

TEMA 6

DESGASTE Y VIDA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

Mecanismos de desgaste de las herramientas de corte.

La duración de las herramientas de corte es un factor económico muy importante en las operaciones de mecanizado. La pérdida de capacidad de corte puede producirse de dos maneras:

- Progresivamente, debido al fenómeno de desgaste
- Instantáneamente, por desmoronamiento o fallo catastrófico.

A su vez, la naturaleza fundamental del desgaste puede ser muy diferente en distintas situaciones; en el caso de las herramientas de corte caben considerarse tres mecanismos de desgaste:

- Desgaste por adhesión
- Desgaste por abrasión
- Desgaste por difusión.

El *desgaste por adhesión* tiene lugar al romperse las microsoldaduras existentes entre el material de la viruta y el de la herramienta. Cuando estas uniones se fracturan, pequeños fragmentos del material de la herramienta son arrancados y arrastrados por la viruta. El rozamiento existente entre la cara de incidencia y la superficie mecanizada también da lugar a desgaste por adhesión, pasando los pequeños fragmentos del material de la herramienta a la superficie mecanizada de la pieza.

El *desgaste por abrasión* ocurre cuando partículas de la viruta, endurecidas por deformación, deslizan por la cara de desprendimiento de la herramienta eliminando pequeñas cantidades del material de la herramienta. Estas partículas endurecidas pueden ser fragmentos de filo recreado inestable, fragmentos de material de la herramienta arrastrados por la viruta y debidos a un previo desgaste por adhesión o pueden ser constituyentes duros del material de la pieza.

La difusión en estado sólido tiene lugar cuando átomos de una red cristalina de una región de alta concentración, se desplazan, en presencia de altas temperaturas, a otra región de concentración atómica más baja. Es un fenómeno a nivel atómico, a diferencia de la adhesión que es de carácter macroscópico. Este fenómeno tiene lugar en aquellas zonas en las que hay un contacto íntimo entre dos materiales y su intensidad aumenta exponencialmente con la temperatura. En el corte, esto se traduce en un debilitamiento de la estructura superficial del material de la herramienta y es denominado *desgaste por difusión*.

Zonas de desgaste en la herramienta de corte.

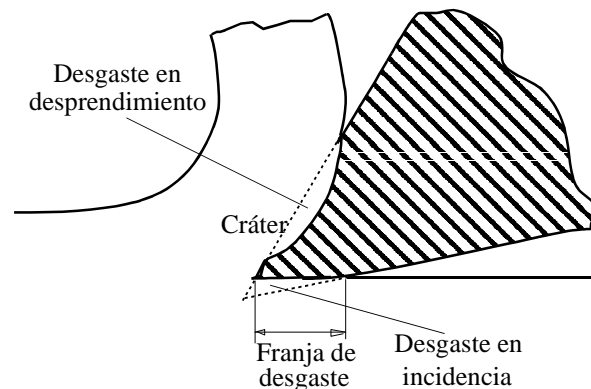
El desgaste de la herramienta de corte tiene lugar, principalmente, en las dos zonas siguientes:

- Cara de incidencia (denominado *desgaste en incidencia*)
- Cara de desprendimiento (denominado *desgaste en desprendimiento*).

En algunas operaciones de mecanizado, entre ellas algunas de torneado, hay una tercera zona de desgaste en la cara de incidencia secundaria, cuyo tratamiento es similar al del desgaste en la cara de incidencia principal, y por ellos aquí no va a ser considerado explícitamente.

El desgaste en incidencia es ocasionado por el rozamiento existente entre la superficie mecanizada y la cara de incidencia de la herramienta, provocando una zona o *franja de desgaste* que es paralela a la dirección de corte.

El desgaste en desprendimiento tiene lugar en la zona de contacto de la viruta con la cara de desprendimiento de la herramienta y tiende a ajustarse a la forma de la viruta, denominándose *cráter* a la zona desgastada. La parte de la cara de desprendimiento más próxima al filo experimenta un menor desgaste.



Desmoronamiento o fallo catastrófico.

El desmoronamiento o *fallo catastrófico* consiste en un rápido deterioro de la arista de corte después de un período de corte bien ejecutado. Suele venir motivado por la acción combinada de los esfuerzos de corte y un incremento de la temperatura. No debe confundirse con la *rotura o fallo prematuro* de la herramienta originado por algún defecto de la misma o por algún incidente externo al proceso de formación de la viruta.

