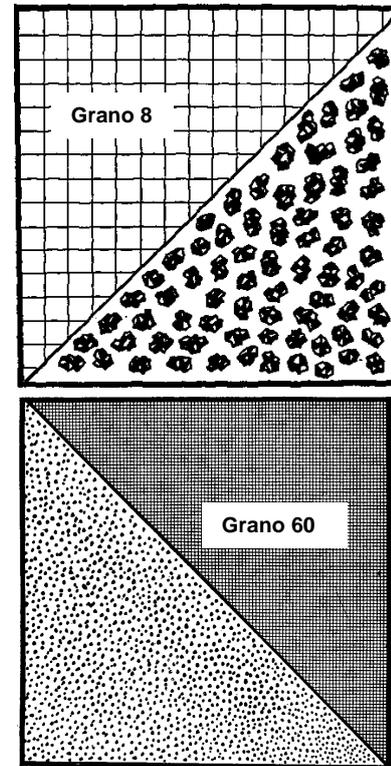


Figura 4

3.1.3.- Grado o Dureza

Esta característica se refiere a la tenacidad del ligante. Este tendrá mayor dureza o grado si exige mayor fuerza sobre el grano para conseguir su desprendimiento de la muela. Si la dureza ha sido bien seleccionada, la muela se autoafilará adecuadamente, dejando desprender los granos embotados (desgastados) y exponiendo granos nuevos.

La naturaleza del ligante determina que la muela sea de grado duro o blando, pero un grado dado, puede aparecer como duro para cierto material a rectificar, y blando para otro. Más aún, para un material dado, un mismo ligante puede tener un comportamiento desde blando a duro de acuerdo a las características y valores que asuman otros factores que intervienen en el proceso. Estos factores serán considerados más adelante y entre ellos pueden citarse: la naturaleza de la operación, el área de contacto, la velocidad de la muela, el avance por vuelta, las características de la máquina empleada, etc.

Para un dado juego de valores de los factores citados, puede enunciarse como regla general que cuanto más duro es el material a rectificar, el grado de dureza debe ser más blando, y viceversa. La justificación de dicha regla es que los materiales más duros producen un desgaste más rápido, y para que el autoafilado se realice en tiempo y forma correctos, el aumento de las fuerzas debido a la menor capacidad de corte de los granos, debe permitir su desprendimiento, lo que será posible cuando el ligante es blando.

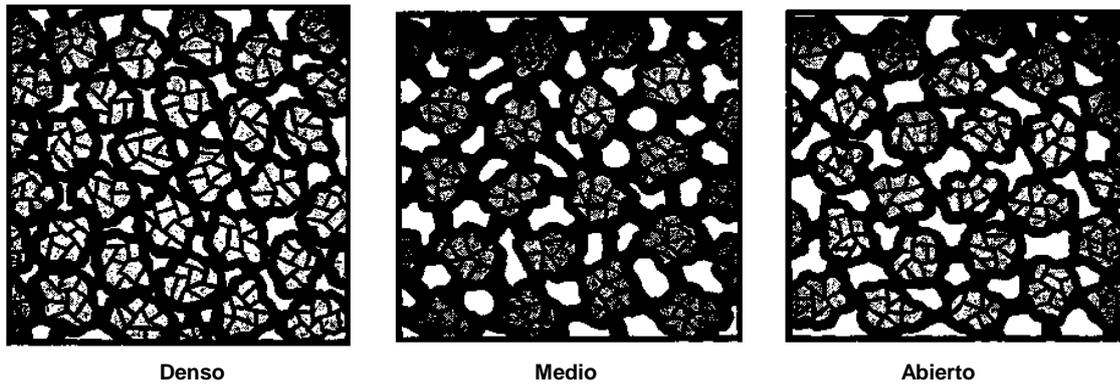


Figura 5

3.1.5.- Marcado de las muelas

Se llama así a la codificación que va impresa generalmente en las etiquetas de la muela, cuya finalidad es servir de identificación. Para identificar completamente una muela deben incluirse todas las características en el marcado de la misma, para lo cual se emplea un grupo de letras y números colocados en un orden secuencial establecido por la norma ISO. El orden de ubicación de cada característica lleva el nombre de “**Posición**”.

Un ejemplo del marcado es el siguiente:

PREFIJO	POSICION	POSICION	POSICION	POSICION	POSICION	POSICION
	1	2	3	4	5	6
51	A	46	P	7	V	19

El prefijo es un número asignado por el fabricante que especifica el tipo exacto del abrasivo usado, y es una información opcional cuya presencia o ausencia en el marcado depende del fabricante.

En la posición 1 figura la naturaleza del abrasivo, utilizándose las letras A y C para óxido de aluminio y carburo de silicio, respectivamente. Las **posiciones 2, 3, 4 y 5** que indican el tamaño de grano, grado, estructura y tipo de ligante, utilizan los símbolos ya vistos para cada una de esas características.

En la posición 6, se coloca un número privado del fabricante que identifica a la muela en su totalidad, cuya presencia tiene por objeto facilitar la gestión para un nuevo pedido de reposición. También es una posición opcional.

3.2.- Formas normalizadas de las muelas

La norma ANSI B74.2-1974 ha normalizado los perfiles de muelas más empleados para uso industrial. A su vez, cada perfil presenta una variedad de dimensiones para ajustarse a todas las necesidades. Las dimensiones pueden elegirse de los catálogos de los fabricantes.

