



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

59.

**ESTADO ACTUAL DE LA TEORIA Y
PRACTICA DEL MAQUINADO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

RAFAEL GARCIA CRUZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

Primera parte		Página
1.	Introducción	1
1.1	El Maquinado dentro de los Procesos de Manufactura	1
1.2	Historia del Estudio del Proceso de Maquinado	6
2.	Estudio de los factores propios al material y afectando su maquinabilidad	11
2.1	Introducción	11
2.2	El enlace metálico	12
2.3	Estructura cristalina de los metales	14
2.4	La microestructura de los metales y sus defectos	19
2.5	Propiedades mecánicas de materiales metálicos	21
2.5.1	Comportamiento elástico	21
2.5.2	Comportamiento plástico	22
2.5.3	El endurecimiento	24
2.5.4	La curva esfuerzo-deformación	25
2.5.5	El concepto ductilidad	28
2.5.6	Valores energéticos	29
	Resiliencia	29
	Tenacidad	30
2.6	Factor velocidad de deformación	31
2.7	Efecto de la temperatura	32
2.8	Endurecimiento por trabajo	34
2.9	Power abrasivo del material	35
3.	Teoría del Proceso de Maquinado	38
3.1	Los elementos que constituyen el proceso	38
3.1.1	La máquina	38
3.1.2	La herramienta	41
3.1.3	Material	42
3.2	Definición de Conceptos y Descripción del Proceso	43
3.2.1	Corte ortogonal y oblicuo	43
3.2.2	Velocidad de corte	44
3.2.3	Profundidad de corte	45

3.2.4	Elasticidad	46
3.2.5	Dureza	47
3.2.6	Ductilidad	47
3.2.7	Tenacidad	47
3.2.8	Filo de aportación	49
3.2.9	El desprendimiento	52
3.2.10	La viruta	54
3.2.11	Flanos de cizalladura	56
3.3	Fuerza Específica de Corte	59
3.3.1	Fuerza de Penetración y Efecto del Tamaño	62
3.3.2	Resistencia a la Cizalladura del Material	68
3.4	Determinación de la Potencia	75
3.5	Determinación teórica de la inclinación de los planos de Cizallamiento	77
3.6	Fricción	82
4.	Fuerzas que intervienen en el Proceso de Corte	89
4.1	Convención	89
4.1.1	Fuerza Tangencial	91
4.1.2	Fuerza Axial	91
4.1.3	Fuerza Radial	91
4.2	Geometría de la herramienta	92
4.2.1	Nomenclatura	92
4.2.1.1	Superficie de desprendimiento, superficie de corte o cara	93
4.2.1.2	Superficie de incidencia o frente	93
4.2.1.3	Herramientas de derecha o izquierda	94
4.2.2	Influencia	96
4.2.2.1	Angulos de Incidencia	97
4.2.2.2	Angulo de desprendimiento	100
4.2.2.3	Angulo de inclinación de perfil	106
4.2.2.4	Angulo de posición del contra filo	112
4.2.2.5	Geometría de la punta	112
5.	Potencia	123

I N D I C E

Segunda parte	Página
6. Materiales para herramienta de corte	164
6.1 Aceros especiales	164
6.1.1 Conceptos introductorios	164
6.1.2 Concepto de templabilidad	169
6.1.3 Factores de influencia sobre la templabilidad	171
6.1.4 Influencia de los elementos de aleación sobre el revenido de acero	173
6.1.5 Aceros aleados para herramienta	177
6.1.5.1 Aceros para herramientas trabajando en frío	180
6.1.5.2 Aceros para herramienta trabajando en caliente	182
6.2 Herramienta de metal duro	186
6.2.1 Notas históricas	186
6.2.2 Descripción	187
6.2.3 Proceso de fabricación	188
6.2.4 Consideraciones preliminares	189
6.2.5 Dimensiones de las plaquitas	190
6.2.6 Mangos o soportes	194
6.2.7 Calidades	194
6.2.8 Angulos de corte	215
6.2.9 Velocidades de corte	215
6.2.10 Potencia	223
6.2.11 Normas prácticas para el empleo de metal duro	229
6.2.12 Causas de fallos en el metal duro	229
6.3 Herramienta de cerámica	231
7. Parámetros	238
7.1 Introducción	238
7.2 Elementos restrictivos o determinados	238
7.3 Elementos a determinar	239
8. Fluidos de corte	240
8.1 Generalidades	240
8.2 Inconvenientes del corte sin refrigeración	241
8.3 Ventajas de la refrigeración	242

8.3.1	Aumento de la velocidad de corte al trabajar con lubricación	242
8.3.2	Aumento de la sección de viruta al trabajar con lubricación	243
8.3.3	Influencia del lubricante sobre la temperatura de corte	244
8.4	Estudio de los distingos refrigerantes	244
8.4.1	Influencia del empleo de un líquido de refrigeración sobre las condiciones de corte	245
8.4.2	Tipos de aceites de corte	246
8.5	Cómo debe refrigerarse una cuchilla	250
8.5.1	Aplicaciones a diversas máquinas herramientas	254
8.5.2	Depuración	254
8.5.3	Dificultades encontradas en los trabajos a gran velocidad	255
8.6	Gases refrigerantes	256
8.6.1	Refrigeración de las cuchillas mediante aire comprimido con aceite en suspensión	256
8.6.2	Inconvenientes de la refrigeración por gases a presión	256
9.	Maquinabilidad	258
9.1	La medición de la maquinabilidad	258
9.2	La influencia de los elementos de aleación en la maquinabilidad	250
9.2.1	Acero al carbono de corte libre	260
9.2.1.1	Aceros resulfurados y refosforados	261
9.2.1.2	Aceros resulfurizados con plomo	262
9.2.1.3	Aceros resulfurizados con otros aditivos	263
9.3	La influencia de la microestructura en la maquinabilidad	264
9.4	Maquinabilidad de barra estirada en frío	264
9.5	Efecto de los esfuerzos residuales sobre el maquinado	265
9.6	La maquinabilidad de las fundiciones en función de sus microconstituyentes	265
10.	Aspectos económicos	268
10.1	Introducción	268
10.2	El desgaste	269
10.3	Duración de la herramienta	273
10.4	Criterios de economía en la selección de la velocidad	275

P R O L O G O

Esta obra ha sido elaborada como producto de la inquietud permanente que por el conocimiento teórico de los diferentes fenómenos que se presentan en los procesos de maquinado existe tanto de parte de estudiantes como del grupo de gentes que en sus actividades diarias mantienen relación con estos procesos.

El conocimiento teórico de los fenómenos que se presentan en el proceso del maquinado permite en las aplicaciones prácticas el determinar la influencia de los diferentes elementos involucrados y así lograr un proceso óptimo, refiriéndonos en este punto al concepto productividad.

El maquinado como cualquier proceso productivo requiere de ciertos recursos. La productividad en cualquier trabajo elaborado esta en relación con los recursos consumidos. La productividad es mayor en la medida en que la mezcla de los diferentes recursos empleados es menor sin mengua de la calidad esperada.

Deseo que este trabajo pueda ser un manual de consulta para los técnicos en los procesos de maquinado y que de alguna manera contribuya al mejor conocimiento de áreas tan importantes como lo es ésta.

Agradezco ampliamente la asistencia y ayuda que los señores ingenieros Jorge Murillo Borrego, José Papaterra Cabello y el Dr. Yvan Houbaert Irmen se permitieron brindarme en la elaboración del presente trabajo.

RAFAEL GARCIA CRUZ.

Capítulo 1: Introducción

1.1 El Maquinado dentro de los Procesos de Manufactura.

El proceso de corte por desprendimiento o arranque de viruta constituye uno de los procesos que integran el grupo denominado "Procesos de Corte" en la clasificación general más aceptada de los Procesos de Manufactura. Esta clasificación está definida por los siguientes grupos:

1. Procesos por Fundición.
2. Procesos por Deformación.
3. Procesos de Corte
4. Procesos especiales.

Procesos por Fundición.

La característica principal de este grupo radica en que la obtención de la forma final deseada se logra mediante el vaciado del metal en estado líquido a recipientes denominados moldes - los cuales en su interior alojan el metal líquido hasta su solidificación. Una vez solidificado el material, éste es extraído de diversas maneras, del interior del molde obteniéndose así la pieza deseada.

Los procesos de manufactura por fundición han sido -- ampliamente desarrollados y actualmente existe una tecnología en permanente evolución.

Procesos por Deformación.

A diferencia de los procesos por fundición, en este grupo se obtiene la forma deseada sin recurrir a cambios en el estado físico del material. Esta es una característica común entre este grupo y los procesos de corte por lo cual algunos autores le denominan a

ambos el grupo de procesos de manufactura en estado sólido.

En este grupo de procesos por deformación se logra - la forma deseada aplicando esfuerzos mecánicos al material hasta - llevarlo a su región plástica y así lograr deformaciones permanen- tes que finalmente corresponden a la forma deseada. Otra caracte- rística importante de este grupo consiste en que las transformacio- nes se realizan prácticamente a volumen constante o en otros térmi- nos no existe remoción de material. Si bien la transformación en - este grupo se logra en estado sólido, es usual el calentar los ma- teriales en su estado sólido para modificar sus propiedades plásti- cas y así obtener beneficio en su procesado. Con objeto de ubicar- nos dentro de este grupo, a continuación se describen en forma gené- rica algunos de los procesos más comunes.

Forjado.

Consiste en la transformación del metal a la forma - deseada mediante martillado, ó presionado. Se considera como el pro- ceso más antiguo.

En la actualidad se han desarrollado una gran varie- dad de equipos para este proceso, lo cual permite cubrir una amplia gama de partes de tamaños y formas diferentes. La mayoría de los procesos de forja se realizan en caliente, sin embargo, existen al- gunos metales que pueden ser forjados en frío. En términos genera- les existen dos tipos de equipos: El martillo de forja, el cual pro- duce fuertes golpes sobre el metal a forjar y la prensa de forja, - la cual somete al metal a una fuerza de compre- sión de baja veloci- dad. Asimismo el proceso se divide en forja abierta y forja cerrada.

Rolado.

Consiste en la deformación plástica del metal por el

paso de este a través de rodillos. Este proceso es ampliamente usado ya que por su naturaleza permite altos rangos de producción y un cierto control dimensional en el producto final. Al igual que en el forjado, el proceso de rolado, se realiza en caliente y en frío. El rolado en frío de los metales ha alcanzado gran importancia en la industria por las ventajas en acabado superficial, control dimensional y resistencia mecánica que sobre el rolado* es posible producir -hojas, soleras, plancha, barras y perfiles estructurales diversos.

En el proceso de rolado, el material es sometido a --altos esfuerzos de compresión, por el apriete de los rodillos y a -- fuertes esfuerzos de corte como resultado de la fricción entre los rodillos y la pieza. La fricción produce también el efecto del desplazamiento del material entre los rodillos.

Extrusión.

Es el proceso por el cual se logra la reducción de la sección transversal de un bloque de material original a la sección transversal de la forma deseada. La reducción se logra forzando al material original a fluir a través de un dado horadado con el perfil deseado. El flujo del material se logra con la aplicación de altas presiones. Generalmente la extrusión es empleada para producir barras cilíndricas o tubos, sin embargo, también se obtienen formas de sección transversal irregular de metales con buenas propiedades de extrusión, como es el caso del aluminio. Debido a los altos esfuerzos requeridos en la extrusión, la mayoría de los metales se extruyen en caliente, condición en la cual su resistencia a la deformación es baja. A pesar de lo anterior es posible realizar la extrusión en -- frío en algunos metales y este proceso ha logrado importancia considerable.

La aplicación de las fuerzas en este proceso origina una reacción del metal contra el recipiente (container) y el dado -

* en caliente se logra. Mediante el proceso de rolado

que a su vez produce un esfuerzo permanente de compresión que elimina considerablemente las fracturas e irregularidades del metal que de su proceso original de obtención acarrea. Por esta razón el proceso cobra especial importancia en metales que por otros procesos -- presentan dificultad para ser conformados como es el caso de aceros-inoxidables, aleaciones base níquel y otros materiales resistentes - a altas temperaturas.

La principal clasificación que del proceso de extrusión puede hacerse consiste en extrusión directa y la indirecta. En la primera de ellas el material es forzado a fluir por el dado con la aplicación directa de la fuerza sobre el material, manteniéndose fijo el dado. En la extrusión indirecta o invertida el material es presionado por el dado, el cual se va introduciendo en el recipiente (container) a medida que el material va fluyendo por la zona de forma, normalmente al centro, del mismo dado.

Una de las ventajas relevantes de la extrusión indirecta es que en ésta el material no es desplazado sobre las paredes del recipiente, reduciéndose así la fuerza requerida para la extrusión. Sin embargo, una de sus principales limitaciones es la restricción de la fuerza aplicada, dado que el émbolo debe ser hueco para permitir el paso del metal extruído.

Estirado.

Consiste en disminuir la sección transversal de un material original por medio de la aplicación de una fuerza de tensión en uno de sus extremos. La forma deseada se obtiene debido a la presencia en el proceso del dado de forma, a través del cual fluye el material que es estirado. La deformación plástica ocurre en la zona del dado y es debida a esfuerzos de compresión que se generan entre el dado y el material como reacción de la fuerza de tensión aplicada. Usualmente con el estirado se obtienen formas circulares aunque también es posible obtener otros perfiles.

Trabajo en lámina.

El obtener formas determinadas a partir de lámina - es un proceso del cual existen una gran variedad de modalidades. - En términos generales, las formas se logran por estiramientos y -- contracciones de la hoja en todos sentidos. Así mismo dentro del trabajo en lámina podemos hablar en general de operaciones de corte y operaciones de formado. Las operaciones de corte se realizan empleando diferentes técnicas teniendo en común todas ellas que el corte se logra por separación como es el caso, por ejemplificar, - del cizallado. Dentro de las operaciones de formado podemos hacer una clasificación general formada por dos principales grupos que - son: Formado y Embutido. El trabajo en lámina metálica ha alcanzado en la actualidad una gran importancia en la fabricación de artícu- los metálicos. Sus diversos procedimientos de trabajo son cada vez más empleados dada su gran variedad de productos posibles.

Procesos de Corte.

En este grupo de procesos se realiza una separación del material mediante la aplicación de fuerzas que concluyen por - llevar al material procesado al límite de su región plástica dándo- se así la ruptura. La descripción anterior de los procesos de cor- te corresponde a lo que podríamos denominar procesos clásicos, ya que actualmente se practican otros procesos, como son los que emplean -- medios químicos o electrónicos para lograr el corte. Dentro de los que denominamos procesos clásicos, podemos hacer una subdivisión de- los principales grupos: Corte sin presencia de viruta y Corte por arranque de viruta. Este último es el denominado maquinado cuando hablamos de materiales metálicos. El corte sin presencia de viruta queda ejemplificado por el corte por cizalla o troquelado.

Procesos especiales.

La creación de este grupo de procesos satisface la ne

cesidad creada por el desarrollo alcanzado en material de procesos de manufactura, de productos metálicos, que por su naturaleza no quedan incluidos dentro de los tres primeros. Tal es el caso de la soldadura, tratamientos térmicos, acabados superficiales, unión por medio de adhesivos, pintura, etc.

1.2 Historia del Estudio del Proceso de Maquinado.

El proceso de corte de metales mediante remoción de -- material en forma de viruta, de manera bien organizado, data aproximadamente de la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo, el dar forma a los materiales por el desprendimiento de pequeñas partículas o partes de ellos debido al empleo de herramientas adecuadas data de muchísimos años. En recientes excavaciones en Tanganica, Africa, se encontraron restos fósiles humanos acompañados por pertenencias entre las cuales había varias herramientas primitivas de corte por remoción de material. Estos restos se calcula que sean de hace 600 000 a 1 000 000 de años. De la misma manera se sabe que en Egipto alrededor del año 4 000 A.C. se realizaban operaciones de perforación de piedras haciendo uso de rústicas brocas operadas manualmente.

El proceso de corte de materiales por remoción se dió en la naturaleza como respuesta a la necesidad del hombre de adaptar su medio a sus demandas. El empleo de este proceso a nivel industrial en magnitud considerable tuvo sus principios como antes se mencionó, en la segunda mitad del Siglo XIX. Fue entonces cuando a los científicos de la época les inquietó el profundizar en los aspectos teóricos y técnicos del fenómeno con el principal objetivo de optimizar su aprovechamiento.

Existen diversas obras que tratan de resumir el avance científico del estudio de este proceso. Sin embargo no existe en todas ellas una gran coincidencia en los avances del entendimiento del proceso a través del tiempo. Dado que la intención de este capítulo es familiarizar al lector con las transformaciones conceptuales y los

problemas con que los investigadores de las diferentes épocas se topa-
ron para lograr el entendimiento actual del proceso, la narración que
a continuación se realiza pretende contemplar estos aspectos.

Al parecer, la primera preocupación de los investigado-
res fue el relacionar la cantidad de remoción lograda con la cantidad
de trabajo invertido, fué así como en el año de 1851 se generó una de
las primeras obras, de las que se tiene conocimiento en la cual su --
autor Cocquilhat se aboca a la búsqueda de esta relación y sus princi-
pales factores de influencia. La obra tiene un gran valor histórico
y gran importancia, dado que marcó el inicio de un sinnúmero de inves-
tigaciones que culminarán con el esclarecimiento y desarrollo de nue-
vas y mejores técnicas. Sin embargo, su aportación científica fue --
incipiente. En el año de 1873 se editó la obra de Hartig quien ya --
presenta gran información tabulada del trabajo requerido para la re--
moción de varios materiales.

