



MECANIZADO

Ing. Guillermo Bavaresco

Un **proceso de mecanizado**, se puede definir como un conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de la materia prima. Estas características pueden ser de naturaleza muy variada tales como la forma, el tamaño o la estética.

En muchas ocasiones, para obtener una determinada pieza serán necesarias realizar varias operaciones individuales en un puesto de trabajo con una determinada máquina-herramienta.

En el ámbito industrial de la tecnología mecánica, se puede considerar convencionalmente los procesos de mecanizados como los realizados con arranque de viruta en los cuales podemos citar los siguientes Procesos:

- Torneado
- Fresadora
- Taladrado
- Cepillado
- Esmerilado
- Aserrado

A partir de esto, podemos definir el **Mecanizado** como un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante remoción de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión. Se realiza a partir de productos semielaborados como lingotes, tochos, barras u otras piezas previamente conformadas por otros procesos como moldeo o forja. Los productos obtenidos pueden ser finales o semielaborados que requieran operaciones posteriores.

Mecanizado por arranque de viruta

En este proceso el material es arrancado o cortado con una herramienta dando lugar a un desperdicio o viruta. La herramienta consta, generalmente, de uno o varios filos o **cuchillas** que separan la viruta de la pieza en cada pasada. En el mecanizado por arranque de viruta se dan procesos de **desbaste** (eliminación de mucho material con poca precisión; proceso intermedio) y de **acabado** (eliminación de poco material con mucha precisión; proceso final). Sin embargo, tiene una limitación física: no se puede eliminar todo el material que se quiera porque llega un momento en que el esfuerzo para apretar la herramienta contra la pieza es tan liviano que la herramienta no penetra y no se llega a extraer **viruta**, entendiéndose por **viruta (ver figura 1)** un fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que es extraído del material mediante los procesos de torneado, fresado, taladrado o cepillado.

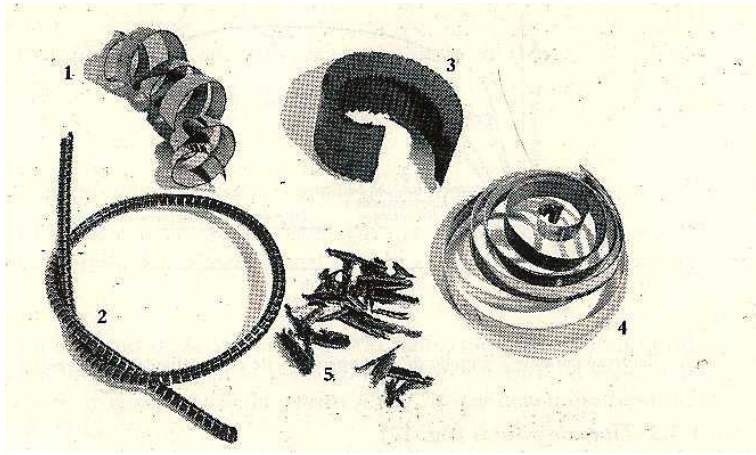


Figura N° 1 – Tipos de virutas metálicas

Mecanizado por abrasión

El mecanizado por abrasión es la eliminación de material desgastando la pieza en pequeñas cantidades, desprendiendo partículas de material, en muchos casos, incandescente. Este proceso se realiza por la acción de una herramienta eléctrica o neumática llamada **esmeril** y por supuesto de la **muela abrasiva**.

La muela abrasiva, está formada por partículas de material abrasivo muy duro unidas por un aglutinante. Esta forma de eliminar material *rayando* la superficie de la pieza, necesita menos fuerza para eliminar material apretando la herramienta contra la pieza, por lo que permite que se puedan dar pasadas de mucho menor espesor. La precisión que se puede obtener por abrasión y el acabado superficial puede ser muy buena pero los tiempos productivos son muy prolongados.

Mecanizado manual

Es el realizado por una persona con herramientas exclusivamente manuales: segueta, lima, cincel, buril; en estos casos el operario mecaniza la pieza utilizando alguna de estas herramientas, empleando para ello su destreza y fuerza.

Mecanizado con máquina herramienta

Como hemos visto anteriormente, el mecanizado se realiza por medio de una máquina herramienta, bien sea manual, semiautomática o automática. El esfuerzo o la acción de mecanizar se lleva a cabo por medio de un equipo mecánico, con los motores y mecanismos necesarios.

Las máquinas herramientas de mecanizado clásicas son:

- **Taladro:** La pieza es fijada sobre la mesa del taladro, la herramienta, llamada broca, realiza el movimiento de corte giratorio y de avance lineal, realizando el mecanizado de un agujero o taladro teóricamente del mismo diámetro que la broca y de la profundidad deseada. (ver fig.2)



Figura 2 - Taladro de Banco

- **Torno:** el torno es la máquina herramienta de mecanizado más difundida, estas son en la industria las de uso mas general, la pieza se fija en el plato del torno, que realiza el movimiento de corte girando sobre su eje, la cuchilla realiza el movimiento de avance eliminando el material en los sitios precisos. (Ver fig. 3)



Figura 3 - Torno Paralelo

- **Fresadora:** en la fresadora el movimiento de corte lo tiene la herramienta; que se denomina fresa, girando sobre su eje, el movimiento de avance lo tiene la pieza, fijada sobre la mesa de la fresadora que realiza este movimiento. (Ver fig. 4)



Figura 4 - Fresadora

- **Limadora:** esta máquina herramienta realiza el mecanizado con una cuchilla montada sobre el porta herramientas del carnero, que realiza un movimiento lineal de corte, sobre una pieza fijada la mesa, que tiene el movimiento de avance perpendicular al movimiento de corte. (Ver fig. 5)



Figura 5 - Limadora

- **Mortajadora :** máquina que arranca material linealmente del interior de un agujero. El movimiento de corte lo efectúa la herramienta y el de avance la mesa donde se monta la pieza a mecanizar. (Ver fig. 6)



Figura 6 - Mortajadora

1. **Rectificadora:** de mayor tamaño que la limadora, tiene una mesa deslizante sobre la que se fija la pieza y que realiza el movimiento de corte deslizándose longitudinalmente, la muela de rectificado montada sobre un puente sobre la mesa se desplaza transversalmente en el movimiento de avance. (Ver fig. 7)



Figura 7 - Rectificadora plana

- **Brochadora** : Máquina en la que el movimiento de corte lo realiza una herramienta brocha de múltiples filos progresivos que van arrancando material de la pieza con un movimiento lineal. Esta maquina es muy utilizada para hacer chaveteros o cuñeros (Ver fig. 8)



Figura 8 - Brochadora

Mandrinadora: se utiliza básicamente para el mecanizado de agujeros de piezas cúbicas cuando es necesario que estos agujeros tengan una tolerancia muy estrecha y una calidad de mecanizado buena. Básicamente este tipo de máquinas está compuesto por una bancada donde hay una mesa giratoria para fijar las piezas que se van a mecanizar, y una columna vertical por la que se desplaza el cabezal motorizado que hace girar al husillo portaherramientas donde se sujetan las barras de mandrinar.(Ver fig. 9)



Figura 9 - Mandrinadora

Variables principales en el proceso de mecanizado.