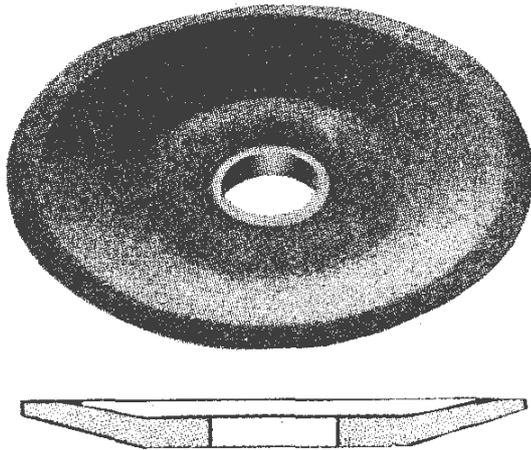
Los 9 tipos de perfiles normalizados de mayor uso son los siguientes:

a) Muelas planas o de disco (tipos N^o 1, 5 y 7, figuras 6a, 6b, y 6c)

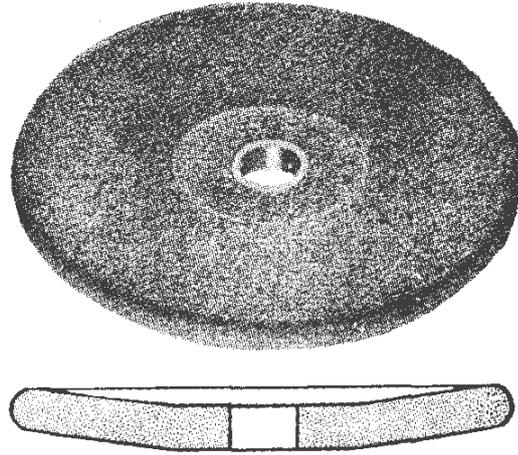
Los tipos 1, 5 y 7 se emplean para rectificadores interiores, exteriores, afilado de herramientas, amolado a mano, eliminación de aletas, mazarotas e imperfecciones en piezas coladas y forjadas.

Las N^o 5 y 7 presentan vaciados para apoyo de los platillos de montaje.

Las N^o 1 delgadas, entre 0,15 mm y 3 mm de espesor se emplean para tronzar. Los espesores mayores se emplean para las de diámetros mas grandes y viceversa.



Tipo N.º 12, de plato.



Tipo N.º 13, de platillo.

Figura 10 a

Figura 10b

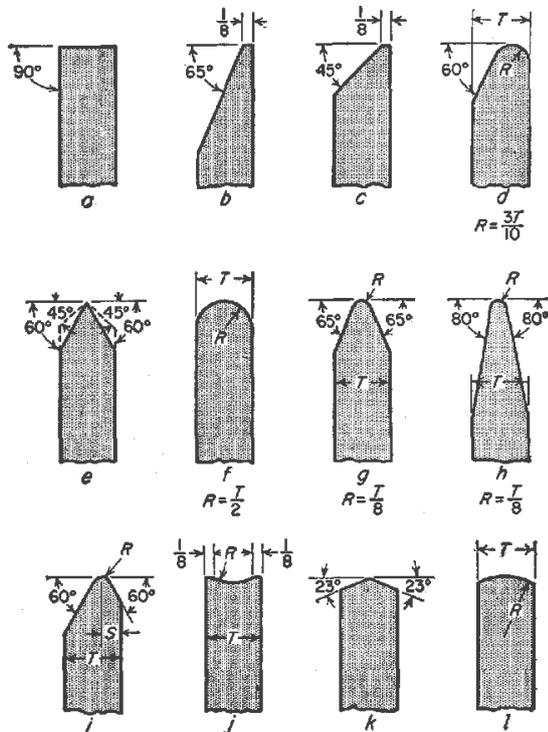


Figura 11. Formas normalizadas de caras y muelas

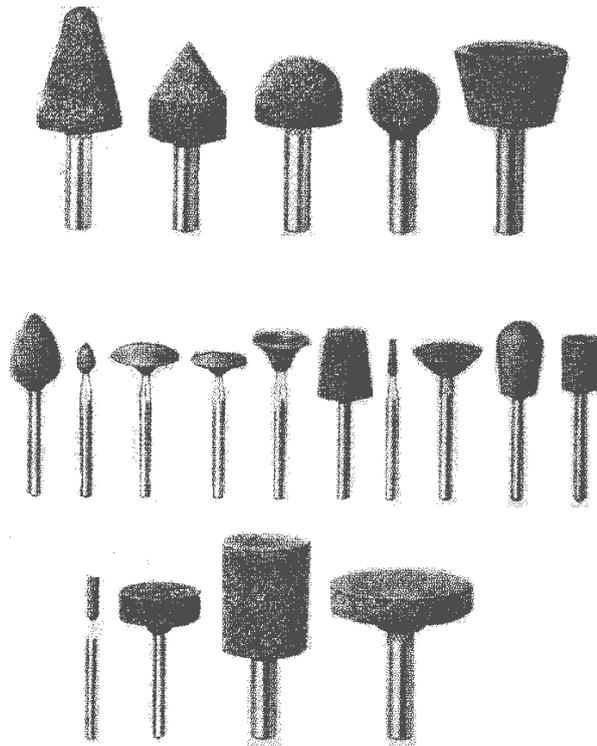


Figura 12. Muelas montadas

g) **Muelas de platillo** (tipo N.º 13, figura 10b). Son las que se emplean para el afilado de sierras circulares y de cinta.