Por la misma fecha en que Hartig publicó su obra se --
despierta el interés por el estudio del mecanismo de la formación de
la viruta y se manifiesta con la publicación de la obra de Thime en -
1870 quien emite una teoría que tuviera gran similitud con la teoría-
actual del mecanismo de corte. Thime en su obra se refiere ya al cor-
te en materiales dúctiles y al corte en materiales frágiles así como-
a la presencia de los planos de cizallamiento. En 1873 el investiga-
dor francés Tiesca edita su obra sobre el mecanismo de formación de -
la viruta en la cual existen algunas diferencias contra la teoría de
Thime, siendo una de las principales, el atribuir al desprendimiento de
la viruta el efecto de someter al material a esfuerzo de compresión.

En el año de 1881 aparece la obra de Mallock quien ha-
ce notar nuevamente el fenómeno del cizallamiento en el desprendimien-
to de la viruta con lo cual coincide en parte con la teoría de Thime.-
En su obra trata además algunos otros aspectos del proceso como son -
la presencia y efecto del rozamiento entre la viruta y la cara de la
herramienta, el efecto de empleo de lubricantes, el efecto causado --

por variación de afilado el fenómeno de la inestabilidad que causaba la presencia de las indeseables vibraciones. Sin duda la concepción lograda por Mallock del proceso fue muy acertada, esta aseveración es posible efectuarla dado que sus conceptos son congruentes con la teoría manejada actualmente. Sin embargo, sus contemporáneos no pensaban de igual manera y así fue como en 1900 aparece la obra de Revleax.

Algunos escritores consideran como un retroceso en el entendimiento del proceso la aparición de esta obra, siendo su concepto de mayor crítica actual, el considerar el desprendimiento de la viruta semejante a la rajadura de la madera ante la acción de un cuchillo o herramienta de corte.

Fue alrededor de 1905 cuando apareció la obra de Taylor quien realizaba, a su concepción, un resumen de lo logrado en los últimos 26 años de investigación. Taylor aportó grandes avances al estudio del proceso de corte combinando sus estudios con la optimización de la producción, mediante el análisis de los elementos del trabajo ya que como es de conocimiento general Taylor es considerado como uno de los iniciadores de la Ingeniería Industrial. Entre las cosas relevantes de su obra se encuentra el efecto en el corte del material de la herramienta y el efecto de las condiciones de operación en la vida de la herramienta. El enfoque principal de su trabajo consistió en determinar y establecer relaciones empíricas entre los factores concurrentes en el Proceso a fin de poder definir las que pudieran ser condiciones óptimas. Es de hacer notar que la ley empírica de Taylor que relaciona la velocidad de corte con la vida de la herramienta es empleada aún en la actualidad para estudios de tipo económico. Es notable también el desarrollo que logró junto con White en el campo de los materiales para herramientas y particularmente con el tratamiento térmico que se denominó Taylor-White y que dio principio al uso de los aceros rápidos. A pesar del gran impulso que dió el proceso de corte, en la actualidad existen algunos investigadores quienes no comulgan del todo con la teoría de Taylor-

en lo que se refiere al mecanismo de formación y desprendimiento de la viruta.

Por la misma época en que Taylor publicó su obra apareció también la obra de Nicholson and Smith, quienes enfocaron su trabajo al estudio del comportamiento de la fuerza de corte. Sin embargo dado que sus estudios se realizaron sobre experimentos a velocidades bajas por problemas técnicos de instrumentación, los resultados no fueron del todo eficaces. A partir de esta época, debido al auge industrial, se desarrollaron una serie de trabajos e investigaciones tendientes al pleno entendimiento del proceso.

Los principales problemas con los que topó aquel grupo de investigadores era el no contar con el equipo instrumental necesario que permitiera observar el proceso bajo condiciones verdaderas y prácticas. De esta manera se consumieron varios años abocados principalmente al desarrollo de instrumentos que permitieran observar el proceso bajo condiciones de buen grado de fiabilidad.

Entre algunos de los investigadores más destacados - podemos mencionar a Coker en 1922 quien trató de observar el fenómeno de penetración y el estado de esfuerzos creado empleando como material un plástico transiúcido el cual era fotografiado una vez que era atacado por la herramienta. En el año de 1938 el Laboratorio de la Cincinnati Milling Machine Company realizó experimentos semejantes. Los resultados obtenidos fueron realmente espectaculares, sin embargo, por las diferencias entre el material empleado en el experimento y los materiales reales empleados, las conclusiones obtenidas carecieron de congruencia con las condiciones reales.

También en el año 1922 Rusenhaim y Sturney publican su obra en la cual explican el mecanismo de formación y desprendimiento de viruta incurriendo en el error de considerar los planos de cizallamiento en orientaciones irreales, según autores contemporáneos.

Las primeras obras que visualizan el mecanismo del - corte bajo los conceptos que se manejan actualmente aparecen por los años de 1925 en adelante. Tal es el caso de E. G. Herbert de Man--chester, Inglaterra, quien en 1926 emite una obra de gran valor cien--tífico y que sin embargo en la época en que apareció dió origen a un sinnúmero de controversias que finalmente fueron esclarecidas y el - avance de esta materia se siguió realizando bajo aquéllos conceptos--teóricos básicos. Entre algunos otros investigadores que desarrolla--ron grandes e interesantes trabajos en fechas ya más recientes pode--mos mencionar a Ernest y Martelloti en 1935, Ernest y Merchant en --1941 y al Dr. Patkay en 1944, este último inició su gran labor de --investigación desde 1928 a raíz de la obra de E.G. Herbert.

En la actualidad el mecanismo de la formación y des--prendimiento de la viruta cuenta con un amplio grado de entendimien--to. El trabajo realizado sobre este tema está enfocado más bien a - la búsqueda de otras técnicas que mejoren el aprovechamiento del pro--ceso. Los avances logrado en materia de instrumentación y fotograffa--nos ponen en buena situación para desarrollar el proceso con rapidez.

A lo largo de esta obra se enunciarán en los capítulos correspondientes algunos tópicos indicadores del nivel de desarrollo actual en los diferentes aspectos concernientes al proceso de corte - de metales por desprendimiento ó arranque de viruta.

Capítulo 2: Estudio de los factores propios al material y afectando su maquinabilidad.

2.1 Introducción

No es nada fácil definir el concepto básico del presente curso: la "maquinabilidad". En general, las definiciones empleadas se refieren a algunas propiedades del material durante su proceso de corte por medio de arranque de viruta, y se reducen a menudo a una simple comparación de un material con otro desde el punto de vista de la vida de la herramienta o bien con respecto a la cantidad (ó volumen) de material que puede ser removido en determinadas condiciones de tiempo, avance, potencia, etc..., o bien desde el punto de vista de la facilidad con la cual se logra algún tipo de acabado superficial.

En general, cuando se utiliza el concepto "maquinabilidad", no se hace ninguna referencia a las calidades específicas y parámetros geométricos de la herramienta que se usa o conviene que se use para evaluar la maquinabilidad relativa.

Sin embargo, según las teorías actuales, es absolutamente necesario evaluar la maquinabilidad de un material basándose en las diversas propiedades microestructurales, físicas, mecánicas (elásticas y plásticas) del material en cuestión, así como también en la forma geométrica de la herramienta y además, en menor grado, en el tipo de lubricante y enfriante utilizado.

El siguiente ejemplo práctico aclara estas consideraciones: un acero de bajo carbono al cromo-níquel para cementación en caja presenta en general menor maquinabilidad que un acero no aleado con 0.35% C (tipo 1035). Sin embargo, cuando se maquina con la forma más adecuada de herramienta, es posible eliminar la misma cantidad de material en el mismo tiempo y con una vida de herramienta muy similar, el mismo gasto de energía y resultados parecidos con respecto al acabado superficial.

El principal objetivo del presente curso es tratar de analizar paso por paso cada uno de los factores que influyen la maquinabilidad, empezando en el presente capítulo con los factores inherentes al material mismo.

Uno de los errores más comunes en la estimación de la maquinabilidad de un material es basarse únicamente en datos de dureza y resistencia a la tracción. Existen mucho más propiedades del material que son de primera importancia para la maquinabilidad, como veremos a continuación.

En los párrafos siguientes estudiaremos brevemente la micro- y macro-estructura de los materiales metálicos, sus propiedades mecánicas (comportamiento elástico y plástico) y el efecto de factores como velocidad de deformación y temperatura de la pieza. Para mayor información sobre fenómenos mecánicos de los materiales metálicos nos referimos a nuestra publicación: "Comportamiento mecánico de los materiales metálicos".

2.2 El enlace metálico.

Debido a que en el proceso de corte de metales se romperá la unión interatómica para desprender la viruta, es útil estudiar en primera instancia cuáles son las fuerzas de unión existentes entre los átomos del metal.

No cabe dentro del objetivo del presente texto entrar en detalles de física del estado sólido, y nos contentaremos entonces con una explicación breve y esquemática del enlace interatómico llamado "metálico".

Cada material se compone de partículas muy pequeñas, las cuales ya no se pueden reducir más en tamaño sin perder sus propiedades características. Estas pequeñas partículas pueden ser moléculas o átomos. Los metales puros, como p. ej. Cu, Al, Fe, ..., se componen únicamente de un sólo tipo de átomos, mientras que compuestos como agua (H_2O), aceite, madera, plásticos, ... se componen de moléculas que son agrupamientos de átomos diferentes.

Responsable para la unión entre átomos en metales o en compuestos moleculares son los electrones de los átomos, los cuales siguen reglas muy estrictas establecidas por la mecánica cuántica.

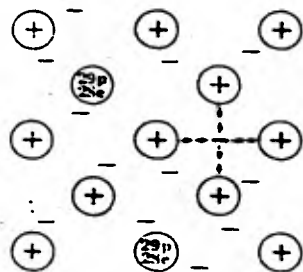


Figura 1 : Representación esquemática del enlace metálico : una nube de electrones libres alrededor de los cationes metálicos actúa como un pegamento

El enlace metálico, p. ej., se debe a una compartición generalizada de aquellos electrones del átomo metálico que no estaban fuertemente ligados al núcleo positivo. La Fig. 1 representa esquemáticamente tal enlace: observamos un arreglo geométrico de átomos de cobre con carga positiva (o sea cationes = iones con carga positiva) y una multitud de electrones llamados "libres" porque ya no pertenecen directamente a un solo átomo.

Estos electrones libres actúan como pegamento entre los átomos del metal y son responsables para la unión (el enlace) metálico, y, además, para varias propiedades típicas de los metales, como son: su plasticidad, su buena conducción térmica y eléctrica, etc...

Otra consecuencia del enlace característico metálico es la formación de una estructura cristalina que estudiaremos en el siguiente párrafo.

2.3 Estructura cristalina de los metales.

Por estructura cristalina se entiende la disposición recíproca de átomos, en un cristal. En un metal gaseoso la interacción entre los átomos, que poseen una gran energía cinética, es pequeña y se desplazan en el espacio en forma caótica. Al pasar el metal al estado líquido y posteriormente al estado sólido, la distancia entre los átomos disminuye y la interacción entre ellos aumenta. El carácter de la interacción de los átomos está determinado por la configuración de sus capas electrónicas periféricas. Los átomos de los metales tienen una pequeña cantidad de electrones periféricos (electrones de valencia), que están débilmente enlazados con el núcleo.

Como se vió en 2.2, al acercarse los átomos, los electrones que se encuentran en las capas periféricas pierden el enlace con sus propios átomos, gracias a que se desprende el electrón de valencia de un átomo bajo la influencia del núcleo cargado positivamente de otro, de éste bajo la influencia del siguiente y así sucesivamente. Tiene lugar una especie de colectivización de electrones por los átomos de la masa dada del metal.

Los iones en el metal sólido están ubicados a tal distancia el uno del otro y en tales puntos del espacio, en los cuales las fuerzas de atracción que surgen por la interacción de los iones con el gas electrónico y las fuerzas de repulsión mutua se compensan. Cada metal puro está formado de átomos iguales, por eso la distancia entre estos puntos espaciales en determinadas direcciones deben ser iguales.

Esto conduce al hecho de que los átomos (iones) de los metales están ubicados uniformemente en el espacio, formando una red cristalina (espacial). La red cristalina está formada de líneas y planos imaginarios que pasan por los puntos de ubicación de los iones en el espacio. Estos puntos han recibido el nombre de nudos de la red cristalina.

Los iones en los nudos de la red cristalina oscilan con una frecuencia del orden de 10^{13} oscilaciones por segundo. Este movimiento no cesa incluso a una temperatura próxima al cero.

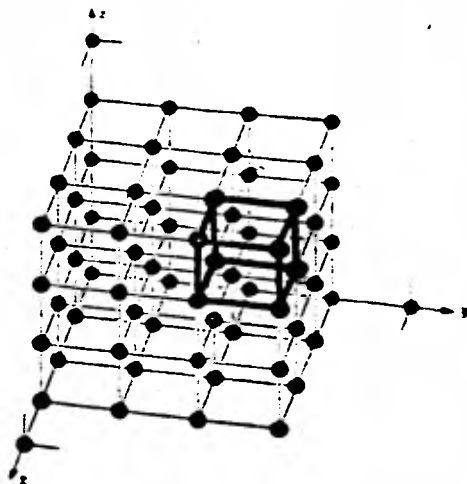


Figura 2 : Representación general y esquemática de una red cristalina tridimensional : la celda unitaria aparece con trazos más gruesos

Un ejemplo de este tipo de red se muestra en la figura 2. Con líneas gruesas se indica el menor paralelepípedo mediante cuyo desplazamiento sucesivo a lo largo de sus tres ejes se puede construir todo el cristal.

Este volumen mínimo del cristal, que da una idea sobre la estructura atómica del metal cualquiera que sea su volumen, recibió el nombre de celda unitaria (c.u.).

Para su característica simple es necesario conocer las siguientes magnitudes: tres aristas (a, b y c) y tres ángulos entre los ejes α, β y γ . La red más sencilla es la cúbica, en la que $a=b=c$ y $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$.

No sólo los metales tienen una estructura cristalina: la mayoría de los materiales cerámicos (enlace iónico) tiene una estructura cristalina y algunos polímeros (enlace covalente intramolecular y Van der Waals

(intermolecular) logran un alto grado de cristalización.

Sistemas cristalinos de los metales.

La mayoría de los metales forman una de las siguientes redes cristalinas de alta simetría con un empaquetamiento compacto de los átomos:

- a. estructura cúbica de cuerpo centrado: ccuc (inglés bcc=body centered cubic), Fig. 3.
- b. estructura cúbica de caras centradas: ccac (inglés fcc=face centered) Fig. 4.
- c. estructura hexagonal compacta: hc (inglés hcp=hexagonal close packed), Fig. 5.
- d. estructura tetragonal de cuerpo centrado: tcuc (inglés bct=body centered tetragonal), Fig. 6.

En las figuras se dan las representaciones convencionales de las redes cristalinas nombradas y los esquemas de empaquetamiento de los átomos (iones) que dan una idea bastante clara sobre cada estructura.

Como se puede observar en la Fig. 3, en la red cúbica de volumen centrado (cuerpo centrado) los átomos están ubicados en los ángulos de un cubo y uno en el centro del cubo. La red cúbica de cuerpo centrado se puede encontrar en los siguientes metales: Rb, K, Na, Li, Ti-beta, Zr-beta, Ta, W, Mo, V, Fe-alfa, Cr, Nb, Ba. (los índices alfa, beta y gama señalan que los metales correspondientes tienen distinta estructura cristalina o modificaciones alotrópicas a distintas temperaturas).

En la red cúbica de caras centradas los átomos están ubicados en los ángulos del cubo y en el centro de cada cara (figura 4). Tienen este tipo de red los siguientes metales: Ca-alfa, Ce-beta, Sr, Th, Pb, Sc-alfa, Ni, Ag, Au, Pd, Pt, Ir, Fe-gama, Cu, Ca-alfa.