El fallo catastrófico resulta mucho más peligroso que el desgaste gradual por cuanto no existe un paulatino incremento del valor de la potencia de corte que sugiera el progresivo deterioro de la herramienta.

Duración o vida de la herramienta.

La duración o vida de la herramienta es un factor económico, que supone el deterioro de la calidad del mecanizado debido a la pérdida gradual de material, con la consiguiente variación de la geometría de la herramienta, y posteriormente la pérdida de la capacidad de corte

Los estudios e investigaciones experimentales sobre el corte de metales se han dirigido tanto al fenómeno de la formación de viruta, como a la elección de las condiciones adecuadas

para una larga duración de la vida de la herramienta, a fin de conseguir una situación de compromiso entre una velocidad de desgaste baja y un tiempo de producción económicamente aceptable. El problema de la optimización de las condiciones de corte se basa en el conocimiento de ciertos parámetros, entre los que destaca el desgaste de la herramienta.

La norma **UNE 16-148-85**, que se corresponde con la **ISO 3685-1977**, dedicada a los ensayos de duración de herramientas de torno de corte único, adopta las siguientes definiciones y convenios:

- *Desgaste de la herramienta*: modificación de la geometría de corte de la herramienta, con relación a su geometría original, que tiene lugar durante el corte y que es debida a la pérdida progresiva del material de la herramienta.

- *Medida del desgaste de la herramienta*: dimensión medible que permite cuantificar el valor del desgaste

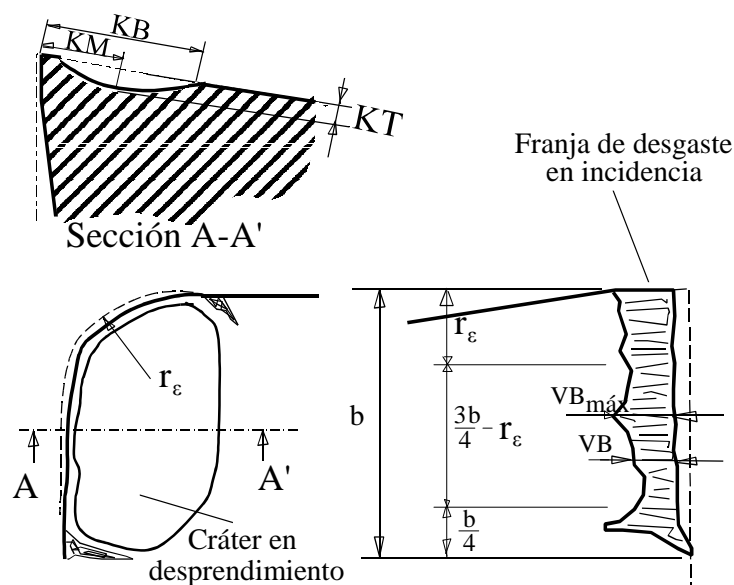
- *Criterio de duración de la herramienta*: valor límite preestablecido en la medida del desgaste de la herramienta, o la aparición de un determinado fenómeno o circunstancia. Suele también denominarse *criterio de desgaste*.

- *Duración o vida de la herramienta*: tiempo de corte, para unas condiciones de mecanizado dadas, necesario para alcanzar un criterio de duración de la herramienta.

En el apartado anterior se han expuesto, brevemente, los mecanismos de desgaste y las zonas de desgaste en las herramientas de corte, ahora se desarrollarán los distintos aspectos relacionados con las tres últimas definiciones dadas.

Medida del desgaste de la herramienta.

Como parámetros para la medida del desgaste en incidencia se tienen el *ancho medio de la zona de desgaste* VB y el *ancho máximo* de dicha zona $VB_{m\acute{a}x}$. Debe advertirse que estos parámetros han de ser medidos en la zona media del filo de corte tal como se muestra en la figura.



Para evaluar el desgaste en la cara de desprendimiento de la herramienta se emplea la

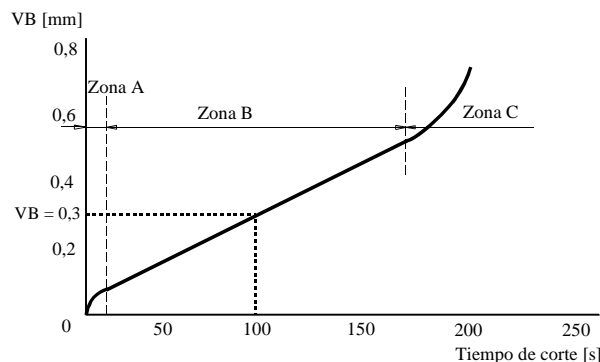
profundidad del cráter KT , que es la distancia máxima entre el fondo del cráter y la cara de desprendimiento inicial de la herramienta, y por las cotas KB y KM , que determinan su posición respecto al filo de corte.