3. 3.- Caras de las muelas

Para piezas que requieren muelas con caras de forma especial, pueden utilizarse los tipos vistos de muela disco N.º 1, 5 y 7, con cualquiera de las formas normalizadas de la cara (perfil) que se observan en la figura 11.

3. 4.- Muelas montadas

Son de pequeñas dimensiones y de muy variadas formas, para ser aplicadas en rectificación de interiores, sobre todo en sitios difíciles de alcanzar. Están montadas en un árbol cilíndrico de acero de pequeño diámetro para ser fijadas en el mandril de una taladradora, de una amoladora de mano, en el soporte de un torno, un eje flexible, etc.. En la figura 12 se muestran muelas montadas de forma variada.

4.- Factores que intervienen en la selección de una muela

Muy a menudo, y como consecuencia de no haber tenido en cuenta todos los factores concurrentes, la operación de rectificado no conduce a los resultados esperados o se efectúa de manera antieconómica. Muchas veces ello se debe al empleo de una muela inapropiada. La figura 13, en forma de cuadro, incluye los factores que intervienen en la selección de una muela, y a continuación se analizan por separado.

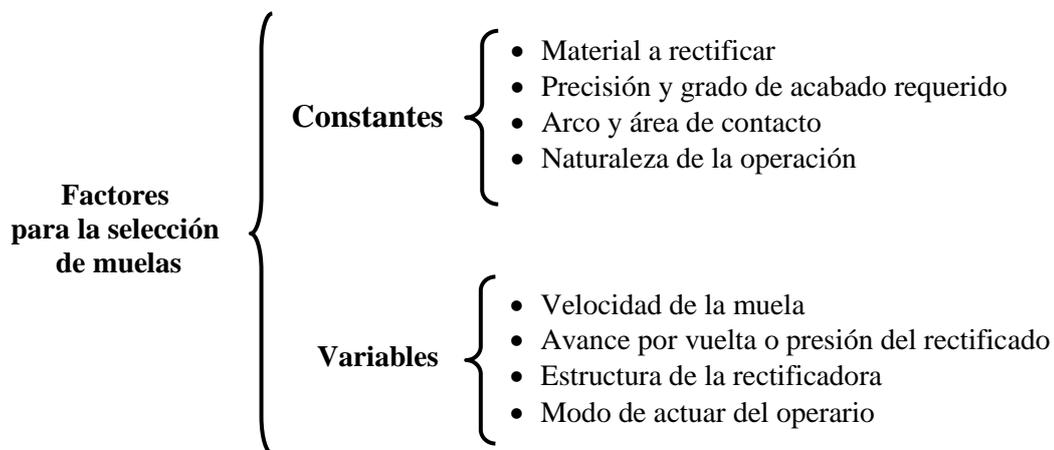


Figura 13

4.1.- Factores constantes

4.1.1.- Material a rectificar

Influye sobre el tipo de abrasivo a emplear, tamaño de grano, grado, estructura de la muela y tipo de aglomerante. En general, los fabricantes recomiendan usar óxido de aluminio para aceros, bronce duros y aleaciones ligeras de alta resistencia y para muelas de segmentos empleadas en rectificado plano de fundición y latón; mientras el carburo de silicio se usa para materiales menos resistentes como fundición, bronce común, cobre, latón, aleaciones ligeras y materiales no metálicos, sirviendo también para materiales muy duros, como los aceros templados.

Para materiales duros y frágiles debe elegirse un tamaño de grano fino, mientras un grano basto se comportará mejor para blandos y dúctiles.

Con respecto al grado, se eligen muelas de grado duro para materiales blandos, y de grado blando para materiales duros, como se indicó en el ítem 3.1.3.

En cuanto a la estructura, ésta deberá ser cerrada para materiales duros y frágiles, y abierta para materiales blandos y dúctiles.

La clase de aglomerante depende del material que se rectifica, pero más aún de las condiciones de la operación y de los factores variables, que serán luego analizados.

4.1. 2.- Precisión y acabados requeridos

Estos factores determinan el tamaño de grano y la clase de aglomerante a utilizar. Cuanto más fino sea el acabado requerido, tanto más fino deberá ser el grano, mientras que un grano basto permitirá un trabajo más rápido.

Para desbastes y semiacabado se usan aglomerantes vitrificados, mientras que los acabados más finos se logran con resinas, caucho o goma laca.

4.1. 3.- Arco y área de contacto

Este factor influye sobre el tamaño del grano, el grado y la estructura. Se recomiendan granos finos para áreas de contacto pequeñas, y bastos para grandes áreas.

La recomendación con respecto al grado es: cuando más pequeño sea el arco de contacto, más dura deberá ser la muela, y viceversa. Explicaremos esto suponiendo un rectificado cilíndrico exterior. Llamando arco de contacto al arco de muela en contacto con la pieza durante la remoción de viruta, cuanto mayor es el diámetro de la pieza, mayor es el arco para una muela dada, y también más larga es la viruta. Si se quita la misma cantidad de metal en un tiempo dado tomando virutas más largas significa que estas han de ser más finas. Quitar una viruta más larga y fina requiere menos esfuerzo que quitar la misma cantidad de metal con una viruta más corta y más gruesa. Por lo tanto la muela tendrá comportamiento más duro cuando se rectifica sacando virutas más largas de los diámetros mayores. Por esta causa conviene usar muelas más blandas para los diámetros mayores, más blandas aun para rectificar superficies planas, y todavía más blandas para el rectificado de interiores.