En la red hexagonal (Fig. 5), los átomos están ubicados en

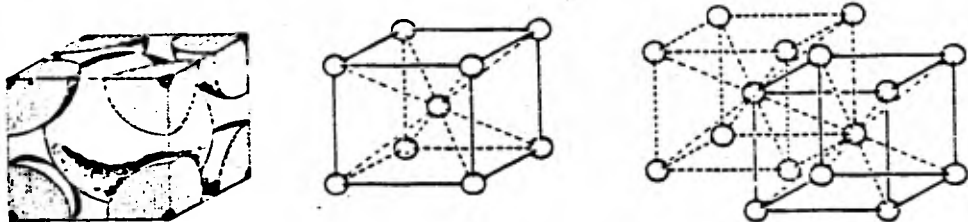


Figura 3 : Estructura cúbica a cuerpo centrado

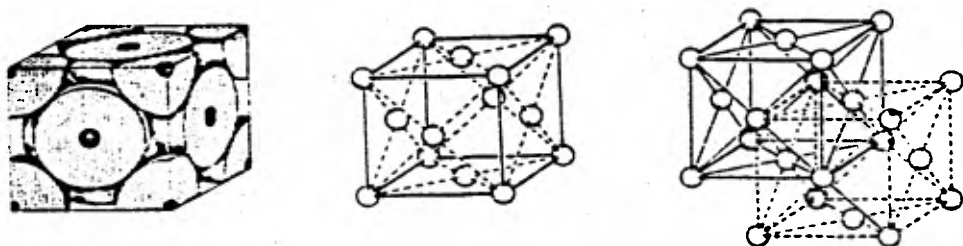


Figura 4 : Estructura cúbica a caras centradas

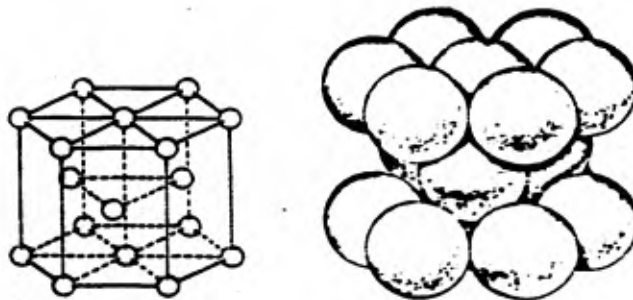


Figura 5 : Estructura hexagonal compacta

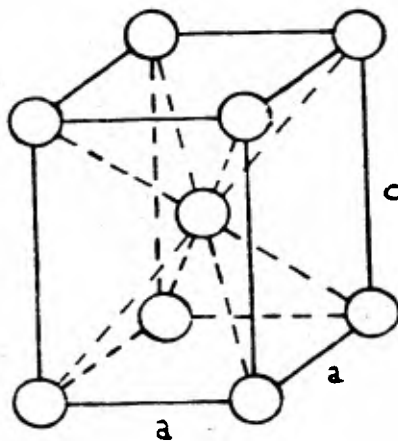


Figura 6 : Estructura tetragonal a cuerpo centrado

los ángulos y en el centro de las bases hexagonales del prisma y tres átomos en el plano medio del prisma. Tienen este empaquetamiento de átomos los metales: Hf, Mg, Ti-alfa, Cd, Re, Os, Ru, Zn, Co-alfa, Be, Ca-beta, Sc-beta, Y, La-alfa, Zr-alfa.

Finalmente, algunos metales (Mn-gama, In) tienen una red tetragonal ($a=b \neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$).

Las distancias entre átomos de la red se denominan períodos de la red. El período de la red se expresa en angstroms Å ó bien en kiloequis kx ($1\text{kx}=1,00202 \times 10^{-8} \text{ cm}$).

El período de la red de metales, que se cristalizan en el sistema cúbico se encuentra entre los límites de 0.286 a 0.607 nm (de 2.86 a 6.07 Å). En el sistema hexagonal $a=0.228 \text{ a } 0.398 \text{ nm}$ (2.28-3.98 Å) y $c=0.357 \text{ a } 0.652 \text{ nm}$ (3.57-6.52 Å).

2.4 La micro-estructura de los metales y sus defectos.

Cuando un metal pasa del estado líquido al estado sólido (o sea: se solidifica), se forma una multitud de pequeños cristales, los cuales van creciendo hasta formar una masa sólida, compacta, "policristalina".

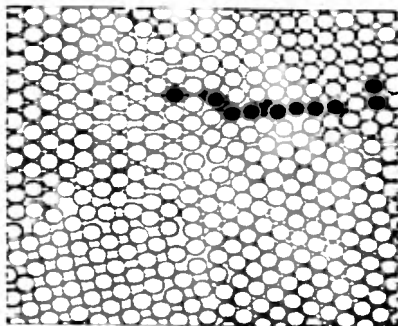


Figura 7 : Representación esquemática de la microestructura de un material policristalino; se notan diferentes cristales separados por límites de grano

Como podemos observar en la figura 7 lo más probable es que cada cristal tenga otra orientación, de modo que se formarán zonas de desorden o de defectos entre cada uno de los granos. Estas zonas se llaman "límites de grano" y presentan en general un comportamiento ligeramente diferente de aquel del material interior del grano: p. ej., durante el ataque químico después del pulido metalográfico, los límites de grano se disuelven preferentemente (ver cursos de corrosión) y aparece un ligero relieve superficial, el cual nos permite observar el tamaño de grano por medio de un microscopio metalográfico óptico.

El tamaño de grano de los materiales metálicos es de gran importancia tecnológica y existen normas para clasificar los tamaños por medio de números (p. ej. ASTM GS # 8, GS= grain size).

Durante el examen metalográfico de una aleación se observa en general, además de los límites de grano, una o más fases adicionales, las cuales se deben a la presencia de elementos de aleación no completamente solubles en la fase principal, llamada "matriz". En muchos sistemas metalúrgicos, uno o varios elementos de aleación pueden bajar el punto de fusión del metal principal, formando un "eutéctico", el cual es la última parte del metal líquido que se solidificó y aparece en la microestructura como "estructura eutéctica".

Una de las aleaciones eutécticas más importantes es la fundición gris: la adición de 3.5% C al hierro baja su punto de fusión de 1535°C a aproximadamente 1200°C. El constituyente "perlita" del acero es una mezcla parecida a un eutéctico, llamada "mezcla eutectoide" de hierro-alfa (ferrita) con carburo de hierro (cementita, Fe_3C). El grafito en la fundición gris y la perlita en el acero tienen mucha influencia sobre la maquinabilidad de estos materiales.

Además de los límites de grano y partículas de segunda fase, los metales y aleaciones comerciales contienen otros defectos estructurales, como: vacancias y átomos intersticiales (responsables para procesos de difusión), dislocaciones (veremos a continuación su influencia sobre la plasticidad de los metales) y defectos de volumen como microporosidad, microgrietas, etc...

Todos estos elementos determinan la microestructura del material metálico.

2.5 Propiedades mecánicas de materiales metálicos.

En lo que sigue, nos limitaremos a los aspectos de importancia desde el punto de vista de la maquinabilidad.

2.5.1 Comportamiento elástico.

Cuando la deformación de un material se recupera después de haber quitado el esfuerzo, se habla de una deformación elástica. En muchos casos de comportamiento elástico existe una proporcionalidad entre el esfuerzo σ y la deformación ϵ , según la conocida Ley de Hooke:

$$\sigma = E\epsilon$$

En donde E es el llamado módulo de elasticidad o módulo de Young.

Este módulo elástico depende directamente y únicamente del enlace interatómico.

Un material con alto punto de fusión tiene un módulo elástico superior que un material con bajo punto de fusión (ver tabla siguiente).

T A B L A

Material	Módulo elástico	Punto de fusión
TiC	45×10^6 psi	3180 °C
W	50	3410
Fe	30	1539
Cu	16	1083
Al	10	660
Pb	2.2	327

La figura 8 muestra esquemáticamente el mecanismo de la deformación elástica en un modelo de esferas duras: cuando se aplica el esfuerzo de corte τ indicado en la figura, el átomo 1 se mueve ligeramente hacia la derecha, rodando sobre el átomo 3 y aumentando así la distancia entre los átomos 1 y 2. Si no sobrepasamos el punto de caballete, el átomo regresa a su posición inicial en el hueco entre los átomos 2 y 3 si eliminamos el esfuerzo mecánico.

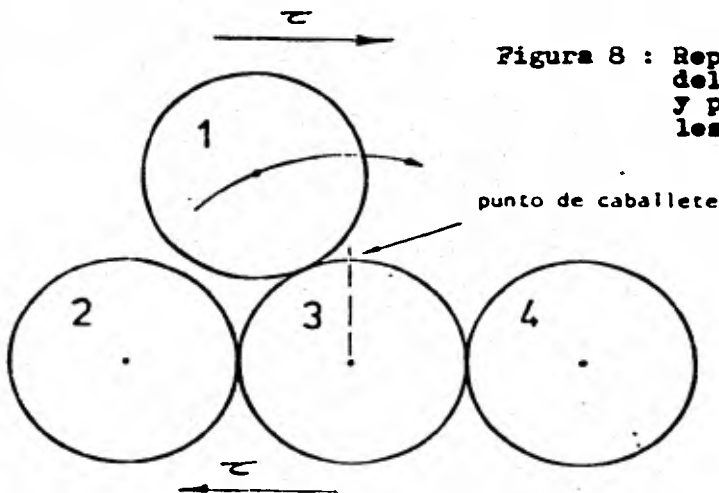


Figura 8 : Representación esquemática del comportamiento elástico y plástico de los materiales

2.5.2 Comportamiento plástico.

Si el esfuerzo cortante aumenta tanto que el átomo 1 sobrepasa su punto de caballete, el átomo cae definitivamente en la posición entre 3 y 4 y no puede regresar: deformación plástica.

Este modelo simplificado da una idea de la diferencia entre el comportamiento elástico y plástico, sin embargo, no corresponde a la realidad.

En efecto, el cálculo matemático, efectuado en base al modelo de la figura 8, lleva a esfuerzos críticos para la deformación plástica

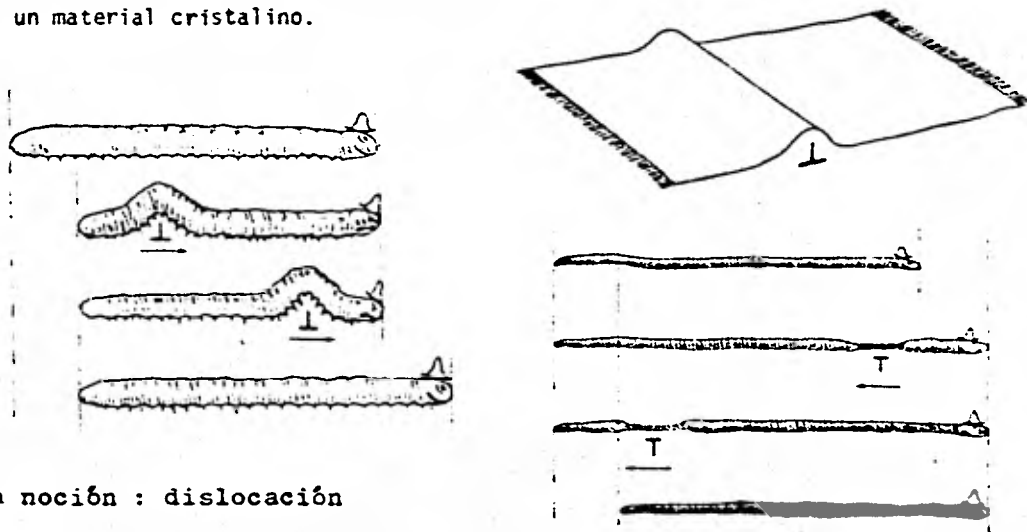
ca que sobrepasan de cien hasta mil veces el valor experimental.

El error consiste en la suposición que el movimiento del átomo 1 sobre la hilera 2-3-4 ocurre simultáneamente para todos los átomos del tipo 1 que se encuentran en un plano cristalográfico compacto. Este no es el caso.

En la mitad del siglo actual, varios investigadores propusieron que la deformación plástica no ocurre simultáneamente con todos los átomos del plano compacto, sino a través del movimiento de un defecto con extensión reducida, llamado dislocación.

Esta teoría fué comprobada por medio de la microscopía electrónica, de modo que ahora podemos afirmar con certidumbre que la deformación plástica se debe a un corrimiento de dislocaciones.

Existen varias imágenes para describir la dislocación y su corrimiento, como por ejemplo la siguiente. Para mover una alfombra de muy grandes dimensiones, podemos introducirle una arruga en alguna parte y luego dejar correr esta arruga a través de toda la alfombra. Terminando este movimiento, la alfombra entera se habrá movido una cierta distancia. Esto es el mismo mecanismo como el corrimiento de una dislocación a través de un material cristalino.



La noción : dislocación

2.5.3 El endurecimiento.

El estudio de las propiedades mecánicas de los metales coincide esencialmente con el de sus propiedades plásticas. Por otra parte, éstas tienen un gran interés práctico, ya sea que se utilicen directamente en las operaciones industriales de conformación, ya que se desee eliminar o reducir al máximo toda deformación en las construcciones y piezas metálicas de cualquier clase. La actual investigación metalúrgica tiene en gran parte por finalidad la obtención de aleaciones de resistencia mecánica cada vez más elevada.

Como la deformación plástica consiste en un corrimiento de dislocaciones, el endurecimiento del material, o sea el aumento de la resistencia a la deformación plástica, se logra por el impedimento o dificultamiento del movimiento de dislocaciones. Esto se obtiene por la incorporación de defectos en la estructura metálica, como por ejemplo: nudos de dislocaciones, átomos de impureza, límites de grano, segunda fase, partículas en dispersión, etc... Cada uno de estos tipos de defectos, representa una clase en sí de endurecimiento de los materiales metálicos.

Hay que poner énfasis en el hecho que el módulo elástico de un material representa su resistencia a la deformación elástica, mientras que la dureza es la resistencia a la deformación plástica. Como se describió anteriormente, el módulo elástico es una característica atómica, o sea, no depende de la estructura del material, mientras que la deformación plástica sí depende de la estructura. No es posible modificar el módulo elástico de un material por medio de ligeras adiciones de elementos de aleación, ni por tratamientos térmicos.

Pueden ocurrir problemas prácticos cuando se olvida este aspecto. Por ejemplo, existen variedades de aluminio, llamado duraluminio, con un límite elástico igual al valor para un acero de construcción de baja aleación. Es entonces posible cargar tal aluminio con una carga igual a la que soportaría el acero, pero hay que tomar en cuenta que la deformación elástica en el aluminio es del triple de aquella del acero, ya que el módulo de Young del acero es tres veces mayor.

La deformación plástica puede ser estudiada mediante diversos ensayos de laboratorio, como por ejemplo el ensayo de tracción, que permite el estudio detallado de las propiedades mecánicas básicas y cuya interpretación es sencilla. Este ensayo debe completarse con la observación micrográfica, óptica o electrónica, que ilustra sobre las diferentes clases de deformación plástica puestas en juego.

2.5.4 La curva esfuerzo-deformación.

El aspecto de las curvas es relativamente sencillo: constan de una zona lineal en que la deformación es elástica y una zona parabólica de deformación plástica, a la que sigue eventualmente una disminución de la carga (estricción). La curva termina en un punto que corresponde a la rotura de la probeta (Fig. 9).

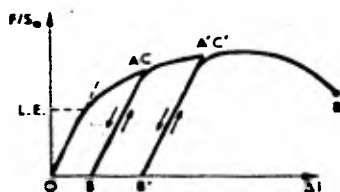


Figura 9: Curva representando la carga relativa F/S_0 . (F =carga, S_0 =área original) en función del alargamiento relativo Δl . ABC y $A'B'C'$ representan descarga y carga subsiguiente; LE = límite elástico; R = rotura.

La definición de estas zonas es el resultado de la propiedad siguiente: Si la probeta se descarga después de una deformación dada, puede ser que recobre su longitud inicial (zona elástica) o que se conserve una deformación residual (zona plástica) (véase Fig. 9). La descarga y la carga subsiguiente para la prosecución del ensayo vienen representadas en la curva por la sucesión ABC . La recta AB que representa la descarga es inclinada, puesto que la deformación elástica

correspondiente al punto A se anula; en principio, esta recta es para lela a la porción elástica inicial de la curva de tracción, ya que su pendiente es igual al módulo elástico.

Cuanto mayor es la deformación plástica (B' en lugar de B), más elevada es la carga necesaria para producir una nueva deformación de este tipo (C' en lugar de C). Esta propiedad es la que designamos con la palabra "acritud" o "endurecimiento por deformación en frío" o también "consolidación"

En términos generales, la tensión de fluencia o límite elástico (inglés: yield point) es la tensión necesaria para deformar plásticamente el metal. Depende de la deformación que ha sufrido anteriormente el mismo: por ejemplo, después de la deformación $\Delta 1$ la tensión de fluencia es simplemente la ordenada del punto correspondiente a $\Delta 1$ en la curva tensión-alargamiento. La acritud se manifiesta pues por el aumento de la tensión de fluencia en función de la deformación plástica.

Las curvas de tracción de los diferentes metales puros y aleaciones son muy variadas y los valores característicos (límite elástico, etc.) varían entre límites muy amplios.

En la figura 10 se comparan las curvas esfuerzo-deformación de 3 materiales diferentes.