Cuando las herramientas son usadas con criterios de duración económica, el desgaste en incidencia es el factor de control, dominando el desgaste en desprendimiento sólo a muy altas velocidades de corte.

Criterios de desgaste o de duración de la herramienta.

La evolución del desgaste es progresiva; en el caso del desgaste en incidencia se tiene una ley tal como la representada en la figura adjunta.

Puede apreciarse la existencia de tres zonas de comportamiento diferente.



- Zona A: al principio de su utilización, el filo se deteriora rápidamente apareciendo una franja de desgaste de dimensiones finitas.
- Zona B: superada la zona A, el desgaste en incidencia progresa más lentamente siguiendo una ley aproximadamente lineal.
- Zona C: el desgaste aumenta muy rápidamente hasta la inutilización total de la herramienta.

Convendrá por tanto fijar un criterio de duración de la herramienta que prevea su sustitución o reafilado antes de entrar en la zona C; y ya que la medida del desgaste en incidencia se efectúa a partir del ancho medio de la zona de desgaste, bastará con fijar un valor límite para VB (por ejemplo $VB \# 0,3$ mm) para el establecimiento de un cierto criterio de duración de la herramienta.

Los principales criterios de desgaste de las herramientas de corte se establecen en función de los fenómenos que a continuación se indican:

- Anchura media de la franja de desgaste en incidencia VB .
- Anchura máxima de la franja de desgaste en incidencia $VB_{m\acute{a}x}$.
- Profundidad del cráter de la cara de desprendimiento KT .
- Desmoronamiento o fallo catastrófico de la arista de corte.
- Valor de la rugosidad de la superficie mecanizada.
- Aparición de grietas en la arista de corte.
- Volumen o peso de la herramienta desgastada.
- Empeoramiento de las características macrogeométricas de la pieza.

- Incremento de las fuerzas de corte o de la potencia.

De ellos los más utilizados, en relación con operaciones de corte convencionales, son los cinco primeros. En ocasiones se emplean conjuntamente dos o más criterios de desgaste.

A continuación se van a indicar los criterios recomendados por la norma **UNE 16-143** para operaciones de torneado con herramienta monofilos.

⌋ Criterios usuales para herramientas de acero rápido:

- Desmoronamiento o fallo catastrófico.
- Anchura media del desgaste sobre la cara de incidencia principal $VB=0,3$ mm, si el desgaste es uniforme en la zona media de la franja de desgaste.
- Anchura máxima del desgaste sobre la cara de incidencia principal $VB_{m\acute{a}x}=0,6$ mm, si el desgaste es irregular, existe rayado, desconchado o mal estado superficial en la zona media de la franja de desgaste.

⌋ Criterios usuales para herramientas de metal duro:

- Anchura media del desgaste $VB=0,3$ mm, si el desgaste es uniforme.
- Anchura máxima del desgaste $VB_{m\acute{a}x}=0,6$ mm, si el desgaste es irregular.
- Profundidad del cráter dado por la expresión: $KT(mm)=0,06+0,03a$ siendo **a** el avance en mm/rev.

⌋ Criterios usuales para herramientas de cerámica:

- Anchura media del desgaste $VB=0,3$ mm, si el desgaste es uniforme.
- Anchura máxima del desgaste $VB_{m\acute{a}x}=0,6$ mm, si el desgaste es irregular.
- Desmoronamiento o fallo catastrófico.

⌋ Criterio usual para el torneado en acabado:

Que la rugosidad superficial alcance un valor determinado; se recomienda para el valor del criterio de desgaste alguno de los siguientes valores de R_a en μm : 0,4 - 0,8 - 1,6 - 3,2 - 6,3 - 12,5.

Duración o vida de la herramienta.