En cuanto a la estructura, debe ser abierta para las áreas de contacto grandes y cerrada para las pequeñas, en razón de que las virutas largas requieren mayor espacio para ser evacuadas, evitando el taponamiento de la muela.

El área de contacto depende de la forma de la superficie a rectificar y del diámetro de la muela. Se tendrá menor área de contacto en un rectificado cilíndrico exterior que en uno interior, mientras que el tamaño del área es intermedio en un rectificado plano. Un mayor diámetro de muela aumenta el área de contacto. A constancia de los diámetros de pieza, muela y tipo de rectificado, el área aumenta con la profundidad de pasada.

4.1. 4.- Naturaleza de la operación

Esta afecta solamente al tipo de aglomerante. En el rectificado de precisión, tanto exterior como interior o plano, se emplea aglomerante vitrificado. Para los acabados extrafinos, tales como los empleados para rodillos y bolas de rodamientos, resulta apropiado emplear aglomerantes orgánicos (resina, caucho, goma laca). El desbarbado o amolado de fundición, hecho generalmente con máquinas de baja velocidad, requiere, también de aglomerantes orgánicos. Para las muelas de tronzar se emplean también resinas, caucho o goma laca.

4. 2.- Factores variables

4.2.1.- Velocidad de la muela

Esta influye a su vez sobre el grado y el tipo de aglomerante. La forma de determinar el grado debe ser la siguiente: cuando mayor sea la velocidad periférica de la muela respecto a la pieza, más blanda debe ser la muela. Si por cualquier causa se reduce la velocidad de la muela, debe esperarse un comportamiento más blando por lo cual habrá un desgaste más rápido de la misma (excesivo desprendimiento de los granos). Ello puede evitarse usando una muela más dura (suponiendo que el grado era correcto para la velocidad inicial).

La influencia señalada, de la velocidad de la muela respecto a su grado se explica de la siguiente manera: según puede apreciarse en la figura 14, si se reduce la velocidad periférica V_m de la muela, aumenta el tiempo de permanencia de los granos en contacto, aumentando por ello el espesor máximo de la viruta $e_{m\acute{a}x}$. Debido a esto la fuerza sobre los granos es mayor y se favorece su desprendimiento de la muela.

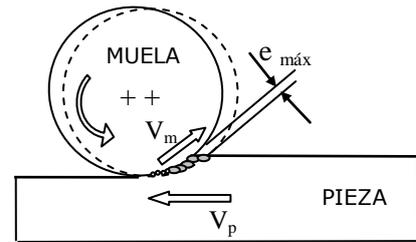


Figura 14

En cuanto al tipo de aglomerante, se recomienda el vitrificado cuando $V_m < 2000$ m/min mientras que para $V_m > 2000$ se aconsejan caucho, resinas y goma laca.

4.2.2.- Avance por vuelta o presión de rectificado

Cuanto mayor sea el avance, la muela deberá ser más dura. Ello se debe a que aumentando el avance aumenta también el espesor de viruta $e_{m\acute{a}x}$ y la muela tiende a comportarse más blandamente. Por el contrario, disminuyendo el avance disminuirá $e_{m\acute{a}x}$ y el comportamiento de la muela tiende a ser más duro, trayendo consecuencias no deseadas, como pérdida de capacidad de corte de la muela y “vitrificado” de la misma, daños en la pieza por sobrecalentamiento (quemado), tales como alabeos y muy pobre terminación.

En el rectificado cilíndrico, si se aumenta la velocidad periférica de la pieza dejando constante el avance por vuelta, se incrementa el desgaste de la muela (desprendimiento de granos capaces para continuar cortando), y por lo tanto se requiere un grado de dureza mayor.

4.2.3.- Estructura de la rectificadora

La conformación de la máquina, su rigidez estructural y su estado de funcionamiento afectan al grado de la muela.

Deficiencias en la rigidez, fundaciones poco firmes y holguras en los árboles rotantes, ocasionarán vibraciones y en general mayores exigencias sobre la muela, demandando de la misma un grado más elevado.

4.2.4.- Modo de actuar del operario

Si el operario actúa, en rectificadoras de avance manual, en condiciones variables de velocidad de avance, provocará un comportamiento variable en el desgaste de los granos, a tal punto que en el mismo trabajo y en el mismo taller pueden operarse costos de rectificado que oscilen hasta un 100%. El trabajo a destajo generalmente requiere muelas más duras que el trabajo jornalizado. Efectivamente, cuando trabaja a destajo, el operario tiende a aumentar la producción aumentando el avance, provocando un comportamiento blando de la muela. En el trabajo jornalizado, si no hay incentivo económico, el operario da preferencia a la calidad, el avance es menor y el comportamiento de la muela es más duro, requiriendo por ello una muela más blanda.

5.- Velocidades recomendadas para las muelas

La velocidad periférica de la muela en [m/min] tiene una gran influencia sobre su comportamiento en el rectificado. Según ya se ha visto, si la velocidad de la muela es muy baja, esta tendrá comportamiento blando y perderá granos muy rápidamente, mientras que si es muy alta puede producirse una acción dura de rectificado, con “vitrificado” y riesgo de rotura. Conviene que la velocidad periférica sea cercana a la recomendada por el fabricante. En la tabla 2 se dan los rangos de velocidades recomendadas para muelas, en distintas clases de rectificado:

Tabla 2. Velocidad periférica de la muela

CLASE DE RECTIFICADO	VELOCIDAD DE LA MUELA [M/MIN]
Rectificado de herramientas y cuchillas	1350–1800
“ “ exteriores y cilíndrico	1650–1950
“ “ interiores y “	600–1800
“ “ superficies planas	1200–1800
“ húmedo de herramientas	1500–1800
Muelas de tronzar de caucho, resina y goma laca	2700– 4800 (x)

(x) Usar las velocidades más altas del rango, solamente cuando los cojinetes, la rigidez de la máquina y los dispositivos de protección se encuentran en condiciones adecuadas.