- el comportamiento del material A es casi exclusivamente elástico: sólo ocurre una cantidad muy reducida de deformación plástica entre la ruptura (R) y el límite de proporcionalidad (LP); la fundición gris se acerca a este comportamiento;

- el material B experimenta gran cantidad de deformación plástica antes de llegar a la ruptura y presenta un límite elástico (LE) bien pronunciado, muy cercano al límite de proporcionalidad (LP); a partir del LE, el material B empieza a fluir plásticamente, al principio con un esfuerzo constante (deformación de Lüders), luego con un ligero aumento de esfuerzos hasta llegar a la resistencia última (RU) finalmente sigue deformándose con reducción aparente de esfuerzo

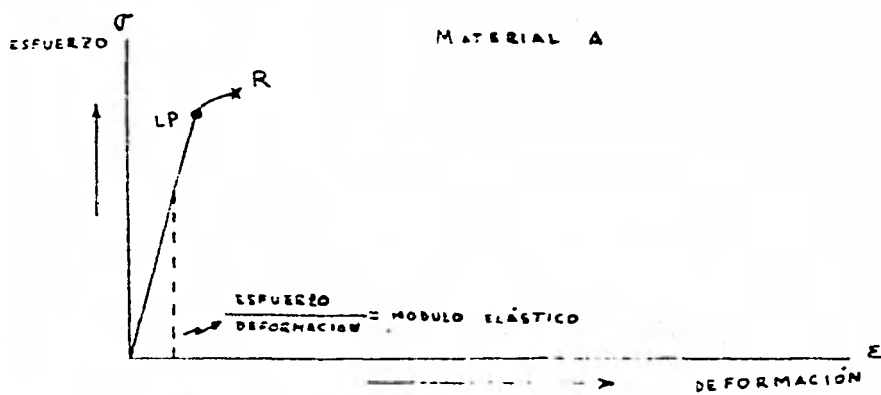


Figura 10 a

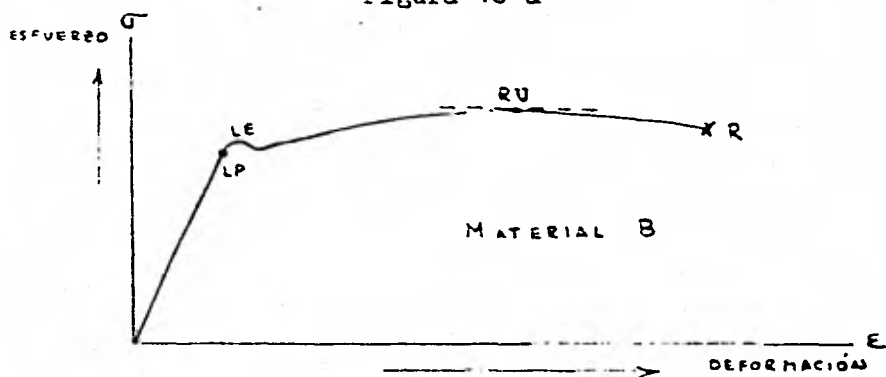


Figura 10 b

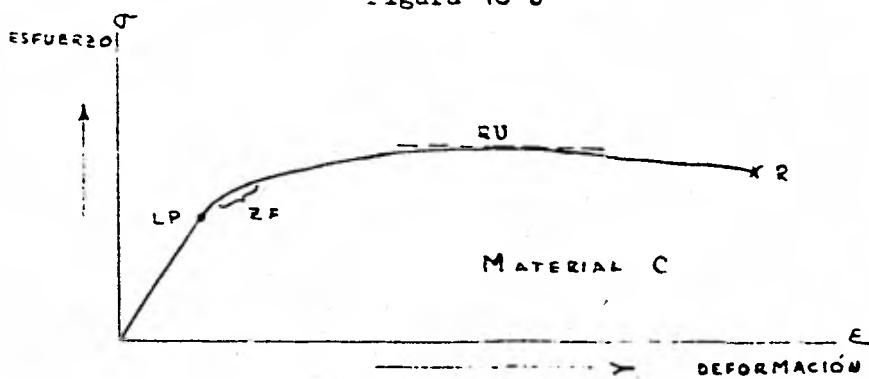


Figura 10 c

hasta la ruptura (R); los aceros de bajo y medio carbono presentan este tipo de curva esfuerzo-deformación;

- la curva del material C no presenta un límite elástico bien marcado, sino una zona de fluencia, la deformación plástica posterior es del mismo tipo como en el material B; varios aceros aleados presentan este comportamiento y pueden ser materiales problemáticos para el maquinado.

2.5.5 El concepto ductilidad

La ductilidad es una propiedad del material con carácter cualitativo y subjetivo, la cual se determina generalmente por alguno de los siguientes métodos:

1. indicando la cantidad de deformación que el material puede experimentar sin fractura durante operaciones de conformado como laminación y extrusión;
2. indicando al diseñador, en forma general, la facultad del metal de fluir plásticamente antes de la fractura; una alta ductilidad indica que el material "perdona" y tiende a deformarse localmente sin fractura en caso de que haya errores o desviaciones en el diseño sobrepasando el límite elástico del material;
3. sirviendo como indicador de variaciones en el nivel de impurezas o en el proceso de producción; mediciones de la ductilidad pueden informar la "calidad" del material, aunque no existe relación directa entre la determinación de la ductilidad y el comportamiento en servicio.

Las mediciones convencionales de la ductilidad se obtienen por medio de la prueba de tensión, determinando la deformación a la fractura e_f (llamado usualmente "alargamiento") y la reducción de área a la fractura q . Ambos datos se obtienen después de la fractura, juntando las partes de la muestra, midiendo L_f (longitud de la muestra, después de la fractura) y A_f (sección mínima de la muestra después de la fractura) y

calculando e_f y q según

$$e_f = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

$$q = \frac{A_o - A_f}{A_o}$$

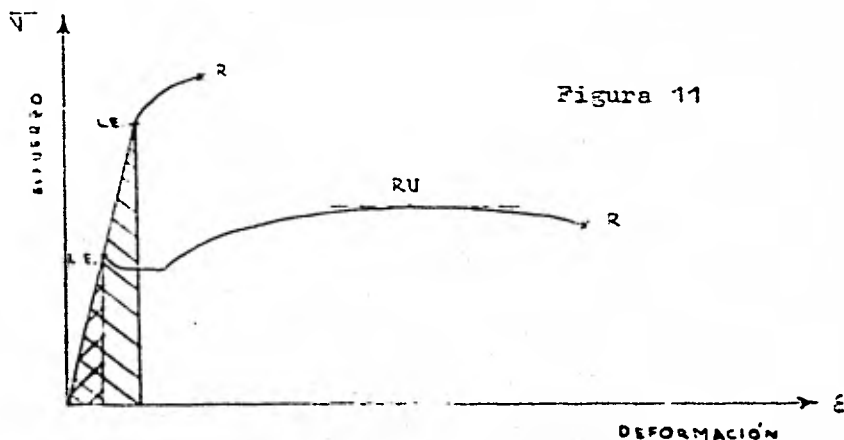
en donde L_o y A_o se refieren a la longitud original y al área original, respectivamente. e_f y q se expresan usualmente en porcentaje.

Una fracción apreciable de la deformación plástica puede ser concentrada en la región de estricción (máxima reducción de área), de modo que el valor de e_f depende de la longitud original L_o de la muestra y es necesario indicar la longitud original de la muestra, junto con el porcentaje de alargamiento.

2.5.6 Valores energéticos

a. Resiliencia

La facultad de un material para absorber energía durante su deformación elástica y de devolver esta energía cuando se descarga, se llama "resiliencia". El "módulo de resiliencia" es la energía de deformación por unidad de volumen que se requiere para llevar el esfuerzo aplicado sobre un material de cero al límite elástico.



Refiriéndose a la figura 11, el módulo de resiliencia estará dado por

$$U_R = \frac{1}{2} \sigma_E \epsilon_E = \frac{1}{2} \sigma_E \frac{\sigma_E}{E} = \frac{\sigma_E^2}{2E}$$

Nota: la ecuación anterior nos demuestra claramente, que los materiales ideales para aguantar cargas energéticas sin experimentar distorsión permanente, son aquellos de alta resiliencia, o sea con alto límite elástico y bajo módulo elástico.

A continuación, damos una tabla con datos de resiliencia de algunos materiales.

Material	E, psi	σ_E , psi	Módulo de resiliencia, U_R lb x plg/plg ³
Acero de medio carbono	30×10^6	45,000	33.7
Acero de alto carbono para muelles	30×10^6	140,000	320
Duraluminio	10.5×10^6	18,000	17
Cobre	16×10^6	4,000	5.3
Hule	150	300	300
Polímero acrílico	0.5×10^6	2,000	4.0

b. Tenacidad

La tenacidad de un material es su habilidad para absorber energía en el rango plástico y representa entonces, entre otras cosas, la facultad de aguantar sobrecargas ocasionales sin fractura, lo que es de particular interés en algunos elementos como ganchos de gruas, cadenas, etc...

La tenacidad es algo difícil de definir, pero a menudo se usa el área total debajo de la curva esfuerzo-deformación como medida de la tenacidad, representando la cantidad total de energía necesaria para llevar el material hasta la fractura.

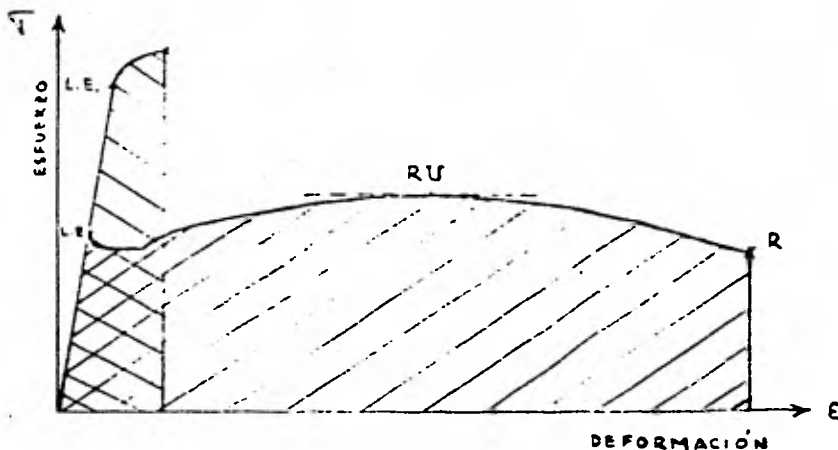


Figura 12

La figura 12 representa esquemáticamente la curva esfuerzo-deformación para un material de alta y baja tenacidad. El acero de alto carbono para muelles tiene mayor límite elástico y mayor resistencia a la tracción que el acero de medio carbono para construcción. Sin embargo, el segundo acero tiene mayor ductilidad y presenta mayor alargamiento a la ruptura, de modo que el área total debajo de su curva es mayor que en el caso del acero más resistente y entonces más "duro".

Lo anterior, visto desde el punto de vista de la maquinabilidad, significa entonces, que el acero con mayor límite elástico (más duro) y con mayor resistencia a la tracción requiere menor energía para ser maquinado que el acero más blando, pero más dúctil. Esto puede parecer contradictorio a primera vista, pero no lo es en realidad. Se discutirá más adelante que la estructura de un acero con la mejor maquinabilidad no es necesariamente la más blanda (ver capítulo 9).

2.6 Factor velocidad de deformación.

Es factible considerar la cantidad de deformación que expe

umenta un material antes de su fractura como una medida de su plasticidad. Sin embargo, la velocidad de deformación es otro factor sumamente importante que influye sobre la plasticidad. Durante una prueba de tensión clásica, el esfuerzo se aplica gradualmente, mientras que durante el maquinado la velocidad de corte puede ser tan alta que se reduce mucho la deformación, por que el material no tiene el tiempo necesario para deformarse plásticamente.

Comparemos esto con el proceso de cortar pasto con una guadaña: si la movemos lentamente en el pasto, las hierbas se doblan y no hay proceso de corte. Sin embargo, si movemos la guadaña con alta velocidad, sí cortamos el pasto, porque la inercia de las plantas se opone a la flexión.

El parámetro velocidad de deformación se discutirá con mayor profundidad durante el estudio de los aspectos prácticos del corte de metales.

2.7 Efecto de la temperatura.

Más adelante en este texto se estudiará el calentamiento, tanto del material en proceso de corte, como de la herramienta de corte, debido al trabajo y a la fricción durante el proceso de arranque de viruta. Aquí nos limitaremos a la influencia de un calentamiento sobre el comportamiento del material a cortar.

Ensayos de tracción efectuados a temperatura elevada demuestran claramente que las propiedades plásticas experimentan importantes variaciones con la temperatura, las cuales siguen diferentes patrones según el metal o la aleación en cuestión.

En general, la plasticidad aumenta con la temperatura, lo que es de importancia primordial para la maquinabilidad. Sin embargo, este aumento no siempre es continuo y gradual: en algunos materiales se observaron importantes discontinuidades de la plasticidad en función de aumento y descenso de la temperatura. Cuando la plasticidad disminuye en un determinado rango de temperatura, se habla de "fragilización".

Ahora bien, el dato más representativo de la plasticidad de un material es su reducción de área a la fractura "q", como se definió en un párrafo anterior.

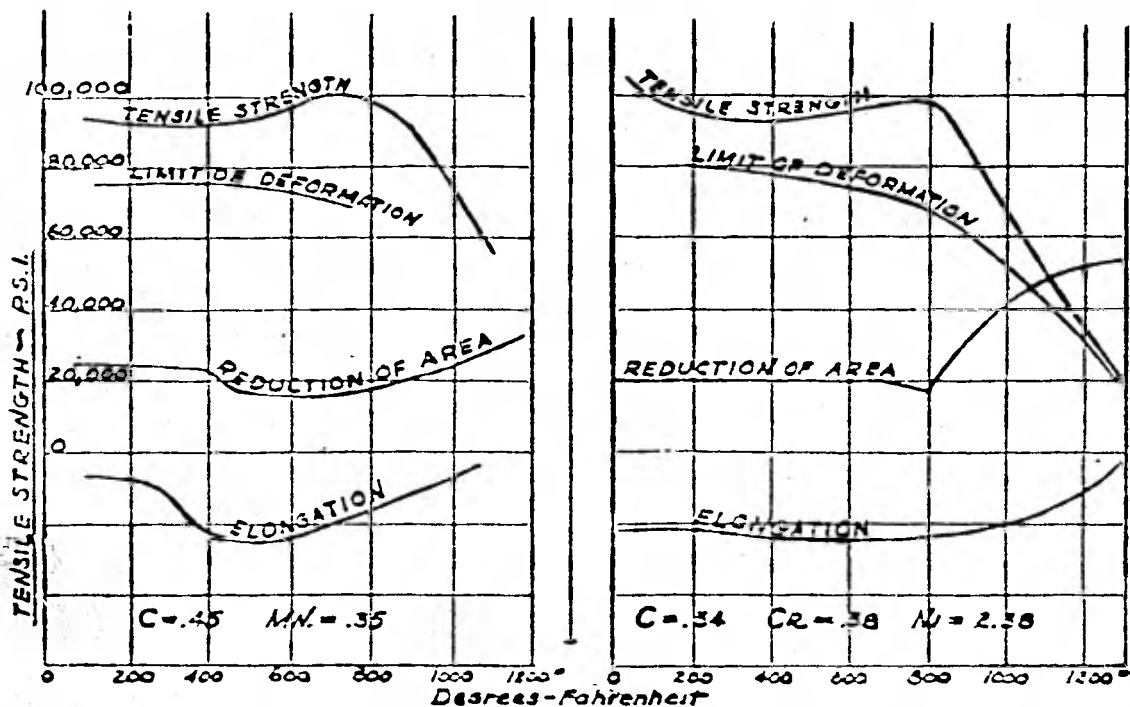


Figura 13

Estudiemos a continuación, de modo de ejemplo, las pruebas de tracción efectuadas sobre dos aleaciones de acero con composición y tratamientos térmicos diferentes, pero con una resistencia mecánica a temperatura elevada parecida, para observar la variación de la "reducción de área" en función de la temperatura.

La figura 13 representa la resistencia última, el límite de proporcionalidad, el alargamiento y la reducción de área en función de la temperatura, para las siguientes aleaciones:

- a. acero al carbono, tipo 1055, con $C = 0.45$ y $Mn = 0.35$, recocido a $885^{\circ}C$.
- b. acero aleado, con $C = 0.34$, $Cr = 0.38$ y $Ni = 2.38\%$, templado en agua desde $815^{\circ}C$.

En la gráfica del acero no aleado, la línea de la reducción de área sólo varía ligeramente hasta unos $1000^{\circ}F$, luego aumenta. En el acero aleado, la reducción de área queda invariable hasta los $800^{\circ}F$, luego disminuye bruscamente y sube después de 40 a 55% durante el calentamiento de $800^{\circ}F$ a $1300^{\circ}F$: observamos aquí un cambio brusco de la plasticidad en función de la temperatura, alrededor de los $800^{\circ}F$.

Conclusión:

Ambos materiales tienen una resistencia a la tracción muy similar, pero su maquinabilidad es muy diferente, lo que demuestra claramente que la resistencia a la tracción no es suficiente para juzgar la maquinabilidad de un material.

En el caso del ejemplo anterior, el acero al carbono tiene buena maquinabilidad, mientras que el acero al Cr-Ni presenta un aumento brusco en reducción de área a partir de los $800^{\circ}F$, lo que requiere mayor energía para maquinado, ya que la plasticidad del material aumenta bruscamente a estas temperaturas de corte. De hecho, resultó en la práctica muy difícil el maquinado de este material con herramienta convencional y se requirió una geometría de herramienta especial.

2.8 Endurecimiento por trabajo.

Uno de los principales factores de influencia sobre la maquinabilidad de un material es el hecho que la deformación interna del material consume energía y que el trabajo requerido para deformar el material antes de arrancar la viruta se almacena en el material y no se puede aprovechar para algún fin práctico.

Además, cualquier material cristalino sometido a deformación experimenta importantes modificaciones en sus propiedades mecánicas, como ya se mencionó en el párrafo 2.5.3 del presente texto.

Ahora bien, la deformación mecánica del material durante su maquinado es muy fuerte y no se limita solamente a la viruta arrancada, sino que también penetra en el material, el cual queda con mayor dureza.