Para realizar el proceso de mecanizado se deben tener en cuenta una serie de variables, las cuales no se deben descuidar ya que si una de ellas falla, no se obtendrán los resultados deseados. Estas variables son:

Velocidad de corte

Esta variable se define como la velocidad lineal de la periferia de una herramienta acoplada a una máquina herramienta (por ejemplo, una fresa) o la velocidad lineal del diámetro mayor que esté en contacto con la herramienta en la pieza que se esté mecanizando en un torno.

La velocidad de corte puede ser rotativo o alternativo; en el primer caso, la velocidad de, corte o velocidad lineal relativa entre pieza y herramienta corresponde a la velocidad tangencial en la zona que se esta efectuando el desprendimiento de la viruta, es decir, donde entran en contacto herramienta y pieza y debe irse en el punto desfavorable. En el segundo caso, la velocidad relativa en un instante dado es la misma en cualquier punto de la pieza o la herramienta.

"En el caso de maquinas con movimiento giratorio (Torno, Taladro, Fresadora, etc.), la velocidad de corte esta dada por:

$$V_c = \pi D n \quad (\text{m/min}) \text{ ó } (\text{ft/min})$$

En donde:

D = diámetro correspondiente al punto más desfavorable (m).

n = número de revoluciones por minuto a que gira la pieza o la herramienta.

Para máquinas con movimiento alternativo (Cepillos, Escoplos, Brochadoras, etc.), la velocidad de corte corresponde a la velocidad media y esta dada por:

$$V_c = \frac{L}{T} \quad (\text{m/min}) \text{ ó } (\text{ft/min})$$

En donde:

L = distancia recorrida por la herramienta o la pieza (m).

T = tiempo necesario para recorrer la distancia L (min)

La elección de la velocidad de corte viene determinada por el material de la herramienta, el tipo de material a mecanizar y las características de la máquina. Una alta velocidad de corte permite realizar el mecanizado en menos tiempo pero acelera el desgaste de la herramienta.

Efectos de la velocidad de corte

Esta variable es el factor principal que determina la duración de la herramienta y afecta al consumo de potencia.

Una velocidad de corte muy grande puede ocasionar:

- Desgaste muy rápido del filo de corte de la herramienta
- Deformación plástica del filo de corte con pérdida de tolerancia del mecanizado
- Calidad del mecanizado deficiente

Por otro lado si la velocidad de corte es muy baja, puede traer como consecuencias:

- Retardar el tiempo de entrega de los trabajos
- Formación de filo de aportación en la herramienta.
- Efecto negativo sobre la evacuación de viruta
- Baja productividad y costos elevados del mecanizado

Avance

En el proceso de mecanizados por arranque de viruta se denomina **avance**, a la velocidad de penetración que tienen las herramientas de corte en la pieza que se mecaniza, en otras palabras, Se entiende por Avance al movimiento de la herramienta respecto a la pieza o de esta última respecto a la herramienta en un periodo de tiempo determinado.

El Avance se designa generalmente por la letra " **s**" y se mide en milímetros por una revolución del eje del cabezal o porta-herramienta, y en algunos casos en milímetros por minuto en el caso de fresado.

El avance por minuto se obtiene de multiplicar el avance por vuelta del husillo por las revoluciones por minuto que tenga.

Efectos de la velocidad de avance

Esta variable es decisiva para la formación de viruta y afecta al consumo de potencia, además contribuye a la tensión mecánica y térmica

Una velocidad elevada de avance da lugar a:

- Buen control de viruta
- Menor tiempo de corte

- Menor desgaste de la herramienta
- Riesgo más alto de rotura de la herramienta
- La calidad superficial del mecanizado se puede deteriorar.

Por el contrario, una velocidad de avance baja da lugar a:

- Viruta más larga
- Mejora de la calidad del mecanizado
- Desgaste acelerado de la herramienta
- Mayor duración del tiempo de mecanizado
- Mayor coste del mecanizado

Profundidad de corte.

Esta variable se define como la distancia que penetra la una herramienta en la pieza que se esta mecanizando, en otras palabras, profundidad de corte es la a profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta; generalmente se designa con la letra " t " y se mide en milímetros en sentido perpendicular.

La profundidad de corte se refleja por el ancho de la viruta. Su valor está en concordancia con la cantidad de material que se tenga que remover, la mecanibilidad del mismo, el tipo de herramienta que se utilice y está condicionado por la potencia de la máquina, y la velocidad de corte y el avance a los que trabaje la máquina.

La profundidad de corte se determina según la fórmula:

$$t = \frac{D_f - D_i}{2}$$

en donde:

D_i = Diámetro inicial de la pieza (mm).

D_f = Diámetro final de la pieza (mm).

En el caso de trabajar superficies planas (Fresado, Cepillado y Rectificado de superficies planas), la profundidad de corte se obtiene de la siguiente forma:

$$t = E_i - E_f \text{ (mm)}$$

En donde:

E_i = espesor inicial de la pieza

E_f = espesor final de la pieza (mm).