La muela está sometida a una fuerza centrífuga creciente con la velocidad de rotación. Si esa fuerza supera la resistencia de la muela, proviene la rotura de la misma. En las etiquetas de las muelas constan los valores de la velocidad máxima admisible y la velocidad de prueba, datos que suministra el fabricante. La primera de estas velocidades es 50 % superior a la última.

6.- Clases de rectificado

De acuerdo a la forma de la superficie a rectificar y su ubicación, las operaciones de rectificado mas comunes pueden ser clasificadas en los tipos que se citan en la figura 15:

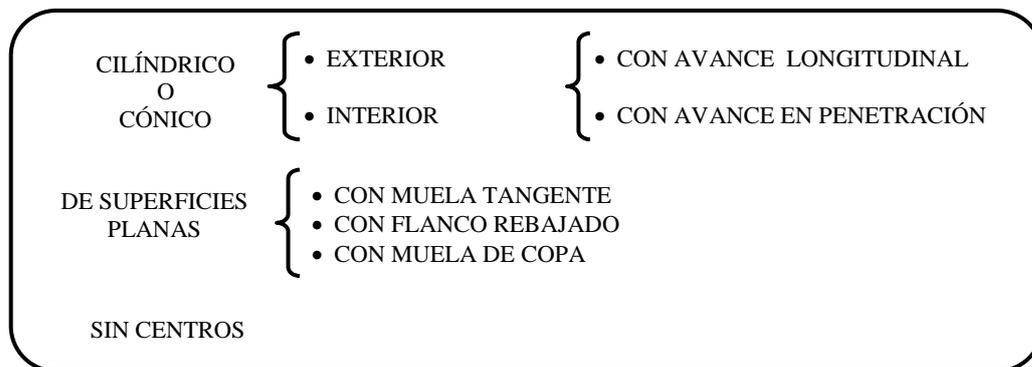


Figura 15

6. 1.- Rectificado cilíndrico y cónico de exteriores con avance longitudinal (figura 16)

Se efectúan varias pasadas de pequeña profundidad, con avances intermitentes de penetración en cada una. Si el espesor a quitar no pasa de 0,20 a 0,25 mm se coloca la muela en una posición radial fija y se da una única pasada, rectificándose todas las piezas de un lote en la misma posición salvo las correcciones necesarias para compensar el desgaste de la muela. La figura 16 muestra el rectificado cilíndrico exterior. En el rectificado cónico, la mesa portapieza debe inclinarse con respecto al eje de la muela en el valor del semiángulo del cono.

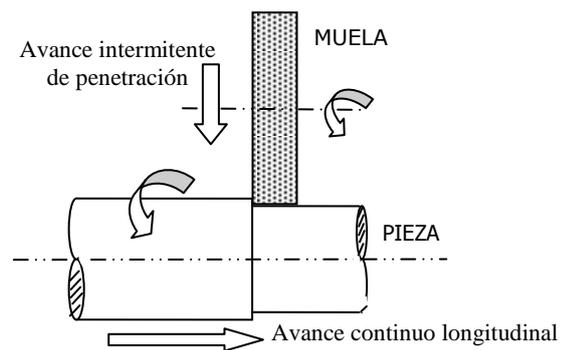


Figura 16

6. 2.- Rectificado cilíndrico y cónico de interiores con avance longitudinal (Figura 17)

Lo mismo que para el caso anterior, también se efectúan varias pasadas de pequeña profundidad, con avances intermitentes de penetración en cada una. La figura 17 muestra el rectificado cilíndrico interior. En el rectificado interior cónico, la mesa portapieza también debe inclinarse con respecto al eje de la muela en el valor del semiángulo del cono. Valen aquí las restantes consideraciones hechas para el rectificado exterior.

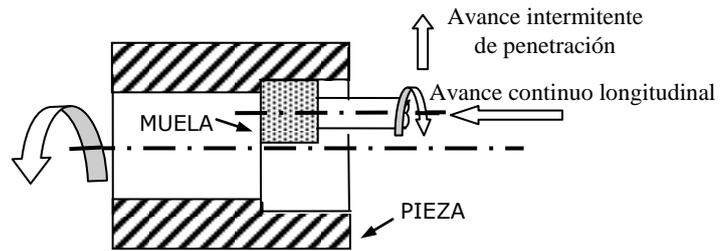


Figura 17

6. 3.- Rectificado cilíndrico exterior c/avance de penetración (figuras 18 y 19)

En esta clase de rectificado tiene lugar un avance continuo de penetración de la muela, mientras que la pieza no tiene ningún desplazamiento de avance. La muela trabaja como herramienta giratoria de forma. El perfil de la sección meridiana de la muela se confunde con el perfil que se obtiene en la pieza, siendo entonces el rectificado cilíndrico solo un caso particular que resulta cuando la muela tiene la cara cilíndrica.