En algunos casos, se ha observado una dureza de la viruta de 59 Rockwell C, mientras que la dureza del material de base original era de 20 Rockwell C y la resistencia a la tracción de sólo 80,000 psi, equivalente a 48 kg/mm².

En realidad, el fenómeno de endurecimiento por deformación en frío, o sea de acritud, ocurre a cualquier temperatura inferior a la de recristalización del material ($T_{Rec} \approx 0.5 T_F [^{\circ}K]$).

Lo anterior es uno de los factores de influencia más importantes para el maquinado, ya que el material que se está cortando siempre tendrá mayor dureza que el metal de base, ya que su dureza aumenta desde el momento en el cual la herramienta penetra en el material.

La facultad que tienen los metales para que aumente su dureza debido a la deformación plástica varía según el tipo de metal. Entre los principales elementos de aleación del acero, el níquel es aquél que aumenta más la dureza debido a la deformación. Mencionamos a continuación, como ejemplo, que un monocristal de níquel aumenta su resistencia al corte 8 veces con una deformación de 30%, mientras que el aluminio aumenta su resistencia 5 1/2 veces con una deformación de 100% y el cinc 1 1/2 veces con una deformación de 500%.

2.9 Poder abrasivo del material.

Otra característica del material que influye mucho en la maquinabilidad desde el punto de vista de vida útil de la herramienta es su capacidad de desgastar la herramienta durante la operación de corte. Esta capacidad se determina por las llamadas "facultades abrasivas" del material.

Todavía no se ha encontrado ningún método para medir estas propiedades, por lo cual no pueden ser expresadas numéricamente.

El proceso de desgaste es muy similar a la acción de una muela durante el proceso de rectificado o de esmerilado. Los granos abrasivos duros de la muela están ligados por medio de un material de enlace relativamente suave. Cuando los granos entran en contacto con el material, la presión y la alta velocidad provocan el corte del metal y arrancan una pequeña viruta. Debido al gran número de granos en contacto con el material, la cantidad de pequeñas virutas es muy alta.

En el esmerilado y rectificado, el volumen de material re movido depende principalmente de:

- a) la forma geométrica de los granos
- b) su dureza
- c) su velocidad y
- e) su presión.

Durante el maquinado por arranque de viruta, el material cortado actúa sobre la herramienta de corte de modo similar, debido a las propiedades a) y b) mencionadas arriba. En realidad, el proceso de desgaste es un fenómeno de abrasión.

Examinando la microestructura de un material metálico, se observan fases (granos, precipitaciones, inclusiones, etc...) con diferentes grados de dureza. Las fases más duras ligadas por las fases más suaves de la microestructura, bajo el efecto de la velocidad y de la presión durante el proceso de corte, provocarán una abrasión de la superficie de las herramientas de corte, en todos los puntos de contac to entre mateiri l y herramienta, los cuales pueden ser: la punta, la ca ra, el filo principal, el flanco principal, el vástago, etc...

En el caso particular de los aceros, los granos más duros son los de mayor contenido en carbono y tratados térmicamente, como la

martensita, la sorbita, la perlita, etc... Los granos de ferrita son hierro casi puro y muy suaves.

Durante el examen metalográfico de los aceros, los granos con mayor contenido en carbono aparecen generalmente más oscuros que aquellos con poco carbono (la ferrita). Incluso, la proporción entre zonas oscuras (perlita y sorbita) y zonas claras (ferrita) de la micro estructura permite evaluar aproximadamente la facultad abrasiva del acero.

Un acero de bajo carbono tiene la menor facultad abrasiva, mientras que aceros de alto carbono y templado presentan la mayor facultad abrasiva. Además, debido a diferentes velocidades de enfriamiento, la dureza superficial de un material es a menudo superior a su dureza interna, lo que se nota durante el maquinado, ya que puede haber más problemas de desgaste y abrasión durante el trabajo de superficie.

Capítulo 3: Teoría del Proceso de Maquinado

3.1 Los elementos que constituyen el proceso.

En el proceso de corte por desprendimiento de viruta intervienen tres elementos principales que son la máquina, la herramienta y el material a cortar o pieza a trabajar. (Ver fig.14)

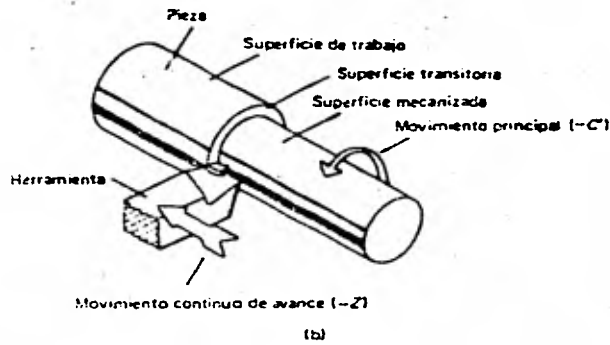
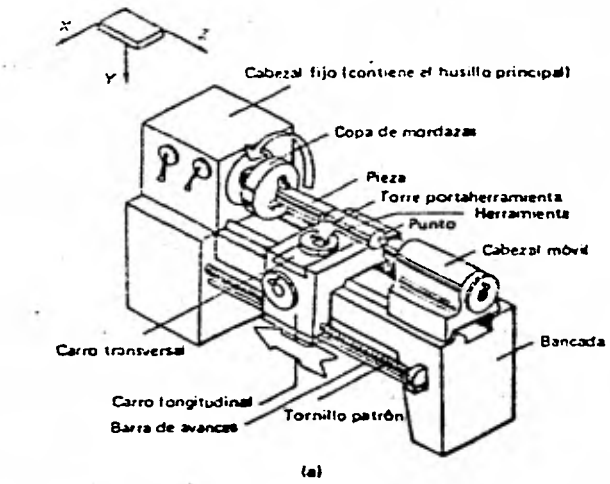
3.1.1 La máquina

Desempeña la importante función de proporcionar los movimientos relativos entre la pieza a trabajar y la herramienta. -- Estos movimientos logran que entre la herramienta y la pieza se produzca el mecanismo de formación y desprendimiento de la viruta. -- Los movimientos relativos entre pieza y herramienta son el principal y el de avance.

El movimiento principal es el que se da entre pieza y herramienta de tal manera que la cara de la herramienta interfiera al desplazamiento de la pieza. Este movimiento también es definido como tangencial y consume la mayor parte de la potencia requerida en el corte.

El movimiento de avance es el que permite que la remoción de material lograda por el movimiento principal sea continua. Este movimiento produce el que la herramienta vaya introduciéndose en la pieza a medida que esta va siendo maquinada. De no existir este movimiento, una vez que por el movimiento principal se lograra remover el material correspondiente a un ciclo, la remoción sería suspendida. El movimiento de avance puede ser continuo o por intervalos. Este movimiento también es definido como axial y consume -- una pequeña porción de la potencia total requerida en relación a la consumida por el movimiento principal.

Existe una gran variedad de máquinas herramienta, al



(a) Un torno. (b) Operación de cilindrado.

Figura 14 a : Torneado

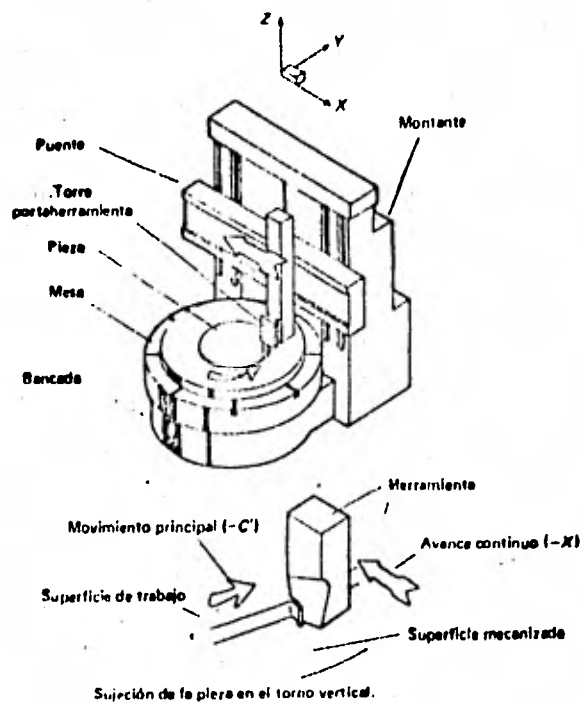


Figura 14 b : Torno vertical

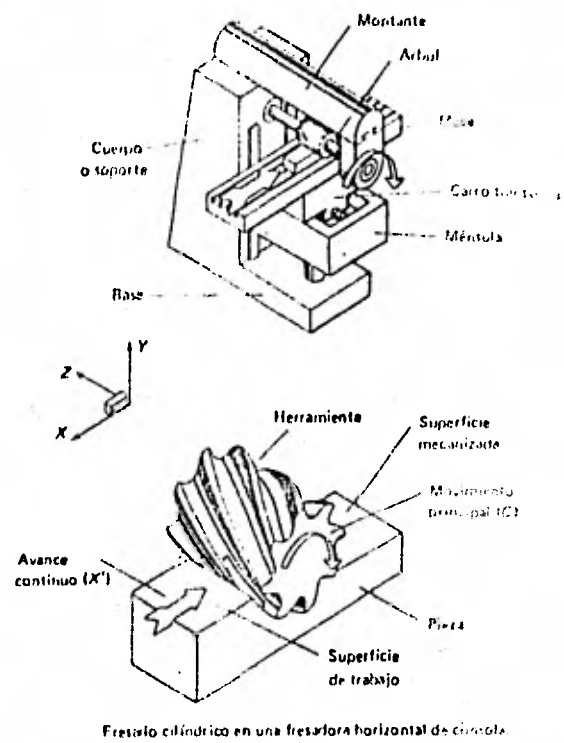


Figura 14 c : Fresado

gunas de las cuales se han desarrollado con un amplio grado de sofisticación. La versatilidad lograda en las modernas máquinas herramienta radica principalmente en su funcionalidad para el posicionamiento tanto de la pieza a trabajar como de las herramientas empleadas y por la multiplicidad de operaciones de corte simultáneas. Sin embargo toda máquina herramienta que trabaja por el principio de arranque de viruta cuenta imprescindiblemente con los movimientos relativos mencionados amen de la complejidad con que cuenta para los fines de versatilidad comentados anteriormente. Dado que el proceso de maquinado se realiza con movimientos permanentes, es de gran importancia la estabilidad que la rigidez de la máquina proporcione. Es de hacer notar que en la mayoría de las máquinas herramienta tanto la pieza como la herramienta son sujetas por la máquina formando un mismo conjunto, de ahí que la precisión y exactitud entre el posicionamiento de la pieza y la herramienta sean de vital importancia.

3.1.2 La Herramienta.

Es el utensilio que siendo sujetado por la máquina permanece en contacto con la pieza y que, como producto de los movimientos relativos entre pieza y herramienta, proporcionados por la máquina, logra suministrar a la pieza la energía suficiente, -- tomada de la potencia disponible de la máquina, para lograr en ella un estado de esfuerzos tal que culmine con la deformación y finalmente la ruptura y desprendimiento de material de la pieza en forma de virutas.

La herramienta juega un papel muy importante en el proceso de maquinado ya que, como más adelante veremos con suficiente amplitud, de características tales como Geometría y Material dependen o mantienen relación directa conceptos tan importantes como potencia consumida, rango de remoción, rango de deformación, acabado superficial, velocidad de corte, etc.

Con objeto de seguir una secuencia que permita una más clara comprensión de la teoría del proceso de maquinado, dejaremos aquí lo que podríamos llamar la definición de la herramienta y continuaremos desarrollando sus interesantes aspectos a lo largo de este libro. En la fig.14 se muestran algunas herramientas típicas.

Pieza a trabajar.

El tercer elemento constitutivo del proceso es la pieza a trabajar; al igual que los anteriores tiene gran influencia en el mecanismo de formación y desprendimiento de viruta. Las características de la pieza a trabajar que influyen en el proceso son - los siguientes:

3.1.3 Material.

El cual, por considerarse necesario para fines introductorios a este libro, se desarrolló ampliamente en un capítulo -- precedente. A manera de recordatorio mencionaremos los conceptos y factores de influencia por parte del material en el proceso de corte que son: Microestructura, dureza, propiedades plásticas, velocidad de deformación, plasticidad a elevadas temperaturas, deformación -- plástica, endurecimiento por trabajo y propiedades abrasivas.

Geometría.

La forma de la pieza a trabajar puede ser determinante en el establecimiento de las condiciones de corte ya que en función de ésta, está el posible medio de sujeción que a su vez limita - la fuerza máxima de corte si éste es deficiente. En el proceso de - corte existen fuerzas que podrían provocar alguna deformación elástica en la pieza si la resistencia mecánica en combinación con la forma física de ésta y las condiciones de apoyo y sujeción lo permitiesen. Esta situación produciría vibraciones dado el movimiento osci-

co que repercutirían en el acabado y precisión de la parte mecanizada.

Dado que antes de estudiar totalmente la geometría de la herramienta estaremos haciendo referencia a la arista o filo de corte y a la superficie de corte o cara, en la figura 15 mostramos estas y otras formas que se discutirán adelante.

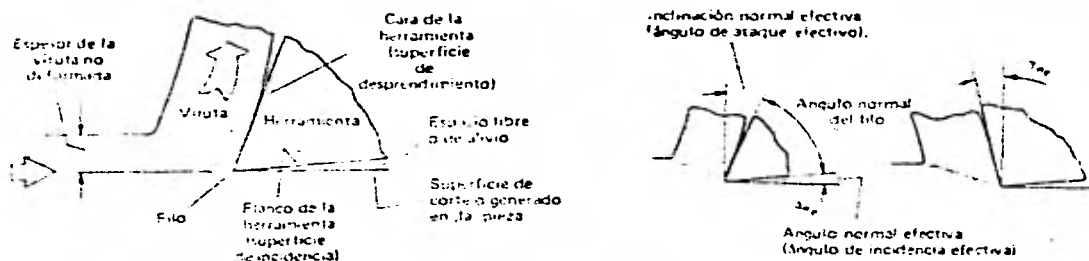


Figura 15 : Términos usados en el corte de metales :
 izquierda : inclinación positiva
 derecha : inclinación negativa

3.2 Definición de Conceptos y Descripción del Proceso.

3.2.1 Corte ortogonal y oblicuo.

El maquinado de metales consiste en la separación de material, en forma de virutas, de su cuerpo original. Este desprendimiento se realiza por la deformación que la herramienta logra sobre la pieza trabajada al existir entre estas dos un movimiento relativo que hace que ambas partes se interfieran en su camino y -- que la de menor resistencia mecánica en la zona y bajo las condiciones del contacto sea deformada. Dado que la herramienta es diseñada precisamente para lograr esta deformación en la pieza trabajada,

su fabricación cuenta con una geometría y material tal que logre su objetivo con la menor inversión de energía dado un cierto material-a cortar. La zona de contacto entre ambas partes se representa en forma general en la figura 16. En esta figura se pueden observar dos diferentes casos. El caso (a) es conocido como corte ortogonal y su característica es que el filo de corte es perpendicular a la dirección del movimiento relativo entre pieza y herramienta. Este es un caso particular de las operaciones de maquinado que podemos ejemplificar con el cepillado con herramienta monofilos. Por la simplicidad geométrica de este caso y dado que los principios básicos del fenómeno se presentan tanto en este como en el conocido como corte oblicuo fig. 16.b, a lo largo de esta obra recurriremos ampliamente al modelo de corte ortogonal.

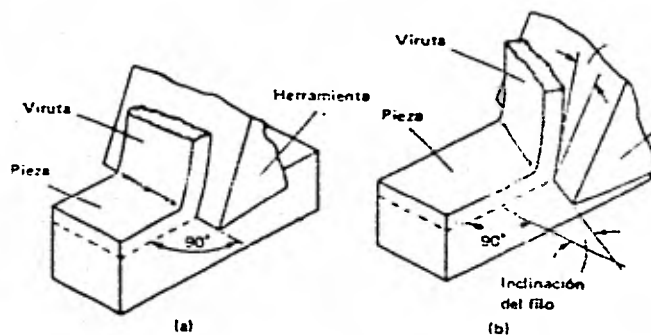


Figura 16 : Corte ortogonal y oblicuo : (a) corte ortogonal, (b) corte oblicuo

3.2.2. Velocidad de corte.

La velocidad a la cual se realiza el movimiento relativo principal entre la herramienta y la pieza trabajada se denomina velocidad de corte.

Avance.

Una vez que debido a la existencia del movimiento principal se logra completar un ciclo de remoción, se hace necesaria la presencia del movimiento relativo de avance para lograr la remoción en el próximo ciclo. Al desplazamiento logrado por ciclo por el movimiento relativo de avance se denomina avance. Como antes se mencionó, este desplazamiento puede ser continuo o discreto.

3.2.3 Profundidad de Corte.

En el inicio de una operación de maquinado, se establece una cierta interferencia o intersección entre la trayectoria de la pieza trabajada y la de la herramienta. Esta interferencia medida en unidades de longitud es conocida como profundidad de corte. Con objeto de aclarar la relación que existe entre esta última y el avance podemos decir que la profundidad de corte multiplicada por el avance nos define el área de la sección transversal removida. El sentido de la profundidad de corte está dado por la operación de maquinado que se realice. Como ejemplo podemos citar el caso de un cilindrado en un torno, en este caso la profundidad de corte está dada por la disminución en diámetro dividida por dos, - lograda por cada pasada. Mientras que en una operación refrentado o careado también en torno, la profundidad de corte está dada por la disminución en Longitud por pasada de la pieza trabajada.