Herramienta de corte

Se denomina **herramienta de corte**, al conjunto de herramientas que se instalan en las máquinas-herramientas que funcionan por arranque de viruta. También se puede decir que una herramienta de corte es aquel instrumento que por su forma especial y por su modo de empleo, modifica paulatinamente el

aspecto de un cuerpo hasta conseguir el objeto deseado, empleando el mínimo de tiempo y gastando la mínima energía. Las herramientas de corte más conocidas son: brocas, fresas, escariadores, limas, sierras, herramientas de torneado, machos de enroscar. Hay herramientas de corte que funcionan por accionamiento manual, por ejemplo: limas, sierra de mano, etc. (Ver fig. 10)

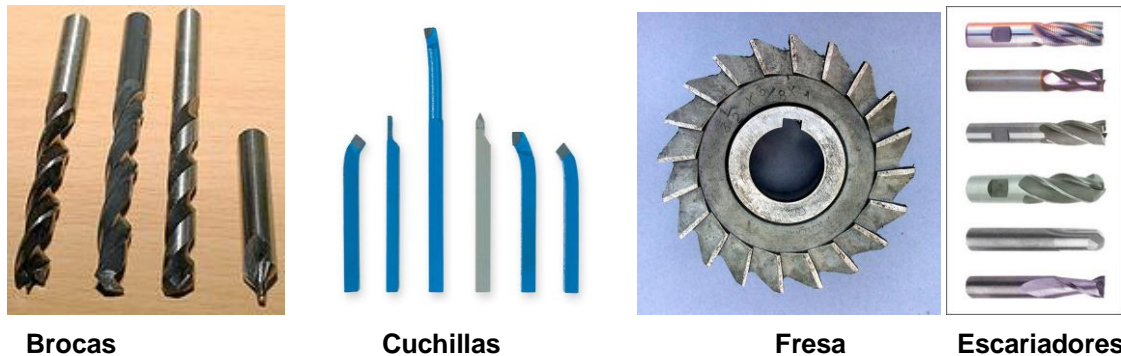


Figura 10 Diferentes herramientas de corte

Materiales para herramientas de corte:

Los materiales para las herramientas de corte incluyen aceros al carbono, aceros de mediana aleación, aceros de alta velocidad, aleaciones fundidas, carburos cementados, cerámicas u óxidos y diamantes.

La selección de material para la construcción de una herramienta depende de distintos factores de carácter técnico y económico, tales como:

1. Calidad del material a trabajar y su dureza.
2. Tipo de producción (pequeña, mediana y en serie).
3. Tipo de máquina a utilizar.
4. Velocidad de Corte.

Los elementos más utilizados en la producción de aleaciones para la fabricación de herramientas de corte son:

El **carbono** forma un carburo con el hierro, lo que hace que responda al temple y, de esta manera aumentar la dureza, la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste. El contenido de carbono de los aceros para herramientas está entre 0.6% y 1.4%.

El **chromo** si agrega para aumentar la resistencia al desgaste y la tenacidad; el contenido es entre 0.25% y 4.5%.

El **cobalto** se suele emplear en aceros de alta velocidad para aumentar la dureza en caliente, a fin de poder emplear las herramientas con velocidades de corte y temperaturas más altas y aún así mantener la dureza y los filos. El contenido es entre 5% y 12%.

El **molibdeno** es un elemento fuerte para formar carburos y aumentar la resistencia mecánica, la resistencia al desgaste y la dureza en caliente. Siempre se utiliza junto con otros elementos de aleación. El contenido es hasta de 10%.

El **tungsteno** mejora la dureza en caliente y la resistencia mecánica; el contenido es entre 1.25% y 20%.

El **vanadio** aumenta la dureza en caliente y la resistencia a la abrasión, el contenido en los aceros al carbono para herramientas es de 0.20% a 0.50%, en los aceros de altas velocidades es entre 1% y 5%.

Materiales usados para la fabricación de herramientas de corte

Aceros al carbono:

Son el tipo más antiguo de acero empleado en herramientas de corte. Este acero es poco costoso, tiene resistencia a los choques, se puede someter a tratamiento térmico para obtener un amplio rango de durezas, se forma y rectifica con facilidad y mantiene su borde filoso cuando no está sometido a abrasión excesiva y utilizado para brocas que trabajan a velocidades más o menos bajas, para machuelos, brochas y escariadores, aunque y a los han sustituido otros materiales para herramientas

Aceros de alta velocidad:

Mantiene su elevada dureza a altas temperaturas y tienen buena resistencia al desgaste. Las herramientas de este tipo de aleaciones que se funden y se rectifican a la forma deseada, se componen de cobalto 38% a 53%, cromo 30% a 33% y tungsteno 10% a 20%. Estas aleaciones se recomiendan para operaciones de desbaste profundo con velocidades y avances más o menos altos. Sólo se emplean para obtener un buen acabado superficial especial.

Carburos cementados:

Tienen carburos metálicos como ingredientes básicos y se fabrican con técnicas de metalurgia de polvos. Las puntas afiladas con sujetadores mecánicos se llaman **insertos ajustables**, (Ver fig. 11) se encuentran en diferentes formas, como cuadrados, triángulos, circulares y diversas formas especiales.



Figura 11 - Plaquitas de corte

Hay tres grupos:

- Carburo de tungsteno aglutinado con cobalto, que se emplea para maquinar hierros fundidos y metales abrasivos ferrosos
- Carburo de tungsteno con aglutinante de cobalto más una solución sólida, para maquinar en aceros.
- Carburos de titanio con aglutinante de níquel y molibdeno, para cortar en donde hay altas temperaturas debido a las altas velocidades de corte o a la alta resistencia mecánica del material de la pieza de trabajo.

Carburos revestidos:

Con insertos normales de carburo revestidos con una capa delgada de carburo de titanio, nitruro de titanio u óxido de aluminio. Con el revestimiento se obtiene resistencia adicional al desgaste a la vez que se mantienen la resistencia mecánica y la tenacidad de la herramienta de carburo.

Cerámicas o de óxido:

Contienen principalmente granos finos de óxido de aluminio ligados entre sí. Con pequeñas adiciones de otros elementos se ayuda a obtener propiedades óptimas. Las herramientas de cerámica tienen una resistencia muy alta a la abrasión, con más dureza que los carburos cementados y tienen menor tendencia a soldarse con los metales durante el corte. Sin embargo, carecen de resistencia al impacto y puede ocurrir su falla prematura por desportilladura o rotura. Se ha encontrado que las herramientas de cerámica son eficaces para operaciones de torneado ininterrumpido a alta velocidad.

Diamantes:

Policristalino se emplea cuando se desean buen acabado superficial y exactitud dimensional, en particular en materiales no ferrosos, blandos, que son difíciles de maquinar. Las propiedades generales de los diamantes son dureza extrema, baja expansión térmica, alta conductividad térmica y un coeficiente de fricción muy bajo.