En su definición se ha considerado como duración o vida de una herramienta al *tiempo de corte* o tiempo en el que la herramienta está arrancando material; sin embargo, el valor de la duración de la herramienta puede interesar expresarse en otras unidades. Las unidades de vida de herramienta más empleadas son:

- *Tiempo de corte*, de interés en la Oficina de Métodos y Tiempos.
- *Tiempo total por componente* o *tiempo de la pieza en la máquina-herramienta*, de interés para el Servicio de Mantenimiento.
- *Volumen de material arrancado*, de interés científico y en investigación.
- *Cantidad de piezas producidas*, de interés para el operario y para el cálculo de los costes de mecanizado.
- *Velocidad de corte equivalente*, para la confección de catálogos y comparación de herramientas.

- *Velocidad de corte relativa* o *maquinabilidad relativa*, para comparación de las prestaciones de las herramientas.

Ecuaciones de vida de la herramienta.

Se denominan ecuaciones de duración o de vida de la herramienta a expresiones matemáticas que relacionan la duración de la herramienta con uno o varios parámetros del proceso de mecanizado.

La elección del valor de la velocidad de corte es un parámetro esencial en todo proceso de mecanizado, porque de ella depende tanto la duración de la herramienta, como el nivel de producción y el grado de acabado superficial.

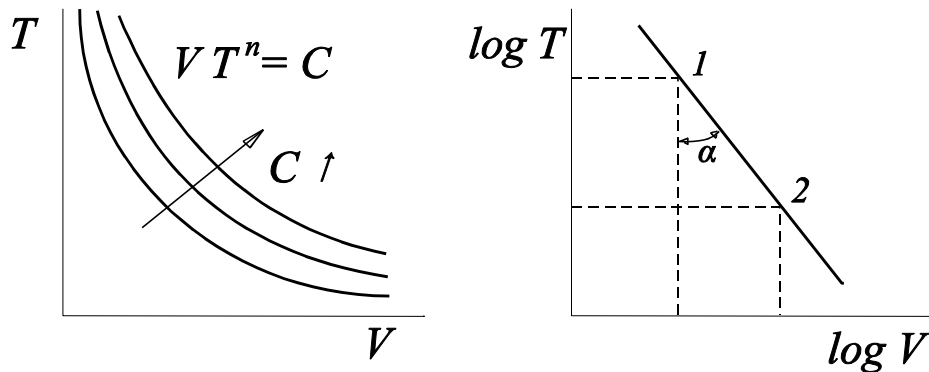
Como ya se ha visto anteriormente, Taylor realizó ensayos considerando como criterio de duración el desmoronamiento del filo de la herramienta, variando la velocidad y manteniendo constante los demás parámetros. Los resultados de los ensayos de Taylor condujeron a pares de valores *velocidad de corte-vida de la herramienta*, ajustables a una curva potencial en coordenadas cartesianas o a una recta en coordenadas doblemente logarítmicas. Su forma es:

$$v T^n = C$$

o también:

$$\log v + n \log T = \log C$$

Donde v es la velocidad de corte, en m/min; T la duración de la herramienta en minutos; n es un factor que depende del material de la herramienta; y C es una constante que expresa la velocidad de corte para una duración unitaria de la herramienta, viniendo referido para cada geometría de herramienta, relación de forma b/h y tipo de mecanizado, siendo un indicador de la maquinabilidad del material de la pieza bajo las condiciones de mecanizado de los ensayos.



El exponente n expresa la pendiente de la recta $\log v / \log T$, y conociendo dos pares de valores (v_1, T_1) y (v_2, T_2) puede determinarse como:

$$n = \frac{\log v_2 - \log v_1}{\log T_1 - \log T_2}$$

Valores normales del exponente n para distintos materiales de herramientas son:

acero rápido	$n=0.15$
metal duro	$n=0.30$
cerámica de corte	$n=0.70$

Tal y como se dijo esta ecuación no resulta totalmente acorde en el caso de mecanizado

de materiales de alta resistencia, sobre todo cuando $T > 60$ o en el caso de fuertes desbastes. En estos casos se recurre a la **Primera generalización de la ley de Taylor** donde se considera la ecuación en la forma

$$T = \left(\frac{C}{v} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Y se incluyen parámetros no considerados como el avance y la profundidad de pasada, se podría expresar de forma generalizada una constante como:

$$C = \left(\frac{k_1}{a^{n_1} p^{n_2}} \right)^n$$

esto es, que C es función del avance y de la profundidad de pasada; por ello en el caso en que únicamente se varíe la velocidad de corte, a y p son constantes y por tanto también lo será C .