Abundando más sobre la formación y desprendimiento de la viruta, sabemos que el primer fenómeno que logra la herramienta sobre la pieza trabajada es la deformación (Ver figura 17). Esta deformación se debe al estado de esfuerzos logrados en la zona de corte. De los esfuerzos principales que se manifiestan en esta zona, - está el de compresión, al cual es el determinante para finalmente -- lograr la formación de la viruta. Recordando algo de lo visto en el capítulo anterior sabemos en términos generales que todo material metálico tiene un comportamiento semejante cuando es sometido a alguna

mensiones originales sin haber sufrido deformación permanente alguna. La región elástica de los materiales está definida por su límite elástico y este está dado por unidades de esfuerzo. A partir de este punto el comportamiento del material deja de ser elástico para pasar a su región plástica, habiendo previamente sufrido el fenómeno de fluencia o cedencia mostrado en la curva por la zona del mismo nombre.

3.2.5 Dureza.

Se conoce como dureza la resistencia que presentan los materiales a ser penetrados en su superficie. Esta propiedad en forma aislada no proporciona mucha información respecto al comportamiento del material y solo sabiendo ésta y algunas otras se pueden hacer conjeturas sobre él. Es un error común el relacionar solo la dureza con la resistencia mecánica del material e incluso existen algunos autores que la maquinabilidad es influenciada por otras características de tipo físico e incluso por la presencia de algunos elementos en su composición química.

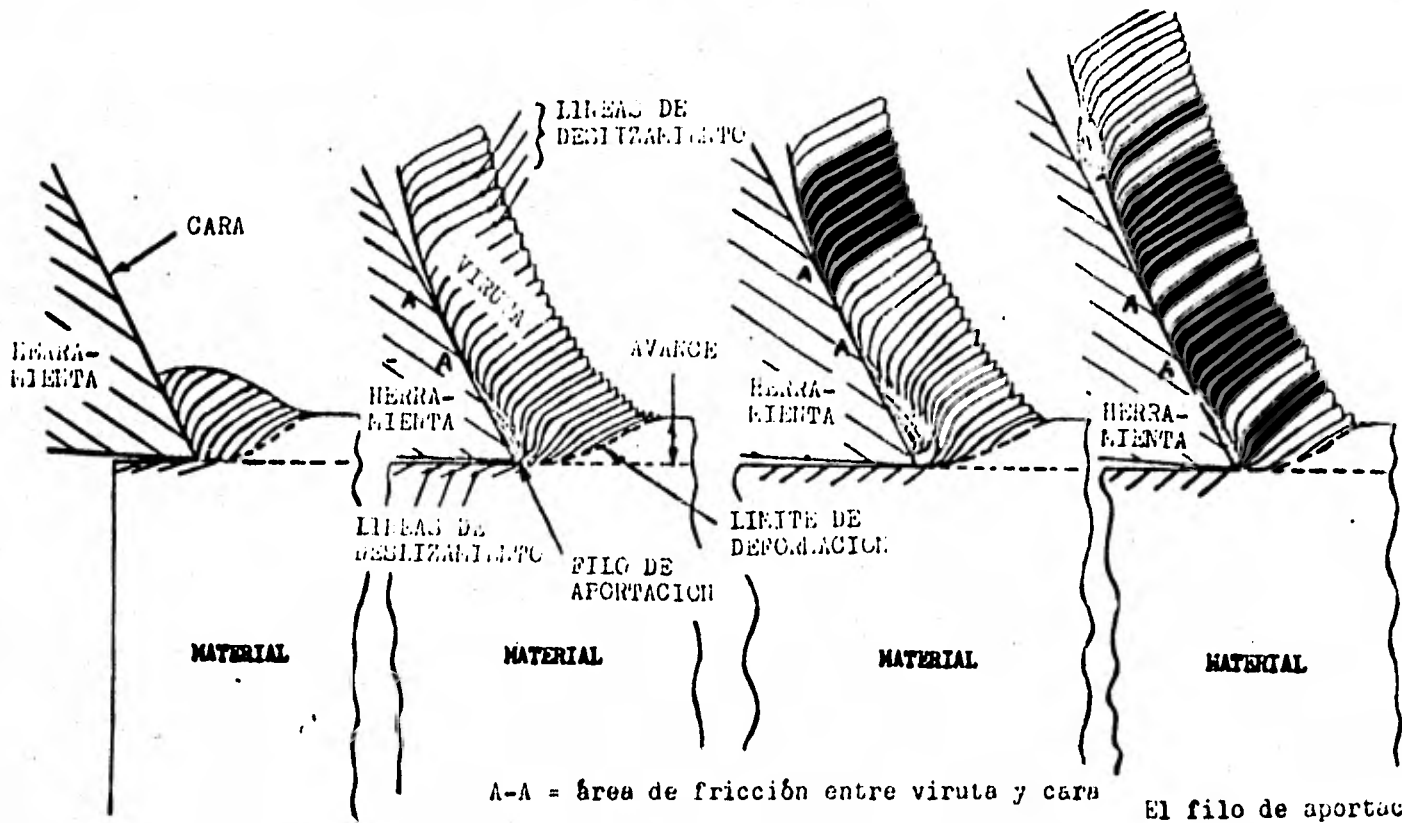
3.2.6 Ductilidad

Es la cantidad de deformación plástica o permanente esto es, la producida por la presencia de esfuerzos que sobrepasan el límite elástico del material; que el material soporta hasta su punto de ruptura. Es común medir esta propiedad en unidades lineales de deformación.

3.2.7 Tenacidad.

Es la energía requerida para lograr la falla de un material. Es decir, es la energía necesaria para llevar a un material a su punto de ruptura.

Una vez realizada la recapitulación anterior. continuaremos describiendo el proceso profundizando en el cada vez más.



la herramienta penetra en el material

El depósito de partículas de material produce el filo de aportación

El filo de aportación creció y se desprendió de la punta de la herramienta. Empieza a moverse con la viruta

El filo de aportación se aleja junto con la viruta. Empieza un depósito nuevo y el proceso se repite

Figura 13 : Representación esquemática del proceso de formación de la viruta

3.2.8 Filo de Aportación (Built-up edge).

Durante el proceso de corte, cuando se mantienen en contacto pieza y herramienta, se presenta el fenómeno del filo de aportación. Consiste en la acumulación de pequeñas partículas de material sobre la superficie de corte de la herramienta. Debido a los altos esfuerzos a los que está sometida esta acumulación de material, logra alcanzar durezas tales que rebasan considerablemente la dureza original de la pieza trabajada y casi iguala la dureza de la herramienta. Las condiciones bajo las cuales se forma el filo de aportación, de altos esfuerzos o cargas y alta temperatura permiten el considerar esta formación como una sinterización del material. Ver figura 18.

Para algunos autores, la presencia del filo de aportación no es más que un fenómeno inevitable e irrelevante, mientras que para otros, este filo tiene funciones muy importantes, como es el hecho de evitar el contacto directo de la viruta sobre la superficie de la herramienta y así lograr una mayor duración de ésta. El contacto de viruta y herramienta finalmente se logra pero a una cierta distancia de la arista de corte lo cual permite que no se pierda la forma de ésta y que la herramienta sea desgastada en una zona donde es bastante más resistente que en la arista. Esto último explica la presencia de los "cráteres" en las herramientas trabajadas. La creación del filo de aportación es un fenómeno cíclico cuya frecuencia es bien definida y que al igual que el tamaño máximo que alcanza antes de desprenderse con la viruta son función de varios factores. De los factores que intervienen en la formación del filo de aportación los cuales veremos más adelante, el de mayor influencia es la velocidad de corte. A mayor velocidad de corte, el tamaño máximo que alcanza el filo de aportación antes de desprenderse con la viruta, es mínimo y máxima la frecuencia con que ocurre este desprendimiento.

La segunda teoría es la más aceptada y fundamentada por lo que esta obra se desarrolla atendiendo la presencia e influen

cia del filo de aportación.

La presencia del filo de aportación en maquinados a alta velocidad llega a ser tan pequeño y a desprenderse a tan alta frecuencia que se asemeja a una película continua, sin embargo, -- aun en este caso de maquinado hace sentir su presencia.

Lo que hasta el momento hemos hablado del filo de aportación nos muestra algunos beneficios de su presencia. Sin embargo, la creación fuera de control de éste, como es bien sabido -- por quienes han vivido el proceso, trae consigo serios Problemas. -- Como es el caso del crecimiento excesivo que ocasiona modificar el mecanismo teórico del corte transformándolo en un arranque de viruta por arrastre y fricción el cual requiere una mayor inversión de energía por unidad de material removido haciendo a su vez trabajar extraordinariamente a la herramienta ya que es sometida a fuerzas anormales reduciendo de esta manera su vida y finalmente produce un acabado superficial irregular y fuera de control dimensionalmente. Estos dos últimos problemas son debidos a que la formación desmedida del filo de aportación va modificando gradualmente la geometría de la arista de corte de la cual depende directamente el acabado superficial, la dimensión final lograda en la pieza trabajada, considerando como ejemplo un cilindrado en torno, va disminuyendo a medida que el filo se va incrementando hasta que finalmente al desprenderse este la dimensión obtenida empieza a ser la deseada dejando por la diferencia en diámetros un escalón que va apareciendo en intervalos irregulares a lo largo de la superficie maquinada. El desprendimiento del filo de aportación en esta situación no se logra solo por el flujo de la viruta, sino que se distribuye entre esta y la superficie maquinada causando en esta última incrustaciones del filo que contribuyen aun más en el mal acabado superficial. Ver figuras 19 y 20 .

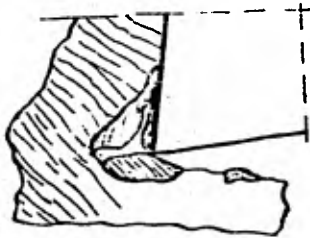


Figura 19

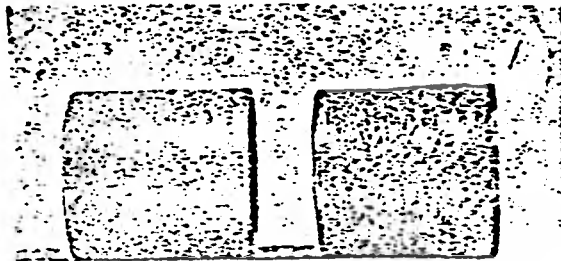


Figura 20

Con objeto de concluir algunos conceptos referentes al filo de aportación, diremos que el problema de filo fuera de control es debido al uso de geometrías equivocadas en materiales altamente plásticos, superficies de corte muy rugosas falta de líquido de corte, baja velocidad de corte ó la combinación de ellos y otros factores de influencia. Sin embargo, es intención de la obra no dar respuestas concretas a casos concretos sino desarrollar la habilidad y el criterio del lector en la detección de problemas y factores de influencia, los cuales a menudo se presentan combinados, — más que dar soluciones a nivel de recetas, situación que la mayoría de las veces resulta pobre e ineficaz. Por lo anterior, es que en este tema y en los subsecuentes dejaremos al lector el encontrar -

las relaciones entre ellos e ir enriqueciendo sus percepciones originales.

3.2.9 El Desprendimiento

A lo largo de los temas precedentes se han tratado diferentes tópicos relacionados con el desprendimiento y formación de la viruta. En este capítulo haremos una recopilación de todos ellos y ampliaremos lo necesario para dejar claro el fenómeno.

Al encontrarse la herramienta y la pieza a trabajar sus respectivas trayectorias, debido a la forma y material de la herramienta, se crea un estado de esfuerzos instantáneo que produce que el material de la pieza trabajada sea deformado hasta llegar a su punto de ruptura. La energía requerida para lograr el desprendimiento de viruta es función de la cantidad de deformación elástica y plástica que el material requiere antes de llegar a su punto de ruptura. Analizando la frase anterior vemos que corresponde a la definición de tenacidad antes vista. De donde concluimos que la tenacidad es un factor determinante en la habilidad de los materiales para ser maquinados. Es conveniente el dejar clara la diferencia entre la tenacidad y la resistencia de un material; siendo esta última el esfuerzo máximo para lograr la ruptura mientras que la tenacidad es la cantidad de energía necesaria para lograr la ruptura. (Ver figura 21). Recordando algo más sobre la energía, sabemos que ésta se mide en unidades de fuerza-distancia y que está íntimamente ligada con el área bajo la curva esfuerzo-deformación. Poniendo como ejemplo el caso de un material dúctil y un material no dúctil, ambos con igual resistencia, el material dúctil requerirá más energía para fallar y por tanto será más tenaz. Si un material dúctil requiere mayor energía para lograr que falle y la remoción de material en el maquinado se fundamenta en la deformación plástica y elástica para finalmente lograr la falla, en el maquinado del material dúctil se requiere mayor inversión de energía para remover una cierta cantidad de material que la necesaria para la misma remoción

en un material no dúctil y de la misma resistencia, de la cual concluimos que el material dúctil es menos maquinable.

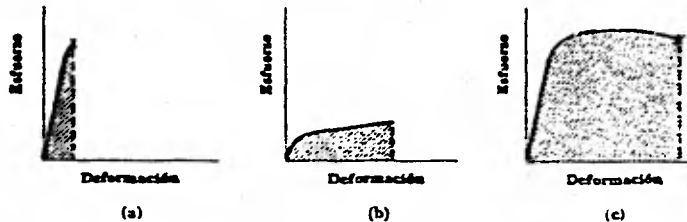


Figura 21 : Tenacidad : esta es una medida de la energía requerida para romper un material. Como tal, se relaciona con el área abajo de la curva esfuerzo-deformación. En (a) y (b) se representan materiales frágiles, en (c) un material tenaz

Resumiendo los conceptos anteriores sabemos que los materiales dúctiles deben ser deformados considerablemente antes de lograr la ruptura. Así mismo podemos concluir que existen materiales de baja resistencia pero muy dúctiles que presentan mayor dificultad para ser maquinados que aquellos que tienen alta resistencia pero baja ductilidad. Expresado en otros términos, dependiendo de la Plasticidad de los materiales, estos se deforman hasta llegar a un punto en el que, debido al endurecimiento por deformación, la fuerza necesaria para seguir deformando el material es la misma que se requiere para lograr una falla por corte en el material, en este momento se logra un equilibrio entre el material deformado y el material virgen que es seguido de la ruptura. Al plano en el cual se da el equilibrio descrito se le conoce como plano de límite de deformación o plano de cizallamiento ya que es en este en el que ocurre la ruptura del material. El plano de cizalladura forma un ángulo con la dirección del corte.

La existencia de los planos de cizallamiento se obser

va comparando la profundidad de material removido o sea el avance por ciclo con el espesor de la rebaba, de esta comparación resulta que el espesor de rebaba es mayor a la profundidad removida. También se observa que la longitud de la rebaba obtenida es menor a la longitud removida con lo que a final de cuentas se observa que no hay variación en el volumen sino en la forma. A menudo se hace la analogía de un grupo de tarjetas colocadas sobre una mesa formando una fila - sin existir empalme entre una y otra con la forma original del material. Y la formación de la viruta con el hecho de levantar los cortes recogiendo las de un extremo de la fila al otro formándose una pila de tarjetas en las que la altura equivale a la longitud de la viruta y el ancho de las tarjetas al espesor de la viruta. Ver figuras 22 y 23.

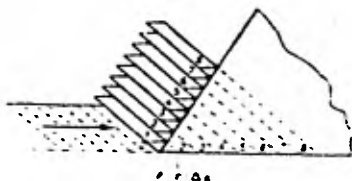


Figura 22

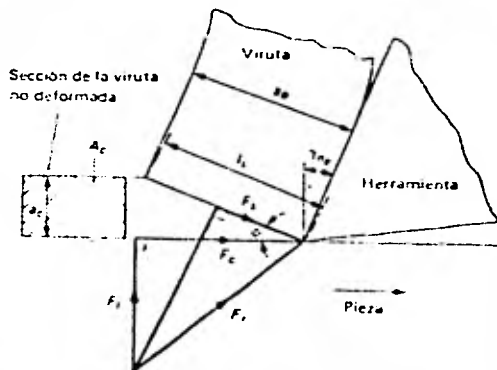


Figura 23 : Modelo de formación de viruta continua

3.2.10 La Viruta.

En el párrafo anterior se menciona ya la longitud de la viruta, por lo que se hace necesario explicar su formación: una vez lograda la ruptura del material, se presenta ante la herramienta una nueva zona de material a ser deformado y llevado también a la --

ruptura. Cuando esto ocurre la capa de material removido se desliza sobre la superficie de la nueva porción de material a cortar, sin -- embargo, una vez que el material abandona la zona de esfuerzos entre herramienta y material; y dado que la temperatura generada en el corte aun persiste, este material removido logra adherirse sobre la superficie del material que inicia su deformación. Así es como se logra obtener una viruta larga o continua que si se observa tiene la forma de diente de sierra, correspondiendo cada diente a cada deslizamiento del material. Hemos mencionado el caso de la viruta continua cuya formación entre otros factores depende como se hizo mención de la temperatura lograda la cual depende de la cantidad de energía aplicada para lograr la ruptura por lo cual podemos concluir que los materiales dúctiles tienen más tendencia a formar viruta continua. -- El otro tipo de viruta que se presenta es la discontinua en la cual el material desprendido no logra la adherencia o la logra en mucho -- menor grado. En seguida profundizaremos más sobre estos conceptos. Ver Figura 24.