Clasificación de las herramientas de corte:

WS. Acero de herramientas no aleado. 0.5 a 1.5% de contenido de carbón. Soportan sin deformación o pérdida de filo 250°C. También se les conoce como acero al carbono.

SS. Aceros de herramienta aleados con wolframio, cromo, vanadio, molibdeno y otros. Soporta hasta 600°C. También se les conoce como aceros rápidos.

HS. Metales duros aleados con cobalto, carburo de carbono, tungsteno, wolframio y molibdeno. Son pequeñas plaquitas que se unen a metales corrientes para que los soporten. Soportan hasta 900°C.

Diamante. Material natural que soporta hasta 1800°C. Se utiliza como punta de algunas barrenas o como polvo abrasivo.

Materiales cerámicos. Se aplica en herramientas de arcilla que soportan hasta 1500°C. Por lo regular se utilizan para terminados.

Estudio comparativo: En la tabla 1 se da un estudio comparativo de los diferentes tipos de materiales para herramientas de corte

Tipo de material	Uso frecuente
Acero no aleado (WS)	Son buenas para trabajos que no requieran de mucha precisión ya que pierden su filo a temperaturas mayores a los 250°C, y como se sabe el filo de la herramienta es muy importante para la calidad superficial de la pieza.
Aceros aleados o (SS)	Para trabajar con altas velocidades, altas temperaturas ya que mantienen su dureza y filo a estas condiciones tan extremas
Carburos cementados (HS)	Cuando se desea trabajar a altas velocidades y materiales muy duros. Poseen una dureza elevada, reducen el tiempo de trabajo de una pieza, pero no son baratos son muy caros, se obtienen superficies muy lisas.
Diamante	Se utilizan para trabajos muy finos, y son muy caros no se desgastan tan fácilmente, y se usan para el corte de otras herramientas de corte.
Cerámicas	Son útiles para trabajos de acabado, se rompen con mucha facilidad por su gran dureza, y no son muy eficientes para trabajos de torneado a altas velocidades, su desventaja primordial es que no se pueden golpear en el momento de realizar el torneado ya que perderán su filo con

Tabla 1

Vida de las Herramientas

Velocidad económica práctica.

En la práctica la **Velocidad de corte** no se calcula, se adopta -de distinta forma- según la exactitud requerida a dicho dato por los siguientes sistemas:

- 1 Pruebas prácticas. Solo cuando se requieran datos de corte muy exactos, por ejemplo en grandes series.
- 2 Banco de datos de corte. Con ordenador se rellenan los datos del formulario standard.
- 3 Elección de herramientas y datos de corte en un manual.
- 4 Cuadro de datos de corte generales en una tabla.

Estudio económico del corte.

En el mecanizado el primer problema que se nos plantea es fijar la velocidad de corte **Vc**. a emplear y en función de ésta determinaremos el número de revoluciones por minuto N que tiene que llevar la máquina.

Por tanto, lo primero, es responder a la pregunta ¿qué velocidad de corte debe aportarse para un trabajo determinado?.

Varios científicos (**Taylor y Denis** entre otros) han hecho estudios y experimentos para determinar los valores de la velocidad de corte que permitan una mayor producción y una reducción de los costes de fabricación, ya que los diversos factores que se presentan en el corte pueden hacer variar considerablemente dicha velocidad para cada caso. Para resolver este problema, vamos a estudiar algunos factores que tienen especial influencia en la duración del filo de la herramienta.

Rendimiento de una herramienta.

Se llama rendimiento o producción de una herramienta, al volumen de viruta, expresado en dm^3 , que ésta puede arrancar entre dos afilados consecutivos.

Teoría de Denis. Curva de producción de una herramienta.

El investigador de la técnica de corte **Denis**, a base de realizar experimentos metódicos, llegó a la conclusión de que, trabajando un determinado material con distintas velocidades de corte y manteniendo constante el resto de las condiciones del corte (avance, pasada, calidad de herramienta, etc.) el rendimiento

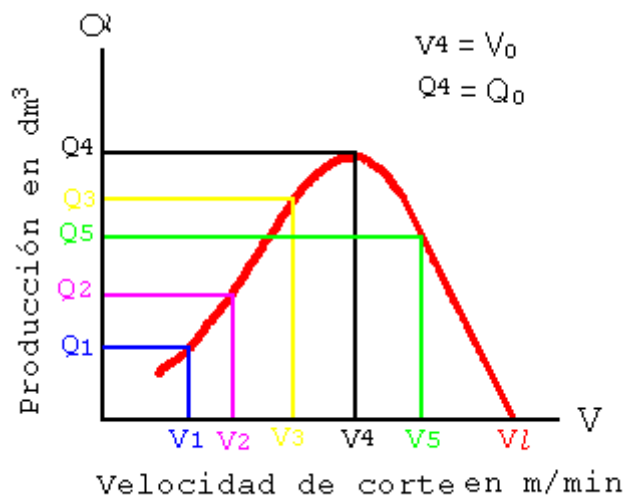


Figura 12

de la herramienta aumenta a medida que se utiliza mayor velocidad de corte, hasta llegar a una velocidad determinada, a partir de la cual, si se continua realizando mecanizados con velocidades crecientes, la producción de la herramienta disminuye, pudiendo incluso llegar a ser cero si velocidad de corte adoptada es muy elevada. (Ver fig. 12)

Las conclusiones obtenidas son:

- A medida que aumenta la V_c , aumenta la duración del afilado de la herramienta, con lo cual se obtiene una mayor producción de viruta.
- Que este aumento de velocidad, llega a un punto V_0 en que la producción es máxima por ser el de mayor duración del filo. A esta velocidad V_0 se le denomina de velocidad de mínimo desgaste.
- A partir de aquí si se continúa aumentando la V_c , disminuirá la producción, al tener una menor duración el afilado, hasta llegar a la velocidad límite V_l , en la que la herramienta se inutiliza instantáneamente, por lo que el valor de la producción de viruta es nulo.

d) La velocidad de mínimo desgaste V_0 , a pesar de ser la que proporciona una mayor producción, no es la más económica por resultar demasiado baja, pues también hay que contar la influencia que sobre el costo tiene la mano de obra y gastos generales, tomándose para esta **velocidad económica V_e** un valor aproximado de:

$$V_e = V_0 + 1/3 V_0 = 1.33 V_0$$

que le corresponde un rendimiento de:

$$Q_e = 0,5 \times Q_0$$

Sin embargo, pese a esta menor producción y la mayor frecuencia de afilado (o cambio de herramienta) dicho incremento de gastos sale compensado con la disminución del tiempo de mecanizado que se obtiene al trabajar con una velocidad de corte mayor a la V_0 .