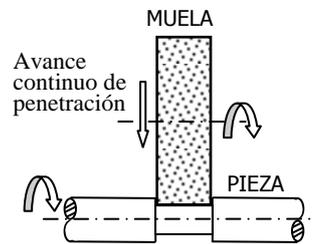


Figura 18

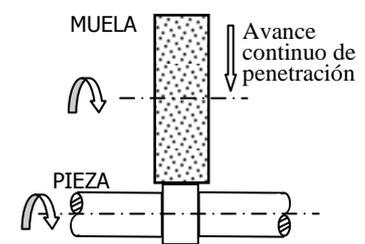


Figura 19

Si la dimensión axial de la muela es menor que la de la pieza, la operación resultante es una entalla (figura 18). Si por el contrario, la longitud de la muela (espesor) es mayor que la pieza, se obtiene un cilindrado con libre entrada y salida (figura 19).

6. 4.- Rectificado cilíndrico interior c/avance de penetración

También para esta clase de rectificado se aplican las mismas consideraciones hechas para el caso anterior (figuras 20 y 21)

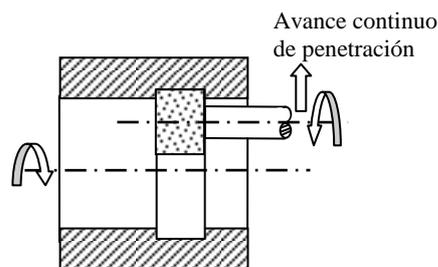


Figura 20

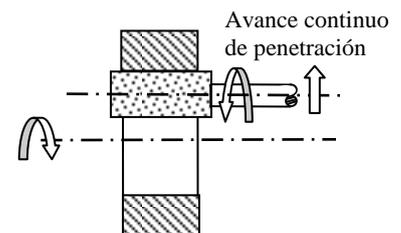


Figura 21

6. 5.- Rectificado de superficies planas con muela tangente

Para rectificar una superficie plana (**a.b**) con muela tangente deben combinarse un avance transversal continuo y otro lateral intermitente, completándose toda el área mediante franjas (**a₁**, **b**) hasta cubrir todo el ancho (**a**) como puede apreciarse en la figura 22.

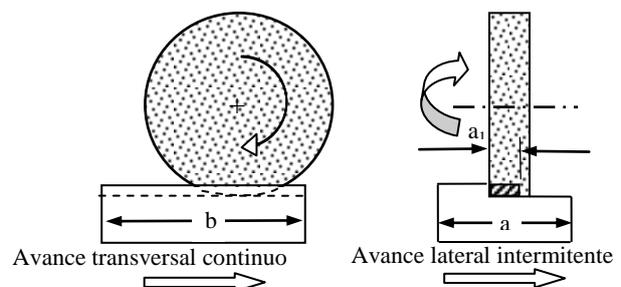


Figura 22

Cuando la superficie plana está limitada, como en el caso de un fondo de ranura cuyo ancho es igual al espesor de la muela, solo se utiliza el avance transversal continuo y el avance intermitente de profundidad, no habiendo aquí avance lateral (figura 23)

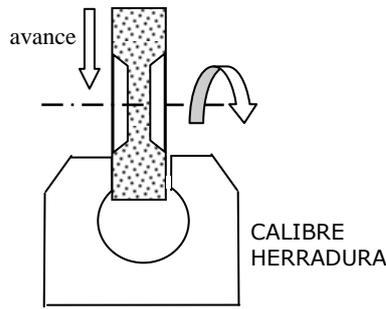


Figura 24

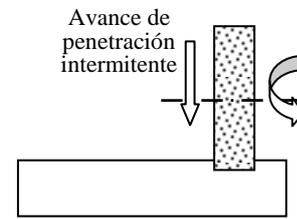
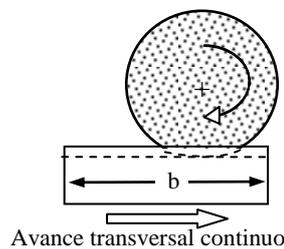


Figura 23

6. 6.- Rectificado plano con muela de flanco rebajado

Se ejemplifica esta operación en la figura 24, que se muestra el rectificado de las caras de un calibre herradura. Generalmente este tipo de rectificado se aplica para superficies planas pequeñas o al menos cuando una de las dimensiones así lo es en el plano. Para cualquiera de estas situaciones solo será necesario utilizar una sola dirección de avance.

6. 7.- Rectificado plano con muela de copa (Figura 25)

En el rectificado de planos con muela de copa, la muela trabaja frontalmente. Si la menor de las dimensiones del plano es inferior al diámetro de la muela, solo son necesarios el avance transversal continuo y el de profundidad intermitente. En caso contrario habrá que efectuar varias pasadas a una profundidad fija, aplicando el avance lateral intermitente.

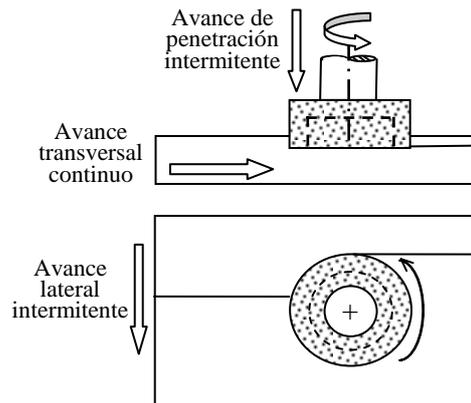


Figura 25

6. 8.- Rectificado sin centros

Tal como se la designa, esta clase de rectificado no requiere que la pieza tenga centros en sus extremos, pues no es rectificada entre puntos, sino que se encuentra soportada entre dos muelas y una regla en posiciones de continua flotación como se indica en la figura 26.