Por lo que se tendrá como primera generalización de la ley de Taylor a:

$$T = \frac{k_1}{v^n a^{n_1} p^{n_2}}$$

En esta expresión generalizada de Taylor se suele trabajar con avances en mm/rev, profundidades de pasada en mm, velocidades de corte en m/min y vida de la herramienta en minutos.

Entre las constantes exponencialmente de esta generalización de la ecuación de Taylor se tienen las siguientes relaciones de desigualdad:

$$\frac{1}{n} > \frac{1}{n_1} > \frac{1}{n_2} > 0$$

La validez de esta ecuación resulta más discutible que la ecuación básica de Taylor, sin embargo resulta de gran utilidad para el estudio de la influencia del avance y de la profundidad de pasada en la duración de las herramientas de corte.

Segunda generalización de la ley de Taylor.

Autores como O. Kienzle, H. Victor, B. T Chao y G. H. Bisacre estudiaron posteriormente la influencia sobre la constante C de los factores no considerados en la ecuación de Taylor. Los nuevos factores examinados fueron:

- Ancho de la franja de desgaste en incidencia, VB en mm.
- Espesor de viruta indeformada, h_1 en mm.
- Anchura de corte, b en mm.

Generalizando el valor de la constante como:

$$C = \frac{C_{VB} VB^m}{h_1^x b^y}$$

Donde C_{VB} es la velocidad de corte en m/min para una duración de herramienta igual a

un minuto, un desgaste VB de 1 mm y con b y h unitarios.

Si se sustituye el valor de la constante C en la expresión básica de la ley de Taylor, ésta adoptará la forma:

$$v T^n = \frac{C_{VB} VB^m}{h_1^x b^y}$$

Teniendo en cuenta la relación existente entre la anchura de corte, el ángulo de posición del filo de la herramienta y la profundidad de pasada, por una parte, y entre el espesor de la viruta indeformada y el avance, por otra:

$$h_1' = a \operatorname{sen} \chi$$

$$b' = \frac{P}{\operatorname{sen} \chi}$$

la ecuación anterior se convierte en:

$$v T^n = \frac{C_{VB} VB^m}{a^x P^y (\operatorname{sen} \chi)^{x+y} T^n}$$

Existen datos tabulados que permiten determinar el valor de C_{VB} y de las constantes de potenciación m , n , x e y , de acuerdo con el ángulo de posición del filo, el material de la pieza y el tipo de herramienta.

Material	Hta. ISO	C_{VB} [m/min]			x	n	m
		$\chi = 90^\circ$	$\chi = 70^\circ$	$\chi = 45^\circ$			
C 15	P 10	492	592	615	0.24	0.25	0.42
	P 20	334	405	422	0.26	0.25	0.50
	P 30	199	240	248	0.26	0.25	0.42
St 42 - C 22	P 01.3	776	833	883	0.40	0.26	0.48
	P 01.4	944	997	1039	0.24	0.26	0.47
	P 10	493	595	618	0.25	0.26	0.45
	P 20	342	412	428	0.25	0.25	0.45
	P 30	222	268	280	0.27	0.26	0.47
	P 40	236	254	275	0.32	0.30	0.43
	P 50	179	191	207	0.37	0.30	0.44
	M 10	965	986	1020	0.15	0.35	0.47
M 30	416	439	462	0.20	0.28	0.42	
St 50 - C 35	P 01.3	731	783	830	0.40	0.30	0.47
	P 01.4	964	1019	1033	0.24	0.30	0.47
	M 10	657	670	698	0.16	0.34	0.47
	M 30	404	426	449	0.21	0.30	0.48
	P 40	207	221	240	0.34	0.30	0.46
	P 50	170	182	194	0.37	0.30	0.47
C 35	P 10	384	462	479	0.29	0.30	0.47
	P 20	312	374	390	0.29	0.30	0.47
	P 30	227	270	282	0.29	0.29	0.46