Como no todas las herramientas tienen las mismas características, se puede establecer que la zona de velocidades económicas para las herramientas de corte está contenida entre **V_0** y **V_e** . (ver fig. 13)

Tomándose valores más próximos a V_0 cuando se trabaja con herramientas de difícil reglaje o afilado y de coste elevado, mientras que se tenderá a V_e cuando se emplean herramientas sencillas (cuchillas de torno, fresas simples, brocas, etc.)

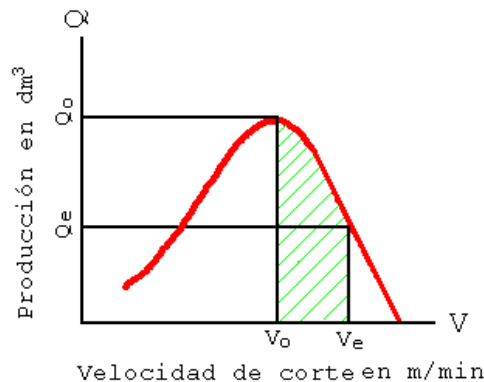


Figura 13

Teoría de Taylor - Determinación de la V_c por la duración del afilado.

Taylor tomó como tiempo experimental de duración del filo 20 minutos y determinó las velocidades de corte para este valor.

Manteniendo constante el tiempo (20 min.) y variando el avance y la profundidad de pasada - que son los datos que determinan la sección de viruta - demostró que al aumentar la sección de viruta, debe disminuir la velocidad de corte y que esta reducción no es proporcional.

Por ejemplo:

- a) Un aumento del 50% de profundidad de corte se compensa con un 10% de reducción de la velocidad (Ver tabla 2).
- b) Un aumento del 50% del avance, obliga sólo a un 18% de reducción de velocidad (Ver tabla 3),

Esto lleva a la conclusión de que en los trabajos de desbaste se debe de trabajar con mínima velocidad y máximo avance y en los de acabado con máxima velocidad y mínimo avance.

Tabla 2
RELACION ENTRE LA PROFUNDIDAD DE CORTE, LA VELOCIDAD Y LA PRODUCCION DE VIRUTA (BLANPAIN)

<i>% de aumento de la profundidad</i>	<i>% de reducción de la velocidad</i>	<i>% de producción de virutas</i>	<i>% de reducción de la profundidad</i>	<i>% de aumento de la velocidad</i>	<i>% de producción de virutas</i>
0	0	100	0	0	100
50	10	135	33	11	74
100	20	160	50	25	62
150	24	190	60	31	52
200	28	216	67	39	46
250	32	238	71	47	42
300	36	256	75	56	39

Tabla 3
RELACION ENTRE EL AVANCE, LA VELOCIDAD Y LA PRODUCCION DE VIRUTA (BLANPAIN)

<i>% de aumento del avance</i>	<i>% de reducción de la velocidad</i>	<i>% de producción de virutas</i>	<i>% de reducción del avance</i>	<i>% aumento de la velocidad</i>	<i>% de producción de virutas</i>
0	0	100	0	0	100
25	10	111	20	11	90
50	18	123	33	22	81
75	24	133	43	31	75
100	30	140	50	43	71
150	38	155	60	61	65
200	43	171	67	75	59
250	47	185	71	88	54
300	51	195	75	104	51

Por otra parte **Taylor** descubrió que, manteniendo constante la sección de viruta (avance x profundidad de pasada), trabajando con la misma herramienta y el mismo material de la pieza, entre la velocidad de corte y el tiempo de duración del afilado de la herramienta existe la siguiente relación:

$$V_o \cdot T_o^n = K$$

siendo

V_o = velocidad de corte en m/min

T_o = duración del filo en minutos.

n = coeficiente que vale:

1/12 para herramientas de AC.

1/8 para herramientas de AR.

1/5 para Plaquetas metal duro.

Para una duración distinta del afilado (o sustitución) de la herramienta T_i corresponderá también una velocidad de corte V_i distinta ya que, como:

$$V_o \cdot T_o^n = V_i \cdot T_i^n$$

Tendremos que:

$$V_1 = V_0 \cdot \left(\frac{T_0}{T_1} \right)^n$$

Que es lo que suele utilizarse en la actualidad.

Factores de los que depende el Desgaste de la Herramienta

Las experiencias han demostrado que el valor de la velocidad de mínimo desgaste V_0 , está siempre en función de una serie de factores que influyen en mayor o menor proporción.

Estos factores principales son:

a) De la pieza.

- Calidad exigida en el acabado.
- El material y el estado del mismo (duro, blanco, agrio, etc.)
- Forma de la pieza y fijación de la misma.

b) De la herramienta.

- Material y/o tratamiento ante todo.
- Geometría, ángulos, grado de afinado.
- Fijación del costo de la herramienta, vida, tiempo de reafilado y reglaje en la máquina.

c) De la máquina.

- Torneado, fresado, taladrado, etc.
- Robustez de las máquinas, vibraciones.

d) Clase de operación: Cilindrado, ranurado, etc.

e) Refrigeración de la herramienta.

- Condiciones de refrigeración y lubricación.

f) Respecto a la viruta. Su sección, su forma y relación entre avance y profundidad de pasada.

Influencia del material mecanizado.

Cuanto mayor sea la dureza del material mecanizado, menor será la velocidad de mínimo Desgaste (V_0).

En general se puede afirmar que cuanto más calor se desarrolla en el corte, menor será la duración de la herramienta (Ver fig. 14)

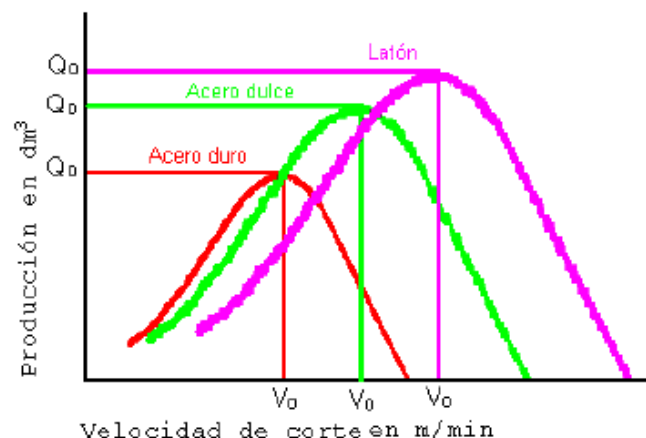


Figura 14

Influencia del material de la herramienta.