La muela operadora A, cuyo diámetro es de 400 a 600 mm gira a una velocidad periférica entre 1200 a 1900 m/min, mientras que la muela de regulación B, de 100 a 250 mm de diámetro gira entre 10 y 50 m/min de velocidad periférica, siendo el espesor ambas cercano a 100mm.

La pieza D gira por arrastre entre ambas muelas y es soportada inferiormente por la regla C de fundición de hierro, que puede regularse en altura de acuerdo al diámetro de la pieza.

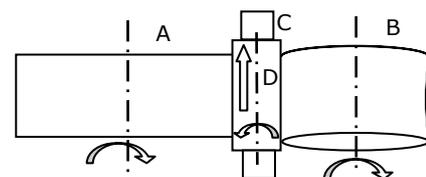
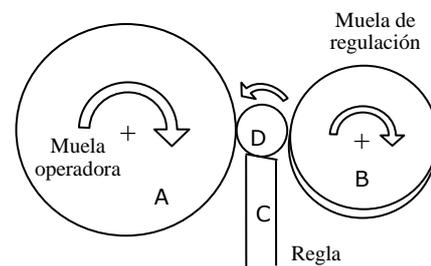


Figura 26

muela operadora.

Para asegurar un mejor contacto entre la muela de regulación y la pieza, la primera tiene un perfil ligeramente cóncavo.

Algunas características ventajosas del rectificado sin centros son las siguientes:

1. Alimentación de piezas más continua, pudiendo cargarse en la máquina una pieza antes de concluir el rectificado de la anterior. Se puede adaptar un sistema cargador automático.
2. Debido a la forma de estar soportada, la pieza no flexiona bajo la acción de corte.
3. Al no estar montada entre puntos, la pieza no está sometida a compresión, por lo cual no hay posibilidades de pandeo.
4. Los errores en la colocación y ajuste por desgaste de la muela se reducen a la mitad, porque el material quitado se mide en el diámetro y no en el radio.
5. Al no haber avances automáticos materializados por carros deslizantes u otros dispositivos móviles, en las rectificadoras sin centros existen menos superficies y piezas sometidas a desgaste, lo cual redundará en un mantenimiento más simple.

Aplicaciones del rectificado sin centros

El rectificado sin centros se emplea para piezas cilíndricas, cortas y de diámetro pequeño, lo cual complicaría el montaje entre puntos por la cercanía de los mismos y por el menor espacio disponible para movimientos. Las piezas esbeltas también se rectifican ventajosamente sin centros porque no están sometidas a flexión.

Algunos ejemplos de piezas clásicas en esta clase de rectificado son: pernos, rodillos, casquillos, anillos, ejes, etc.

También pueden rectificarse sin centros, superficies interiores (ver “Máquinas rectificadoras”). Eligiendo la muela adecuada, es posible rectificar todos los materiales.

7.- Velocidad de la pieza

Cualquiera que sea la clase de rectificado, si la velocidad de la pieza es demasiado rápida no mejora el rendimiento de la operación sino que se desgasta más la muela y puede causarse daño a la pieza. La relación entre las velocidades de la muela y de la pieza gobierna la fuerza actuante sobre los granos. Cabe aclarar que la velocidad periférica de la pieza en el rectificado cilíndrico es equivalente al avance transversal continuo de la pieza en el rectificado plano con muela tangente.

El equilibrio entre ambas velocidades debe ser tal que se produzca automáticamente el reafilado sin pérdida acelerada del abrasivo.

Debe procederse de la siguiente manera:

1. Si se está desgastando muy rápido la muela (actúa muy blandamente) debe disminuirse la velocidad de la pieza, o si conviene, aumentar la de la muela.
2. Si la muela actúa duramente (se vitrifica, y se calienta la pieza) debe aumentarse la velocidad de la pieza, o disminuirse la de la muela según convenga.

En la tabla 3 se dan valores orientativos:

Tabla 3.- Velocidad periférica de la pieza [m/min]

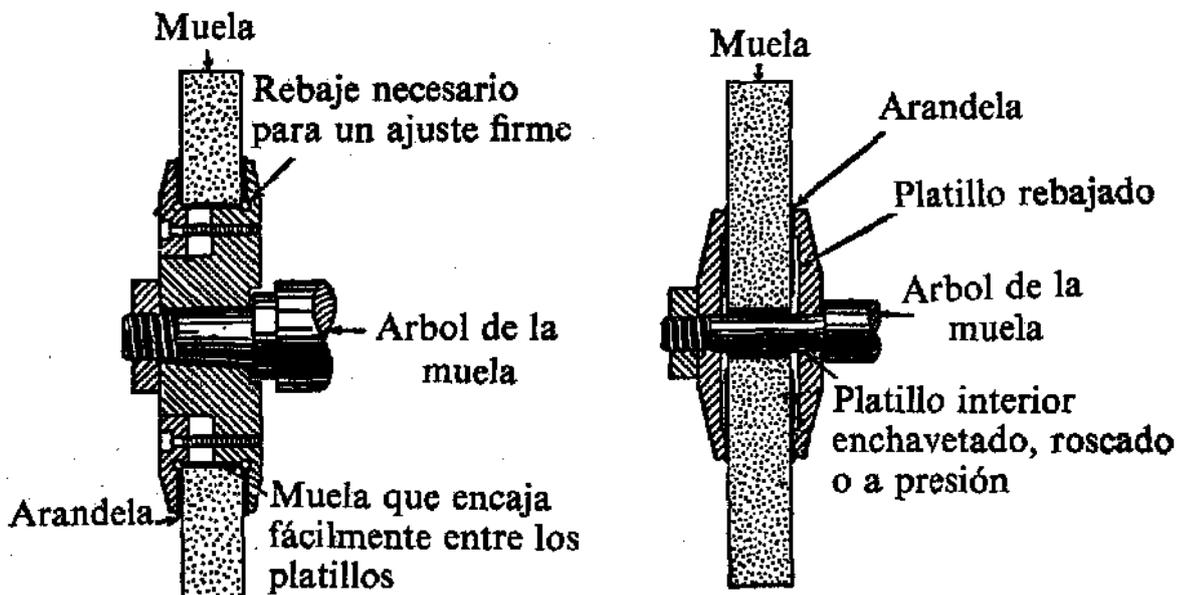
Operación	Acero blando	Acero templado	Fundición de hierro	Bronce
Desbaste	15	7,5	12	18
Acabado	23	12	18	23