St 60 - C 45	P 01.3	572	615	650	0.38	0.26	0.47
	P 01.4	786	628	870	0.22	0.26	0.47
	M 10	610	620	647	0.15	0.35	0.47
	M 30	333	395	415	0.19	0.29	0.47
	P 40	185	196	213	0.35	0.30	0.47
	P 50	136	147	157	0.40	0.29	0.48
C 45	P 10	277	334	347	0.30	0.22	0.44
	P 20	259	313	324	0.29	0.25	0.45
	P 30	181	221	227	0.29	0.26	0.45
C 60	P 01.3	497	530	565	0.41	0.26	0.47
	P 01.4	996	1051	1095	0.08	0.30	0.47
	M 10	541	553	575	0.15	0.34	0.47
	M 30	326	343	361	0.21	0.29	0.48
	P 40	169	183	198	0.33	0.30	0.47
	P 50	138	151	156	0.31	0.29	0.47
	P 10	247	330	309	0.26	0.25	0.39
	P 20	211	254	264	0.32	0.30	0.40
	P 30	136	164	171	0.28	0.30	0.40
16 Mn Cr 5	P 10	385	497	516	0.22	0.30	0.58
	P 20	310	388	415	0.22	0.30	0.50
	P 30	144	186	193	0.24	0.19	0.42
20 Mn Cr 5	P 10	380	486	506	0.25	0.31	0.42
	P 20	320	409	425	0.23	0.32	0.48
	P 30	135	172	179	0.25	0.20	0.35
25 Cr Mo 4	P 20	310	424	442	0.34	0.25	0.48
	P 30	272	371	386	0.30	0.27	0.47

Adoptándose un valor de $y \cdot 0,1$ en todos los casos, por ser despreciable la influencia de la profundidad de pasada.

De tablas como éstas se pueden inferir las siguientes conclusiones:

- La influencia predominante deriva del ancho del labio de desgaste admitido en la cara de incidencia ($m=0,40...0,48$). De ahí se puede deducir que la duración aumenta un poco más que proporcionalmente al cuadrado del desgaste admitido.
- La influencia de la duración sobre la velocidad de corte depende del exponente n de Taylor, que para cualquier tipo de metal duro tiene un valor no muy distinto de 0,30. De ahí se puede deducir que la duración disminuye un poco más que proporcionalmente al cubo de la velocidad.
- La influencia del avance no se corresponde con una ley muy clara: el exponente x varía entre 0,25 y 0,. La velocidad correspondiente a una duración determinada disminuye al aumentar el avance; esta reducción corresponde casi a la raíz cúbica del avance, variando entre la raíz cuarta y la raíz cuadrada.
- La influencia de la profundidad de pasada es despreciable ($y \cdot 0,1$).
- Los coeficientes C_{VB} , que representan la velocidad para duraciones de 1 minuto, en las condiciones de referencia unitarias, aumentan al disminuir el ángulo de posición del filo de la herramienta.

Micheletti recomienda esta última expresión para la preparación del trabajo en ordenador, al reducir al mínimo los datos de los materiales y de las herramientas que han de ser introducidos

en memoria.

Ensayos para determinar los parámetros de las ecuaciones de duración de la herramienta.

Como ha sido ya visto, los parámetros de las ecuaciones de duración de la herramienta recogen información conjunta sobre la capacidad de corte de la herramienta y la maquinabilidad del material de la pieza, para la geometría y condiciones de corte consideradas.

A continuación se van a considerar dos tipos de ensayos:

- Ensayos convencionales.
- Ensayos rápidos.

Ensayos convencionales.

Se va a exponer, en lo que sigue, un resumen del método de ensayo propuesto en la norma UNE 16148 *Ensayos de duración de herramientas de torno de corte único*, en la que primeramente se especifican las condiciones del ensayo y posteriormente el registro y tratamiento de los resultados.

Material de la pieza:

Cuando el material de la pieza no sea la variable del ensayo, se empleará alguno de los siguientes materiales de referencia:

Acero:	F1145 (C45 K-1)
	F1147 (C48 K-1)
Fundición:	FG25 con 200÷220 HB

Material de la herramienta:

Cuando el material de la herramienta no sea la variable a ensayar, se empleará alguno de los siguientes materiales de referencia:

Acero rápido:	F5603 (6-5-2) con un tratamiento térmico específico
Metal duro:	P10 para mecanizado de acero
	K30 para mecanizado de fundición
Cerámica:	Cualquier calidad comercial, indicándola en las hojas de resultados del ensayo

Condiciones de referencia de la pieza:

La superficie debe provenir de laminación o de moldeo. La relación longitud de la pieza/diámetro de la pieza no debe ser excesiva, a fin de evitar fenómenos de inestabilidad, y en todo caso inferior a 10. La cogida de la pieza se hará con plato y contrapunto. El punto será un agujero de 6,3 mm de diámetro, con achaflanado a 120E.