La velocidad V_0 y la producción Q aumentan a medida que se mejoran la calidad del material de la herramienta. (Ver fig. 15)

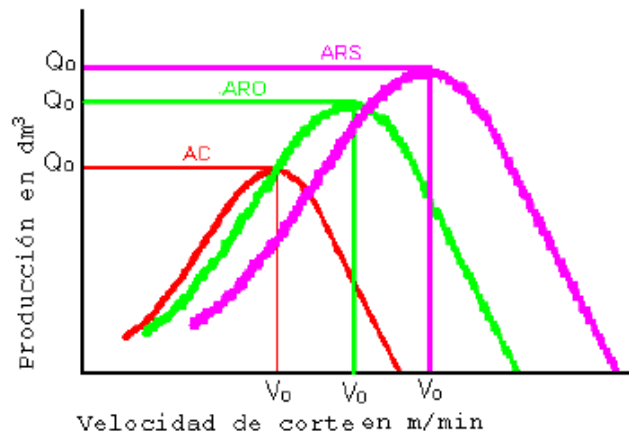


Figura 15

Influencia del tipo de trabajo.

Tomando como pruebas de ensayo los trabajos de taladrado, fresado y torneado, **Denis** descubrió que las velocidades de mínimo desgaste varían según el tipo de trabajo. (Ver fig. 16). Para ello tomó herramientas comunes en lo que a calidad del material se refiere, para mecanizar la misma clase de material.

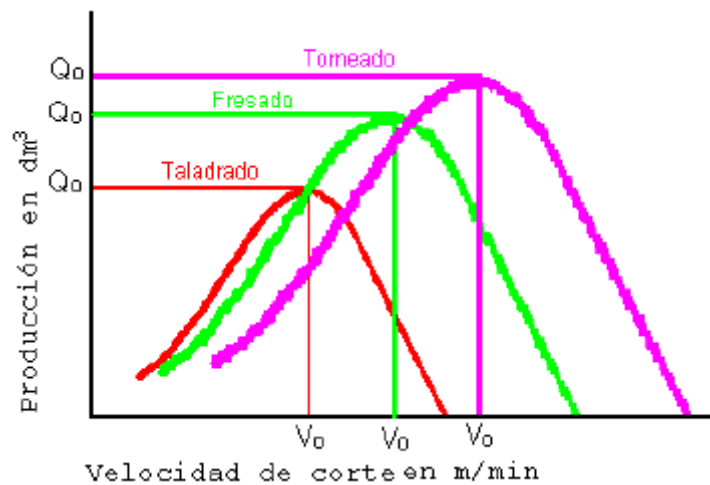


Figura 16

Influencia de la clase de operación.

Aquellas operaciones que exigen cortes profundos o la utilización de herramientas de débil dimensionado, que dificultan la evacuación del calor producido en el corte, les corresponde una velocidad de mínimo desgaste menor que para aquellas herramientas de corte robusto, tales como las cuchillas de cilindrar, fresas de planear, etc. Siendo V_0 la velocidad de mínimo desgaste correspondiente a un corte normal de cilindrado o fresado se empleará:

$1/2 V_0$ para cortes profundos (tronzado, fresado, ranurado, cilindrado interior, etc.)

$3/4 V_0$ para herramientas de forma (cuchillas de perfilar, fresas de forma, etc.)

$4/3 V_0$ para fresas frontales provistas de dientes insertados.

Influencia de la refrigeración.

Como es sabido, el trabajo de corte por arranque de viruta produce un calentamiento en los filos cortantes de las herramientas que es la causa principal del desgaste de los mismos.

En buena parte este riesgo se ve disminuido con una adecuada refrigeración que absorba dicho calor, con lo que, además de aumentar la duración del filo de la herramienta, aumentará el rendimiento entre dosafilados consecutivos. No obstante, cuando se trabaja con riego es más rentable trabajar con mayor velocidad y mantener la misma producción de viruta que aumentar ésta a costa de conservar la misma Velocidad

En consecuencia, para unas condiciones de corte determinadas, la velocidad de mínimo desgaste V_0 se ve aumentada cuando se refrigera el corte a V_0 de tal forma que:

$$V_0 = 1,25 V_0 \text{ para el torneado con riego ordinario y fresado con riego a presión.}$$

$$V_0 = 1,50 V_0 \text{ para el torneado con riego a presión y líquidos de corte adecuados.}$$

Influencia del avance y de la profundidad de pasada.

Estos dos importantes factores, que son los que determinan la sección de viruta que arranca la herramienta, tienen gran incidencia en la determinación de la velocidad de corte, ya que, cuanto mayores sean sus valores, mayor será el calor desarrollado en el corte, con lo cual disminuirá la duración del filo, si bien el rendimiento permanecerá constante, al estar compensada la correspondiente disminución de velocidad por el aumento de sección de viruta arrancada. (Ver fig. 17)

Tal como se puede apreciar en la figura, el máximo rendimiento se puede obtener con distintas velocidades de corte, siempre que se adopten los valores adecuados de avance y profundidad de pasada.

La ecuación que relaciona estos dos factores con la velocidad de corte es la siguiente:

$$V_0^3 \times a_0^2 \times p_0 = V_0'^3 \times a_0'^2 \times p_0' \Rightarrow \text{Torneado.}$$

$$V_0^3 \times a_0^2 \times (b_0 + p_0) = V_0'^3 \times a_0'^2 \times (b_0' + p_0') \Rightarrow \text{Fresado.}$$

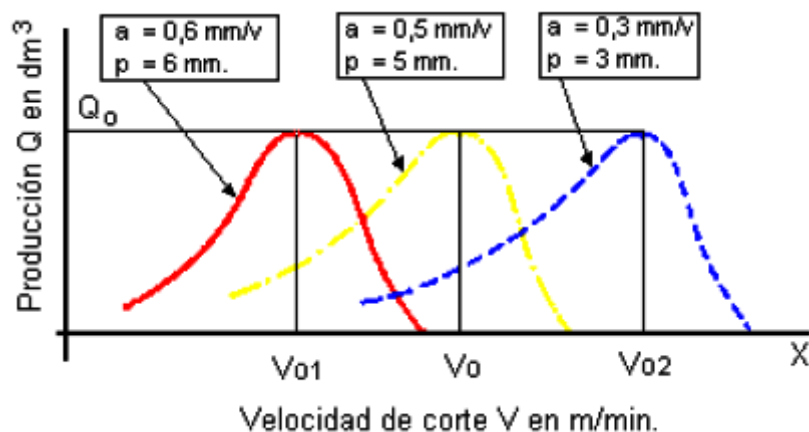


Figura 17

Estos estudios de Denis están realizados adoptando los valores siguientes:

Torneado en seco, $a_0 = 0,5$ mm/vuelta , $p_0 = 5$ mm.