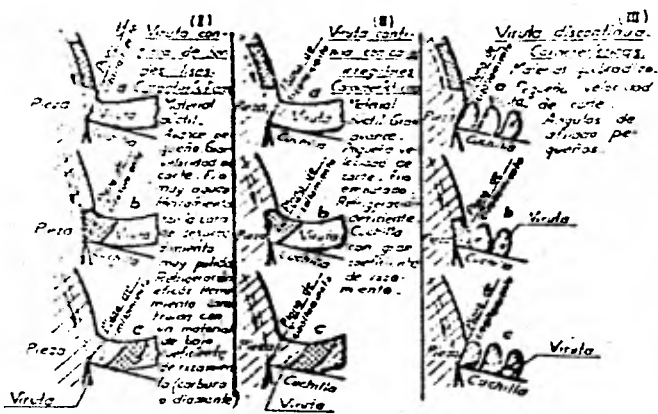


Figura 24 : Diferentes categorías de virutas

La viruta continua es común cuando se maquinan materiales dúctiles como acero, aluminio y cobre. Mientras que la discontinua se presenta al maquinar materiales tales como: hierro, bronce y latón. por lo que nuestra primera conclusión es que la formación de viruta continua o discontinua es función de la plasticidad del material, sin embargo, existen otros factores que la influyen como es el avance, la velocidad y profundidad de corte pudiéndose lograr el obtener ambos tipos de viruta con un mismo material modificando alguno de esos factores. Su influencia es la siguiente: la viruta fragmentada es propiciada por grandes avances, grandes profundidades y por bajas velocidades de corte. Mientras que la continua es propiciada por situaciones inversas. El tipo de viruta obtenida no representa por si sola diferente grado de deformación interna. (Ver figura 25)

3.2.11 Planos de Cizalladura.

A la relación que existe entre la profundidad de material removido a_c y el espesor de la viruta a_o , se le conoce como grado de deformación o razón de corte r_c . Evidentemente es función de la deformación que tiene lugar en el proceso ya que en función de ésta quedará determinada la inclinación de los planos de corte. Auxiliándonos de la figura, a continuación establecemos las relaciones entre los conceptos anteriores.

De la figura 26, la longitud del plano de cizalladura está dada por:

$$l_s = \frac{a_c}{\text{sen } \phi} = \frac{a_o}{\cos(\phi - \gamma_{ne})}$$

De donde

$$\frac{a_c}{a_o} \cos(\phi - \gamma_{ne}) = \text{sen } \phi$$

Sustituyendo $\frac{a_c}{a_o}$ por r_c y despejando ϕ tenemos



Figura 25 : Avances en mm/vuelta

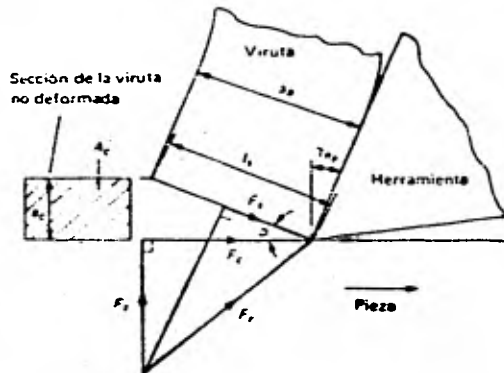


Figura 26 : Modelo de formación de viruta continua

$$\tan \phi = \frac{r_c \cos \gamma_{ne}}{1 - r_c \sin \gamma_{ne}}$$

En donde:

- ϕ = Angulo de cizalladura
- r_c = Grado de deformación o razón de corte
- a_c = Profundidad del material removido o espesor de la viruta no deformada.
- a_o = Espesor de la viruta.
- γ_{ne} = Angulo de Corte o de inclinación normal efectivo.

En un maquinado real, el angulo de corte y la profundidad de material removido se conocen. El espesor de la viruta puede determinarse directamente de una muestra.

Es oportuno el hacer notar que, si bien es cierto - que el grado de deformación necesario es función de las propiedades plásticas del material, también es influido como más adelante veremos, por la geometría de la herramienta, velocidad de corte y profundidad de material removido.

En la deducción anterior de los planos de cizalladura hemos mencionado el ángulo de corte, por lo que antes de analizar su influencia en el corte al estudiar la geometría de la herramienta, adelantaremos su definición. También es conocido como ángulo de desprendimiento y es el formado por la superficie de la herramienta donde fluye la viruta también conocida como cara de la herramienta, superficie de desprendimiento o superficie de corte y una perpendicular en la dirección del movimiento relativo principal entre herramienta y pieza. Este ángulo se define como positivo ó negativo como se muestra en la figura 27 y se emplea corrientemente para identificar el tipo de herramienta, habiéndose de herramientas positivas y negativas.

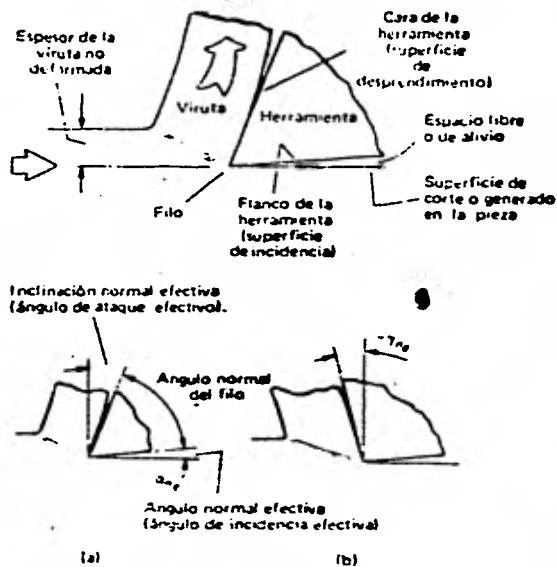


Figura 27 : Términos usados en el corte de metales
(a) inclinación positiva, (b) negativa

3.3 Fuerza Especifica de Corte.

Con objeto de llegar finalmente a la comprensión - de este fenómeno, iniciaremos haciendo un análisis de las fuerzas que intervienen en el maquinado. Para esto asumiremos que la longitud del filo de la herramienta es más ancha que el material a - cortar y que hablamos de un corte ortogonal.

Sabemos que la remoción se logra por la aplicación mediante la herramienta de una fuerza resultante sobre la pieza - trabajada. Esta fuerza actúa en un plano que es perpendicular al filo de la herramienta como se muestra en la figura 28 . Esta - fuerza resultante se puede descomponer en dos principales componen - tes una en la dirección del corte conocida como la fuerza de Corte F_c y la otra normal a la dirección de corte conocida como la fuer - za de empuje F_t . Estas dos componentes agrupan a su vez las - componentes correspondientes que se presentan realmente entre he - rramienta y pieza.

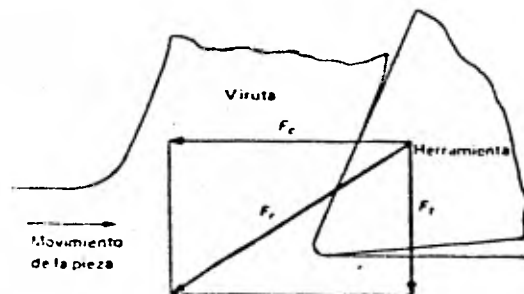


Figura 28 : Componentes de corte (F_c) y de empuje (F_t) de la fuerza resultante sobre la herramienta (F_r)

En la figura 29 mostramos la viruta, la herramienta y la pieza; en ésta última se observan la superficie que queda después del corte y que será cortada en el próximo ciclo, por lo que le llamaremos superficie temporal, y el plano de cizallamiento o límite de deformación. En esta figura nuevamente observamos la fuerza de corte F_c en la dirección de la trayectoria del corte y la fuerza de empuje F_t , actuando en el mismo plano perpendicular a F_c , también aparecen las fuerzas que contribuyen a la resultante F_r y en consecuencia las componentes F_t y F_c . Haciendo una clasificación arbitraria de estas, tenemos a F_{sh} ó fuerza de ruptura la cual es de gran influencia por ser la mayor. Esta fuerza será más grande a medida que se presente gran deformación interna en el corte o que la profundidad de material removido sea grande. En la figura se observa también a F_{fc} cuya existencia es como reacción a la fricción entre la viruta y la herramienta. Esta fuerza está en función del coefi-

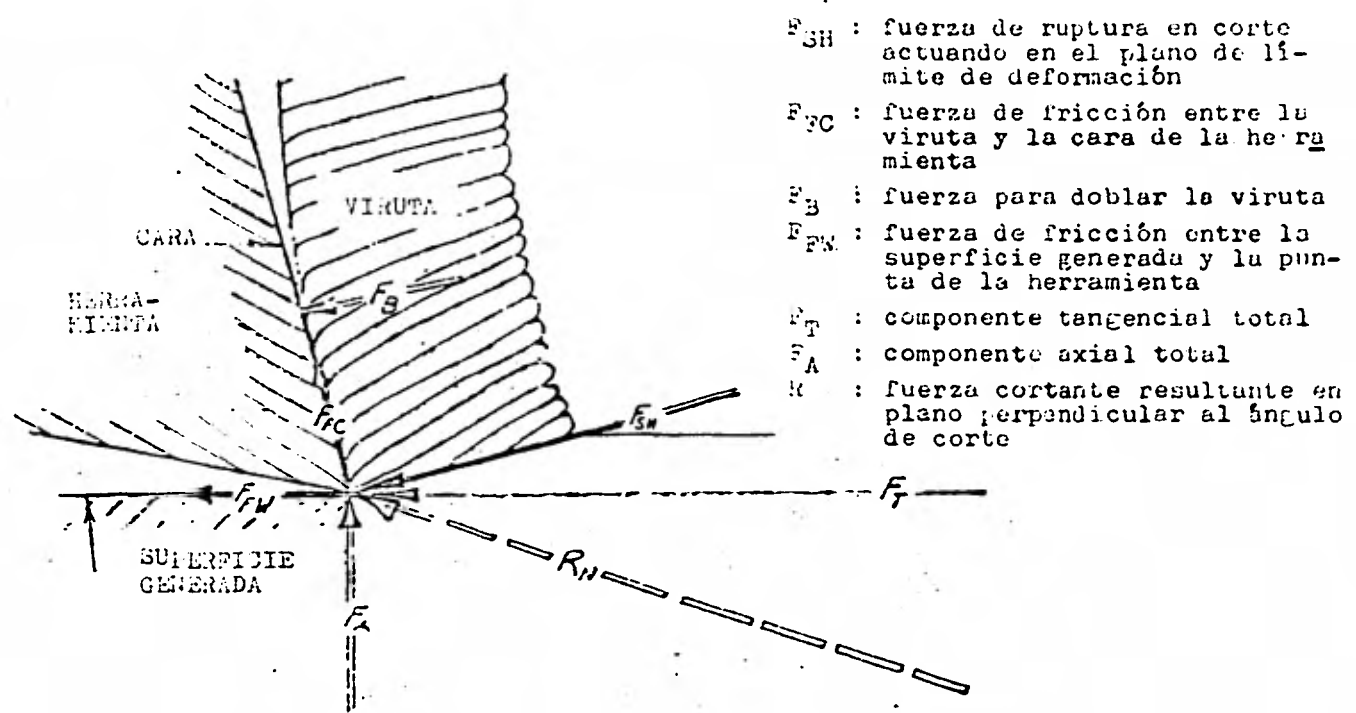


Figura 29 : Clasificación arbitraria de las fuerzas de corte
(fuerzas actuando sobre la herramienta)

ciente de fricción entre viruta y herramienta, y la presión de la viruta sobre la cara de la herramienta, que a su vez depende de la fuerza de ruptura F_{sh} y también de la presión requerida para doblar la viruta, F_b . Consecuentemente una superficie de herramienta pulida o un buen lubricante pueden disminuirla.

La fuerza F_b requerida para doblar la rebaba se muestra como una fuerza por separado. Puede decirse que esta fuerza es normal a la cara de la herramienta. Finalmente tenemos la reacción de la fuerza de fricción entre la superficie temporal de la pieza y la herramienta. El tamaño de esta fuerza depende de la presión normal sobre la superficie temporal y del coeficiente de fricción entre la herramienta y la pieza. La presión normal ejercida sobre la pieza es función de las componentes normales de las fuerzas antes mencionadas. Debido a la estrecha relación que existe entre estas cuatro fuerzas resulta arbitrario hacer la clasificación antes descrita. Sin embargo resulta muy útil para efectos de lograr un entendimiento claro de la relación entre ellas.

3.3.1 Fuerza de Penetración y Efecto del Tamaño.

En el proceso de maquinado se presentan otras fuerzas no relacionadas directamente con las que se requieren para producir la viruta. Ninguna herramienta de corte es totalmente aguda. En la figura 30 se muestra en forma idealizada el perfil de una herramienta. En esta figura, la arista de corte o sea la unión entre la cara y el frente de la herramienta está representada por una forma cilíndrica. En estudios realizados al respecto se observó que una herramienta de acero rápido después de haber sido afilada, presentaba un radio en el filo que fluctuó en diferentes experimentos de .0002 a .001 de pulg. Por lo cual conforme la herramienta avanza en su trayectoria este filo va presentandose a una fuerza que al vencerla logra penetrar en el material. Dado que la variación del radio del filo al trabajar la herramienta es mínima, esta fuerza que denominaremos Fuerza de Penetración es --

prácticamente constante y relativamente pequeña cuando se trabaja con grandes profundidades de material removido por lo cual se considera despreciable. Sin embargo, cuando se trabaja a bajas profundidades, esta fuerza es proporcionalmente grande y no puede ser despreciada. La fuerza de penetración es complementada por una pequeña fuerza de fricción, que se crea entre el frente o flanco de la herramienta y la superficie temporal causada por la deformación del filo debido a su vez para la magnitud de los esfuerzos que actúan en el filo de la herramienta.

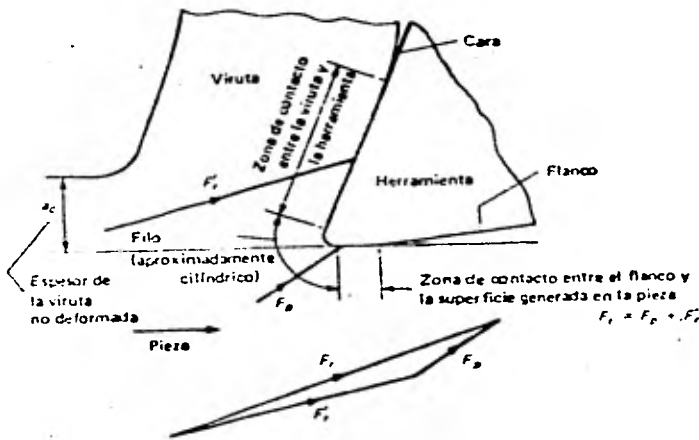


Figura 30 : Zonas de contacto de una herramienta de corte, donde F_t = fuerza resultante sobre la herramienta, F_p = fuerza requerida para remover la viruta, y F_r = fuerza de penetración (actúa sobre el filo y zona de contacto entre el flanco y la superficie generada).

La existencia de la fuerza de penetración explica el llamado efecto del tamaño, que se refiere al aumento de la fuerza necesaria para remover materiales cuando se habla de muy bajos rangos de profundidad de material removido.

A la división de la fuerza total de corte por la sección transversal de material removido se le denomina Fuerza -

Específica de Corte, que, como más adelante veremos, es la que determina la Energía total del Corte.

La existencia del fenómeno denominado Efecto del tamaño ha sido ampliamente comprobada con experimentos reales. -- La explicación de la existencia de la fuerza de penetración, es la teoría desarrollada por Ernst y Merchant en 1941 más aceptada como el origen de tal efecto. Sin embargo, experimentos realizados por el Dr. Patkay, iniciado en la investigación del mecanismo del corte desde 1928, presentan un planteamiento sumamente interesante sobre la explicación del fenómeno Efecto de Tamaño o simplemente comportamiento de la Fuerza específica de Corte como el la llama.

Tomando varias muestras de virutas obtenidas sobre un mismo material trabajado con la misma herramienta y modificando exclusivamente el avance, el cual en un corte ortogonal es igual a la profundidad de material removido, observó que la relación de corte o grado de deformación que él definió como:

$$R_c = \frac{a_o}{a_c}$$

Se presentaba muy baja para grandes avances e iba incrementándose conforme el avance iba disminuyendo, lo cual indicaba que la deformación interna en el material era mayor a menores profundidades de material removido por lo que el ángulo de los planos de cizallamiento iba disminuyendo conforme la disminución del avance. Y por lo tanto el área de los planos de corte aumentaba en la misma proporción. Al incrementarse el área de los planos de cizallamiento y hablando de un ancho de Viruta constante, el área en la cual habrá de realizarse la ruptura se habrá incrementado y por tanto la fuerza necesaria para lograrla tendrá que ser mayor.