8.- Montaje de las muelas

Deben tomarse ciertas precauciones en el empleo de las muelas puesto que de lo contrario se corren riesgos graves como la rotura de las mismas en funcionamiento. Las recomendaciones que se señalan a continuación tienden a ello.

- 1.- Verifíquese en inspección visual, la ausencia de grietas en la muela. Golpéese para detectar fisuras por el sonido (este debe ser nítido, claro).
- 2.- El casquillo no debe estar flojo ni sobresalir más allá del plano de los flancos
- 3.- El casquillo debe correr libremente sin atascarse sobre el eje con un juego de entre 0,1 y 0,2 mm. De atascarse, el casquillo debe ser escariado.
- 4.- Los platillos de ambos lados deben ser de igual diámetro y con rebaje en el centro, para que el apoyo se produzca sobre la parte mayor del diámetro.
- 5.- Los platillos no deben hacer contacto con la muela sino a través de una arandela de diámetro mayor que ellos (etiquetas protectoras). Las etiquetas protectoras deben ser preferentemente de papel tipo secante y de espesor no mayor de 0,6 mm. Aseguran una distribución uniforme de la presión de ajuste y permiten compensar defectos superficiales de los flancos de la muela. Deben evitarse los dobleces de las etiquetas en las zonas de contacto. A menudo las huellas que quedan sobre las etiquetas ayudan a detectar fallas en el montaje y permiten su corrección.
- 6.- Toda muela, nueva o usada, al ser montada debe dejarse girar al menos un minuto y luego proceder al equilibrado, que consiste en repasarla con una herramienta de repasar apropiada, para que sean eliminadas las excentricidades propias de la muela o del montaje.

Todas las recomendaciones de montaje sirvan tanto para las muelas de agujero central pequeño como de agujero grande. Las figuras 27 y 28 muestran los detalles de montaje para ambos tipos de muela.



Figuras 27 y 28

9.- Causas de inexactitud o mal acabado de piezas

Cuando la muela es tan blanda que no mantiene su forma y dimensiones durante toda la duración del rectificado de una pieza, se obtienen superficies defectuosas. Esto ocasiona rechazos tanto en rectificados cilíndricos, como planos o de forma.

Sin embargo es más frecuente el rechazo por el calentamiento y consecuente alabeo de las piezas debido a una muela muy dura, embotada (desafilada) o cargada de virutas. Una muela desequilibrada también produce marcas y ondulaciones sobre la pieza. Debe mantenerse la muela limpia, con su forma correcta y bien afilada.

10.- Causas del desgaste rápido de la muela

- 1.- Muela demasiado blanda
- 2.- Cara de la muela demasiado estrecha
- 3.- Velocidad de la muela demasiado lenta
- 4.- Velocidad de la pieza demasiado rápida
- 5.- Agujeros o muescas en la pieza

11.- Causas del vitrificado de la muela

- 1.- Muela demasiado dura
- 2.- Grano demasiado fino
- 3.- Velocidad de la muela demasiado rápida
- 4.- Velocidad de la pieza demasiado lenta
- 5.- Muela cargada de virutas

12.- Causas que producen la carga de la muela

En el rectificado de materiales blandos: aluminio, latón, bronce y aceros muy blandos, las muelas tienden a cargarse con virutas en los espacios entre los granos, tal como se carga una lima. Esto se produce sobre todo cuando la estructura es muy densa, la muela es muy dura o la pieza gira o se desplaza muy lentamente.

La solución se encuentra adoptando una o más de las siguientes alternativas:

- Elegir una muela más blanda
- Elegir una estructura más abierta
- Aumentar la velocidad de la pieza
- Disminuir la profundidad de corte
- Si la anchura del corte es la causa del patinado de la correa de conducción de la pieza, debe reducirse el avance de la mesa (en el rectificado cilíndrico)

Bibliografía

- H.Burghardt, A.Axelrod, J.Anderson, “Manejo de las Máquinas-Herramientas”, Parte 2, Ed. McGraw Hill
- Metals Handbook, “Machining”, Volumen 16, Ninth Edition, ASM International.
- Society of Manufacturing Engineers, “Tool and Manufacturing Engineers Handbook”, Desk edition.
- M. Rossi, “Máquinas-Herramientas modernas”, Ed. Hoepli.
- J. Capotorto, “Abrasión y Rectificado”, Ed. Adirox, Buenos Aires.