Fresado con riego ordinario, $a_0 = 0,05$ mm, $b_0 + p_0 = 50$ mm.

Los valores aproximados de las velocidades de mínimo desgaste V_0 , que corresponden

a los datos anteriormente citados, para mecanizar diferentes materiales con herramientas de acero rápido ordinario o de acero rápido superior pueden verse en la siguiente tabla

MATERIAL A TRABAJAR	Torneado		Fresado	
	ARO	ARS	ARO	ARS
Acero al carbono R = 80kg/m m ²	12	14	11	13
Acero al carbono R = 60kg/m m ²	18	22	13	16
Acero al carbono R = 40kg/m m ²	26	31	15	19
Fundición	30	36	17	21
Bronce	39	47	22	26
Latón	52	62	24	30

Tabla 4

Fallas en las Herramientas de corte.

Las fallas mas comunes que podemos encontrar en las herramientas de cote son:

- 1) Falla por Fractura: Ésta se produce cuabndo la fuerza de corte es excesiva en la punta de la herramienta
- 2) Falla por Temperatura: Cuando la temperatura de corte es muy elevada, causa un ablandamiento en la punta de la herramienta.
- 3) Desgaste Gradual: esto ocurre cuando la herramienta pierde su filo de corte por el uso y además pierde su forma original

Desgaste de la Herramientas de corte.

El desgaste de la herramienta se produce por el roce o frotamiento del filo de corte sobre la superficie mecanizada la cual también genera altas temperatura, incidiendo esto en la perdida del filo de corte.

Los criterios para evaluar el desgaste de una herramienta de corte, están normalizados por ANSI/ASME B94.55M (1985).

Tipos de Desgaste:

1. **Desgaste abrasivo:** Se debe a las partículas más duras, incluidas en el material a mecanizar o en el filo recrocido dado por altas velocidades de deformación de material acritud, y se da sobre la cara de incidencia de la herramienta de corte.
2. **Desgaste por difusión:** Se presenta entre las temperaturas de 900 y 1200 °C, por lo que no presentan importancia para las herramientas de aceros al carbono y las de acero rápido, las cuales no pueden trabajar a estas temperaturas.

3. **Desgaste por fatiga:** Es frecuentemente una combinación termo-mecánica. La fluctuación de la temperatura y la acción alternativa de las fuerzas de corte, pueden originar en los filos agrietamiento e incluso la rotura.
4. **Desgaste por oxidación:** Se localiza en los contornos de la región de contacto entre la pieza y la herramienta
5. **Desgaste de flancos de incidencia:** Este desgaste tiene lugar en los flancos de incidencia del filo, principalmente es debido al fenómeno de desgaste por abrasión.
y se especifica que una herramienta de corte se declara fuera de servicio cuando el desgaste del flanco o cara lateral alcanza 0,3 mm.
6. **Desgaste del Cráter:** Se produce en la cara de la misma y puede ser debido a la abrasión y al fenómeno de desgaste por difusión. (Ver fig. 18)

$$K_t = 0,06 + 0,3F$$

Donde: K_t es la profundidad del Cráter de la herramienta
 F es el avance en mm por revolución (mm/rev)

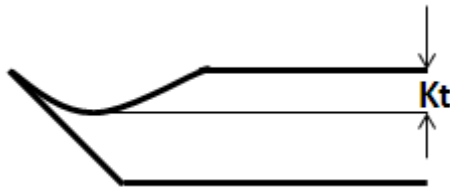


Figura 18

El excesivo desgaste de cráter modifica la geometría de corte de la herramienta y puede dar lugar a una mala formación de viruta, cambiando así mismo las direcciones de la fuerza de corte y debilitando el filo de la herramienta

7. **Desgaste por deformación plástica:** Tiene lugar como resultado de la combinación de altas temperaturas y presiones sobre el filo.
8. **Desgaste por fisuras térmicas:** Las fisuras son debidas principalmente a un desgaste por fatiga como consecuencia de un ciclo térmico; sobre todo por cambios de temperaturas que se producen en un corte alternativo como el fresado y que pueden dar lugar a este tipo de desgaste.
9. **Desgaste por astillamiento del filo:** Se produce cuando la arista del corte se rompe más que se desgasta.

Fluidos de corte (refrigerantes)

Los fluidos de corte se utilizan en la mayoría de las operaciones de mecanizado por arranque de viruta. Estos fluidos, generalmente en forma líquida, se aplican sobre la zona de formación de la viruta, para lo que se utilizan aceites, emulsiones y soluciones. La mayoría de ellos se encuentran formulados en base a un aceite de base mineral, vegetal o sintético, siendo el primero el más utilizado, pudiendo llevar varios aditivos (antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, biocidas, solubilizadores, inhibidores de corrosión...).

Dependiendo de la operación de la máquina que se está llevando a cabo, un fluido de corte tiene las siguientes funciones:

- Enfriamiento de la herramienta, la pieza de corte y las rebabas.
- Lubricación (reduciendo la fricción y minimizando la erosión en la herramienta)
- Control de la acumulación de flujo en el límite de la herramienta
- Limpieza de rebabas
- Protección de la herramienta contra la corrosión. Y oxidación
- Reducir la energía necesaria para efectuar el corte
- Arrastrar las partículas del material (medio de limpieza).
- Mejorar el acabado superficial.

Tipos de Fluidos de corte

Los cuatro principales tipos de fluidos de corte para el mecanizado son

- 1) Los aceites íntegros. (Aceites de corte)
- 2) Fluidos misibles en agua (Las emulsiones oleosas.)
 - Aceites Emulsificables (Aceites solubles)
 - Fluidos químicos (sintéticos)
 - Fluidos semiquímicos (semisintéticos)

3) Gases

4) Lubricantes Sólidos y pastosos

En la mayoría de los casos contienen aditivos azufrados de extrema presión, en un 70% de los casos parafinas cloradas y cada vez más aceites sintéticos (poliglicoles y ésteres). Es frecuente la adición de lubricantes sólidos como grafito, MoS₂ o ZnS₂.