Geometría de la herramienta:

Cuando la geometría de la herramienta no sea la variable a ensayar, se emplearán los valores recogidos en el cuadro adjunto:

Material hta.	γ	α	λ	i	ϵ^1
Acero rápido	25E	8E	0E	75E	90E
Metal duro	+6E	5E	0E	75E	90E
	-6E	6E	-6E	75E	90E
Cerámica	-6E	6E	-6E	75E	90E

Cuando el radio de la punta $r_e=0,4$ mm, el radio de redondeo de la arista principal valdrá: $r=0,02\div 0,03$ mm; y cuando $r_e>0,4$ mm, será $r=0,03\div 0,05$ mm.

Condiciones de referencia de la herramienta:

Se utilizará una herramienta recta de desbastar. Su sección transversal será de 25×25 mm en el caso de herramientas enterizas de acero rápido. El voladizo de la punta de la herramienta deberá ser de 25 mm.

Fluido de corte:

Cuando el fluido de corte no sea la variable a ensayar, las pruebas serán efectuadas bien en seco o bien empleando una solución acuosa que contenga un 0,5% de trietanolamina y 0,2% de nitrato de sodio. Únicamente se empleará el fluido de corte en el caso de herramientas de acero rápido con criterio de desgaste por desmoronamiento o fallo catastrófico. El caudal del fluido será el mayor valor de los dos siguientes: 3 l/min o $0,1$ l/cm³ de material eliminado por minuto.

Condiciones de corte:

Cuando el avance y la profundidad de pasada no sean las variables del ensayo, se emplearán de acuerdo con las siguientes restricciones:

- Profundidad de corte mínima: 2 veces de radio de la punta.
- Profundidad de corte máxima: 10 veces el avance.
- Avance máximo: 0,8 veces el radio de punta
- Valores normalizados del radio de la punta: 0,4; 0,8 y 1,2.
- Valores recomendados de la relación p/a : 4; 6 y 8.

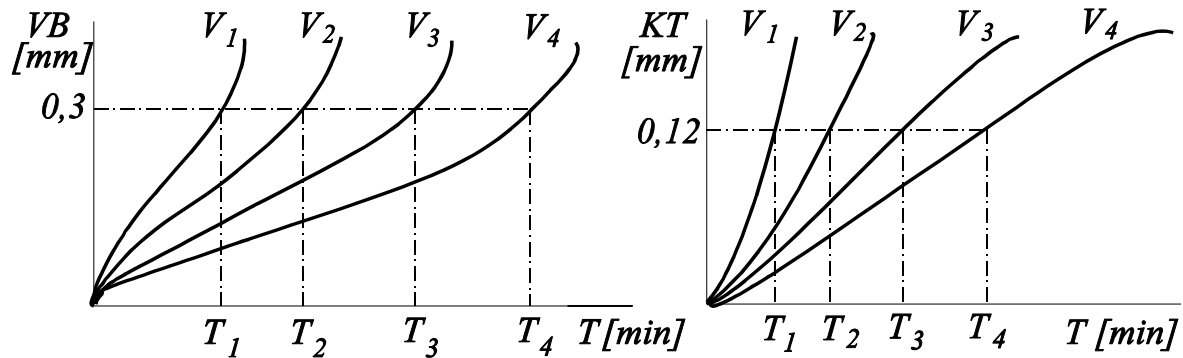
La relación de corte se calculará sobre la superficie a mecanizar y no sobre la superficie mecanizada. En los ensayos se medirán las revoluciones del husillo durante el mecanizado para tener en cuenta el efecto de frenado debido al corte.

Método operativo.

Se va a exponer el caso de que se pretenda obtener el valor de las constantes C y n de la ecuación de Taylor. Se efectuarán ensayos al menos con cuatro velocidades de corte distintas (v_1 ; v_2 ; v_3 y v_4) y se medirán, a intervalos adecuados, el ancho de la franja de desgaste o la profundidad del cráter, según el criterio de duración apropiado a cada caso. Las lecturas se

¹ ϵ es el ángulo de la punta.

representarán en un diagrama en el que en abscisas se tenga una escala de tiempo en minutos y en ordenadas el parámetro de desgaste en mm. Para cada velocidad se obtendrán, al menos, cinco medidas del desgaste, y por lo menos una excederá del valor recomendado en el criterio de desgaste a aplicar.