De los cuatro tipos de fluidos, los más utilizados son los **Fluidos misibles en agua** (Las emulsiones oleosas.). Estos son usados para operaciones a altas velocidades ya que tienen mejor propiedades de enfriamiento, también son buenos para el enfriamiento de ciertas partes para minimizar la distorsión térmica

Los fluidos de corte misibles en agua, están mezclados con agua en diferentes proporciones dependiendo de la operación de la máquina, diluidas al 3,5% como media, y reciben el nombre genérico de **taladrinas**. El pH se sitúa en un ámbito ligeramente alcalino (pH 8-10).

Las taladrinas pueden contener todas o parte de las sustancias que se enumeran a continuación

- Aceites minerales (de tendencias nafténica o parafínica) *
- Aceites animales o vegetales.
- Aceites sintéticos (alquilbencenos.).
- Emulgentes
 - Catiónicos *
 - Aniónicos (como Na₂SO₄) *
 - No iónicos (como trietanolamina, poliglicoleter, alifenoil oxietilo).
- Inhibidores de corrosión

- nitritos (NaNO₂, nitrito de dicitohexilamonio...) *.
- aminas (mono-bi-trietanolamina, ciclohexilaminas).
- boratos (bacterioestático) y carbonatos.
- otros ácido butilbenzoico, ...

- Bactericidas-fungicidas (como fenoles, formoles, pentaclorofenoles) *.
- Aditivos de extrema presión

- Parafinas cloradas *.
- Aditivos azufrados *.
- Aditivos fosforados (dialquilfosfato de cinc...).
- Aceites minerales y grasas, alcoholes.

- Humectantes o estabilizantes (como poliglicoles, alcoholes y fosfatos de aminas) *.
- Antiespumantes (siliconas como dimetilsiloxan).
- Colorantes.
- Acomplejantes (EDTA).
- Metales pesados (molibdeno, cinc).

Nota Se ha marcado con un (*) las sustancias más utilizadas en las taladrinas.

Las taladrinas se presentan como concentrados que posteriormente son diluidos en el momento de su utilización con agua en proporciones entre un 1,5% y un 15% de volumen.

Las taladrinas se pueden dividir en tres tipos

a) Las emulsiones de aceite (mineral, sintético o vegetal/animal): El concentrado se diluye al 4% como media (entre 2,5% y 15% según la clase). Estas emulsiones contienen como base un 60% de aceites minerales, aproximadamente un 20% de emulgentes, un 10% de agua y un 10% de aditivos varios (anticorrosivos, bactericidas, aditivos de extrema presión).

Su uso se extiende a operaciones en las que la función lubricante de la taladrina es prioritaria como es la laminación, la extrusión, la deformación (estampación y embutido). Es frecuente el uso de las taladrinas más concentradas (15%) como protección de metales, es decir, para crear una capa protectora anticorrosiva sobre superficies metálicas.

b) Las taladrinas semisintéticas: El concentrado se diluye al 4% como media (entre el 1,5% y 5%). Las taladrinas semisintéticas contiene como base cerca de 20% de aceite mineral o sintético, un 30% de emulgentes, un 40% de agua y un 10% de aditivos varios (contienen importantes bactericidas).

Su uso se extiende a operaciones en las que lubricación y refrigeración son importantes como es el mecanizado (taladrado, fresado...).

c) Las taladrinas sintéticas: El concentrado se diluye al 2,5% (entre el 1,5 y el 12%) y su contenido además de 15% de anticorrosivos, contienen hasta un 25% de humectantes (glicoles), etc. (facultativo). Un 10% de aditivos varios y un 50-75% de agua.

Su uso se extiende a operaciones en las que la función refrigerante de la taladrina es prioritaria como el rectificado y la protección antioxidante.

NOTA: Al realizar la mezcla de la taladrina con el agua, tenga siempre en cuenta de verter la taladrina en el agua y no viceversa Es recomendable airear las taladrinas para evitar los malos olores.

Elección del Fluido de corte

Esta elección se basa en criterios que dependen de los siguientes factores: (Ver tabla 5)

FACTORES	USO
Material de la pieza a fabricar	Para las aleaciones ligeras se utiliza petróleo; para la fundición, en seco. Para el latón, bronce y cobre, el trabajo se realiza en seco o con cualquier tipo de aceite que este exento de azufre; para el níquel y sus aleaciones se emplean las emulsiones. Para los aceros al carbono se emplea cualquier aceite; para los aceros inoxidable auténticos emplean los lubricadores al bisulfuro de molibdeno.
Material de la herramienta	Para los aceros al carbono dado que interesa esencialmente el enfriamiento, se emplean las emulsiones; para los aceros rápidos se orienta la elección de acuerdo con el material a trabajar. Para las aleaciones duras, se trabaja en seco o se emplean las emulsiones.
Método de trabajo	Para los tornos automáticos se usan los aceites puros exentos de sustancias nocivas, dado que el operario se impregna las manos durante la puesta a punto de la máquina; para las operaciones de rectificado se emplean las emulsiones. Para el taladrado se utilizan los 'afeites puros de baja viscosidad; para el fresado se emplean las emulsiones y para el brochado los aceites para altas presiones de corte o emulsiones.

Tabla 5

Bibliografía:

- 1) **Montes de Oca y Pérez López;** "Manual de Prácticas para la asignatura MANUFACTURA INDUSTRIAL II" Ingeniería Industrial, Editorial: UPIICSA – IPN, Enero del 2002
- 2) **Wikipedia, La enciclopedia libre,** <http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanizado>
- 3) **Escalona, Luis:** Arranque de virutas,
http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/arranquedeviruta/default2.asp
- 4) **Instituto Politécnico nacional,** Selección y usos de los fluidos de corte para operaciones de maquinado, Mexico 2006.
- 5) **c.i.p – ETI, Tudela,** Fabricación por Arranque de Viruta,
http://issuu.com/cggc/docs/apuntes_fabricaci_n_por_viruta , 2008, Tudela España
- 6) **Wikipedia, La enciclopedia libre,**
http://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n_del_desgaste_en_herramientas_de_corte