Si se hubiera empleado como criterio de duración el desmoronamiento del filo, los valores T_1 , T_2 , T_3 y T_4 se habrán obtenido directamente.

Llevando, en cualquier caso, los cuatro pares de valores (v, T) a un sistema coordenado doblemente logarítmico, y ajustando los puntos obtenidos a una recta, se tendría:

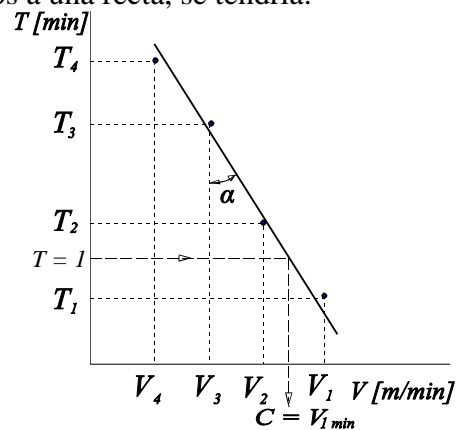
$$n' \operatorname{tg} \alpha$$

$$C' \cdot V_{1 \min}$$

con lo que queda definida la ecuación de Taylor, para el caso ensayado.

$$VT^{n'} = C$$

El ajuste a una recta puede efectuarse *a ojo* o mediante cálculo estadístico que incluya el estudio de la bondad del ajuste. En la mayoría de los casos la determinación *a ojo* constituye una aceptable aproximación.

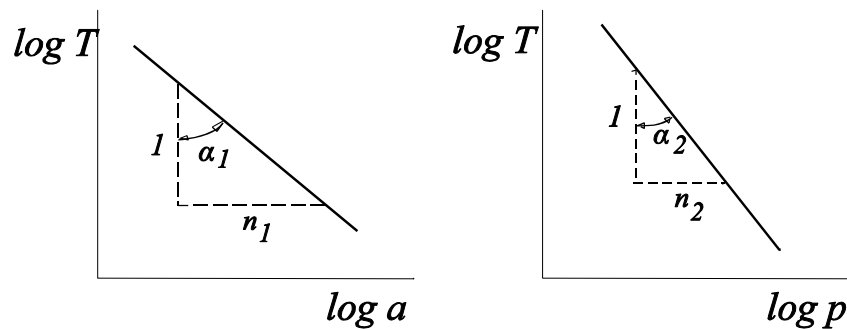


En lo anterior se ha obtenido la recta $\log T / \log v$ manteniendo constantes el avance y la profundidad de pasada. Ahora bien, pueden también efectuarse los dos tipos de ensayos siguientes:

a variable y v y p ctes.

p variable y v y a ctes.

obteniéndose en tales casos, respectivamente:



con lo que se completaría la determinación de los parámetros de la *primera generalización de la ecuación de Taylor*. Adviértase que en este caso K_1 es obtenible al entrar en dicha ecuación de la vida de la herramienta con, al menos uno, juegos de valores de v , a , p y T .

Ensayos rápidos.

Como puede apreciarse, la operativa anteriormente expuesta es cara ya que precisa de gran cantidad de tiempo y de material; por ello se han desarrollado los llamados *ensayos rápidos* que, si bien son menos fiables, resultan más operativos. De ellos conviene destacar el denominado *ensayo con velocidad de corte creciente* o *ensayo de refrentado*, que consiste en refrentar una pieza cilíndrica, con agujero central, de dentro a fuera, con velocidad de husillo constante. La velocidad de corte inicial se selecciona unos 20÷30 m/min inferior a la supuesta en que ocurre el fallo catastrófico del filo de corte y la probeta se diseña para que dicho fallo ocurra antes de acabar la pasada de refrentado. La velocidad de corte en el instante del fallo catastrófico v_z , se puede correlacionar con la velocidad equivalente para una vida de 60 minutos v_{60} , como sigue:

$$\begin{array}{ll} \text{Herramientas de acero rápido:} & v_z \bullet 2,5 v_{60} + 20 \\ \text{Herramientas de metal duro:} & v_z \bullet 2,5 v_{60} + 50 \end{array}$$

La correlación produce aceptables resultados en el rango $70 \# v_z \# 180$, con herramientas de acero rápido.

Modelo de escalado doblemente logarítmico reproducido del Anexo D/3 de la Norma UNE 16148:

Duración de la herramienta T , min

Velocidad de corte V , m/min