Figura 31 a



Figura 31 b

- 99 -

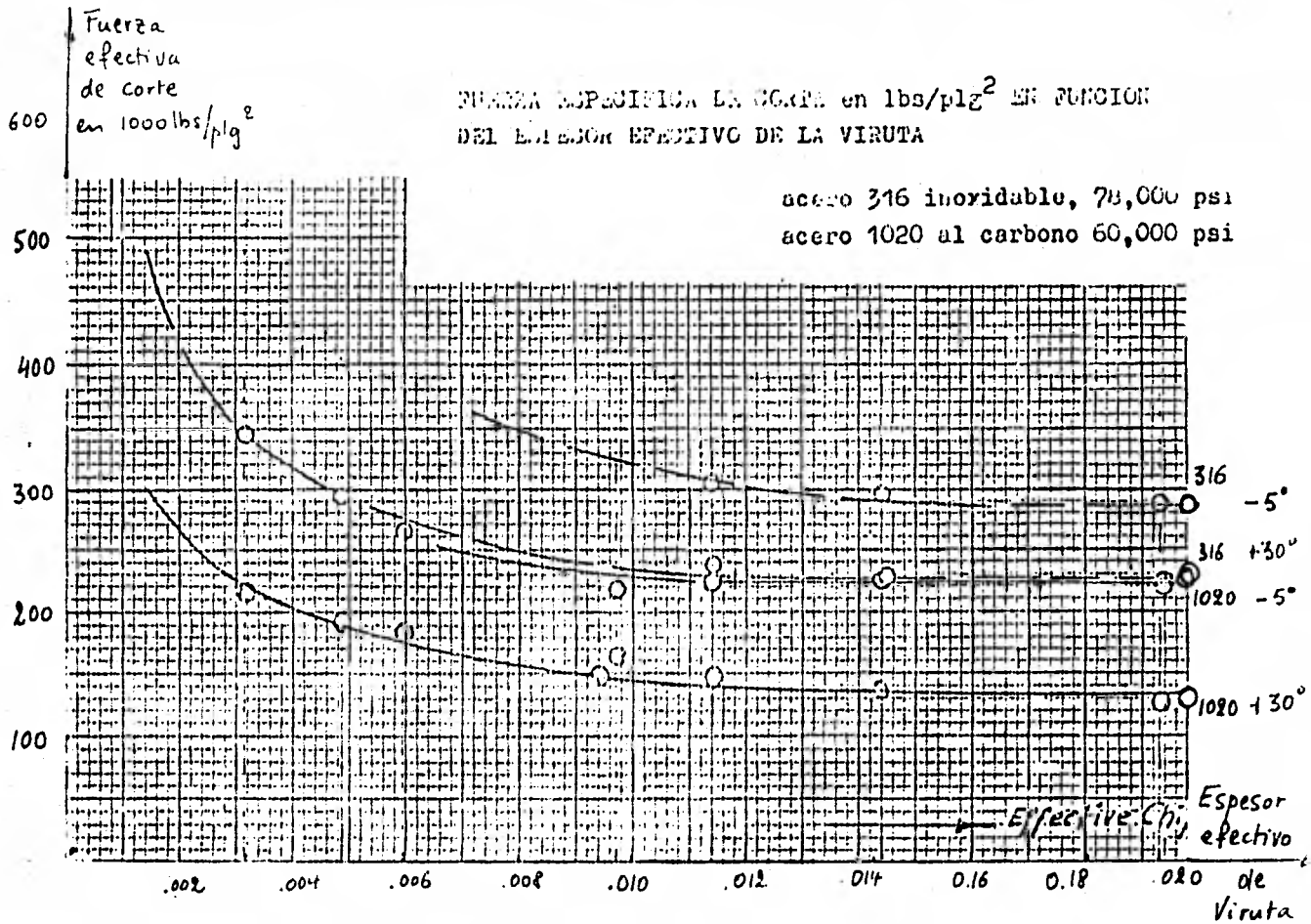


Figura 32

Graficando los resultados con la modificación del avance y trabajando para ciertos materiales obtuvo gráficas como las que se muestran en la figura 39 .

Finalmente explica el comportamiento de la fuerza específica de corte con dos hechos producto de sus experimentaciones.

1. El ángulo de los planos de cizallamiento disminuye considerablemente a bajos rangos de profundidad de material removido, y por lo tanto, su área respectiva.
2. El grado de deformación se incrementa con la -- disminución de la profundidad de material removido.

Existe un análisis que proporciona cierta fiabilidad a la teoría de Patky y consiste en la explicación de la ruptura de la herramienta. Al ir disminuyendo la profundidad de corte del material removido, la fuerza específica de corte va incrementándose y distribuyéndose en un área cada vez menor de la herramienta lo -- cual concluye con sobrepasar la resistencia de la herramienta y de esta manera alcanzando la destrucción de la misma. Si por otro lado, regresando a la teoría de fuerza de penetración, se disminuye la misma profundidad, la fuerza específica de corte se incrementa -- proporcionalmente debido a que la fuerza de penetración se mantiene constante para cualquier rango de remoción y la única que disminuye a la par con la disminución en la profundidad es la fuerza destinada para la remoción. Siendo este un planteamiento bien razonable -- sin embargo, si lo único que resuelve el comportamiento de la fuerza específica es la fuerza de penetración y ésta es prácticamente -- constante, estaría actuando permanente en la arista del filo y dañaría esta zona independientemente de la profundidad de corte de mate-

rial removido a la cual se trabajará.

Si bien es cierto que en ambas teorías se aprecian diferentes enfoques, son comunes en que coinciden en el llamado-Efecto de Tamaño. Algo que también se observa en ellos es que --ninguna da una explicación amplia concerniente al comportamiento de deformación del material que produzca finalmente tal incremento en la fuerza específica. A este respecto es oportuno el comentario relativo a que este fenómeno ocupa actualmente a los investigadores contemporáneos, y que las aportaciones científicas sobre el particular se encuentran en la etapa de la hipótesis.

Como anteriormente explicamos, el efecto de tamaño, independientemente a su justificación teórica, se presenta en la realidad. Este fenómeno, explica la razón por la cual, como se muestra en la figura 33, en procesos como el rectificado que producen virutas muy delgadas se requiere una gran potencia para remover un volumen dado de material.

Lo que hasta el momento hemos hablado respecto a la fuerza específica de corte nos da una idea cualitativa de su existencia. Sin embargo, hablar de ella en términos cuantitativos se hace necesario dada la importancia que para efectos de determinación de potencia y por tanto de capacidad y limitaciones tiene en el proceso de maquinado.

3.3.2 Resistencia a la Cizalladura del Material.

El manejar cualitativamente la fuerza específica de corte lo cual nos lleva a hablar de la resistencia del material, ha sido también motivo de gran investigación y experimentación, existiendo a la fecha ciertas teorías a nivel de hipótesis y algunas formulas obtenidas empíricamente.

Por no ser objeto de este trabajo profundizar en temas tan particulares como es el caso de la determinación teórica --

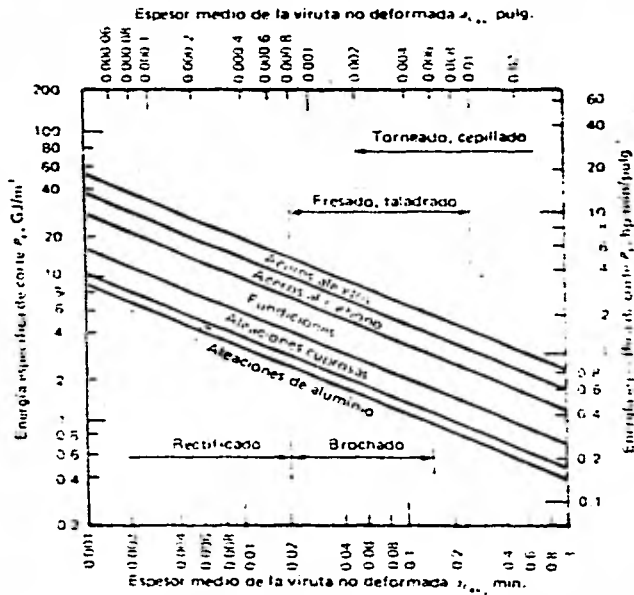


Figura 35 : Valores aproximados para la energía específica de corte p_s para varios materiales y operaciones

de la resistencia del material al corte o cizalladura en el caso particular del proceso de maquinado lo cual implica hablar ampliamente de la teoría de la deformación de los metales, lo cual traería consigo el perder el sentido de visión y criterio que es el objetivo principal de esta obra, nos concretaremos a manejar estas formulas y deducciones en forma genérica.

Una de las determinaciones o estudios teóricos referentes a esta resistencia es la desarrollada por Ernst y Merchant, quienes se apoyan en su propia teoría de la fuerza de penetración y los ángulos de cizallamiento de los cuales hemos visto ya su determinación. La deducción que ellos hacen está referida a la figura 34 y es la siguiente.

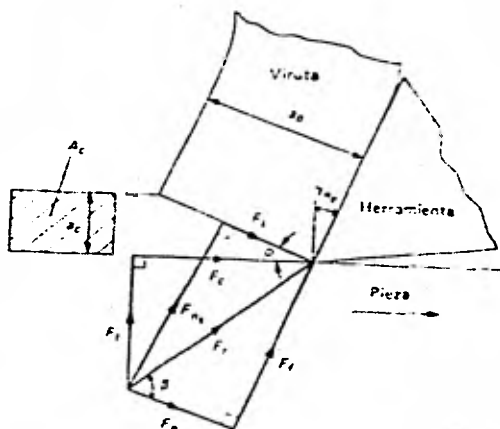


Figura 34 : Diagrama de fuerzas para el corte ortogonal

F_1 = fuerza resultante sobre la herramienta, F_2 = fuerza de corte, F_3 = fuerza de empuje, F_4 = fuerza de cizalladura sobre el plano de cizalladura, F_5 = fuerza normal sobre el plano de cizalladura, F_6 = fuerza de fricción sobre la cara de la herramienta, F_7 = fuerza normal sobre la cara de la herramienta, ϕ = ángulo de cizalladura, γ_n = ángulo de inclinación efectiva, β = ángulo medio de fricción sobre la cara de la herramienta, A_c = área de la sección de la viruta sin cortar, a_0 = espesor de la viruta no deformada, y a_0 = espesor de la viruta.

Si la fuerza resultante sobre la herramienta se proyecta sobre una dirección paralela al plano de cizalladura, se obtiene la fuerza F_s requerida para cizallar el material de la pieza y formar la viruta. Como se muestra en la misma figura, esta fuerza puede expresarse en términos de las componentes de Corte (F_c) y de empuje (F_t) de la fuerza resultantes sobre la herramienta.

$$F_s = (F_c \cos \phi) - (F_t \sin \phi)$$

El área de cizalladura está dada por

$$A_s = \frac{A_c}{\sin \phi}$$

y así la resistencia aparente a la cizalladura del material T_s en el plano de cizalladura es:

$$T_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{[(F_c \cos \phi) - (F_t \sin \phi)] \sin \phi}{A_c}$$

Trabajos experimentales desarrollados por Wallace en Inglaterra 1962, han demostrado que T_s calculado en esta forma, permanece constante para un material de trabajo dado sobre una amplia variedad de condiciones de corte. Se ha observado, desde luego, que para avances pequeños T_s aumenta con una disminución del avance o profundidad de material removido. Esta excepción en el carácter constante de T_s puede explicarse por la existencia de la fuerza de penetración F_p constante. Si F_p se resta de la fuerza de corte resultante F_r , entonces se obtiene $F'r$, la fuerza requerida para remover la viruta y que actúa sobre la cara de la herramienta. Como se aprecia en la figura 30

$$F'r = F_r - F_p.$$

El mismo Wallace ha demostrado que si se utilizan las componentes de $F'r$ para calcular la resistencia del material a la cizalladura, esta resistencia permanece constante a los - - cambios en el avance.

$$\tau_s' = [(F_c' \cos \phi) - (F_t' \sin \phi)] \frac{\sin \phi}{Ac}$$

En donde:

F_c' = Componente de Corte $F'r$

F_t' = Componente de empuje de $F'r$

τ_s' = Propiedad constante del material de trabajo.

Las deducciones anteriores están fundamentadas en diversas hipótesis que resuelven las relaciones evidentes entre factores y condiciones del proceso. Pero que sin embargo algunos de estas hipótesis son planteadas a nivel de sugerencia y por tanto la correspondencia entre las fuerzas reales y las predeterminadas por las fórmulas deducidas es imprecisa.

Dada la complejidad de las operaciones de maquinado prácticas, la fuerza de corte F_c a menudo es expresada empíricamente en función de los parámetros de corte, por ecuaciones de la forma.

$$F_c = K d^a f^b$$

En donde:

d = profundidad de corte

f = Avance

K = Función de ángulo de corte, disminuyendo aproximadamente 1 por ciento por grado de incremento en el ángulo de corte.

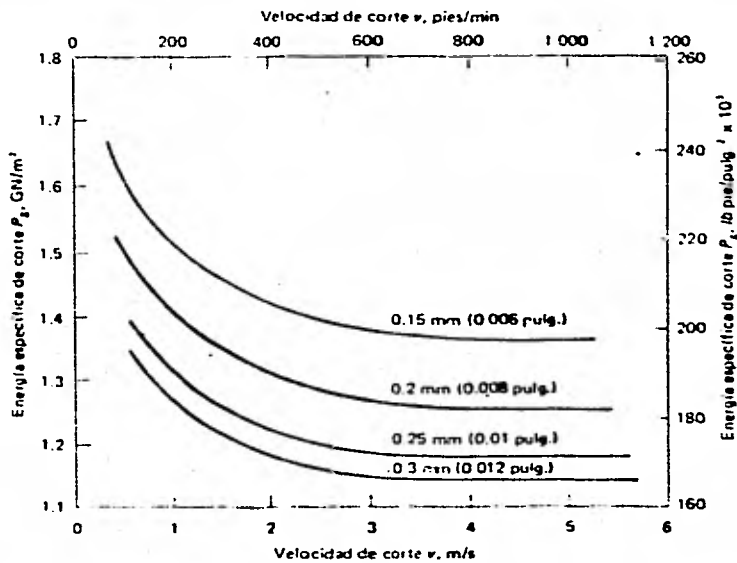


Figura 36 : Efecto de la velocidad de corte y del espesor de la viruta sobre la energía específica de corte en donde p_s = energía específica de corte
 v = velocidad de corte
 a_c = espesor de la viruta no deformada
 el material es acero dulce, el ángulo de inclinación normal es 10° y el ancho de la viruta es 1.25 mm

Para efectos prácticos se han desarrollado una serie de tablas que relacionan para cada diferente tipo de material una fuerza específica determinada para una profundidad de material removido dado y un ángulo de corte también definido. Este tipo de tabulaciones representan una herramienta útil y necesaria para la determinación de la fuerza total de corte. Sin embargo requiere de una buena comprensión ya que en muchos casos su aplicación no es directa debido a diferencia entre condiciones reales y de referencia y se hacen necesarias las consideraciones del analista. -- En la figura 35 se presenta una tabla típica para operaciones de maquinado, con las observaciones y condiciones de referencia correspondientes.

La fuerza específica de corte llamada también energía específica de corte está definida como la cantidad de energía invertida para remover cierta cantidad de material. Por otro lado sabemos que la energía está dada en unidades de fuerza-desplazamiento y que la cantidad de material removido está referida al -- tiempo por lo que para relacionar ambas, hablaremos de la energía invertida para remover cierta cantidad de material por unidad de tiempo P_m y de la cantidad de material removido en esa unidad de tiempo Z_w . Pudiendo expresar entonces la energía específica de corte P_s como:

$$P_s = \frac{P_m}{Z_w}$$

Por otro lado tenemos que la energía invertida por unidad de tiempo P_m corresponde al producto de la velocidad de corte V por la fuerza de Corte F_c y que la cantidad de material removido por unidad de tiempo Z_w es también el producto de la velocidad de corte V por la sección transversal del material removido A_c . -- Por lo que la energía específica de corte P_s es posible también expresararla de la siguiente manera:

$$P_s = \frac{F_c}{A_c}$$

Analizando las unidades de esta energía observamos - que son unidades de Fuerza por unidades de area por lo que hay quienes la definen como presión de corte o fuerza específica de corte, nombre que empleamos en este libro anteriormente. Al respecto de la fuerza o energía específica de corte, en el artículo precedente hemos profundizado en la influencia que la profundidad de material removido tiene en su comportamiento, también hicimos mención a que el ángulo de corte también la modifica. Cuando se trabaja a bajas velocidades de corte, también se presenta un incremento en la fuerza específica de corte el cual se muestra en la figura; 36 . Lo anterior es fundamentado en la disminución de la temperatura alcanzada y por tanto del incremento en la resistencia mecánica del material, así como por problemas de fricción que originan diferentes estados de esfuerzos y por tanto modificación en la inclinación de los planos de cizallamiento. Sin embargo trabajando para una inclinación ó ángulo de la superficie de corte, velocidades relativamente altas y avances grandes, la fuerza específica de corte tiende a permanecer constante, lo cual en la práctica es útil para determinar las fuerzas requeridas para el corte de un material trabajado a altas velocidades y avances.

3.4 Determinación de la potencia.

Lo que a continuación veremos respecto a la determinación de la potencia, representa la forma conceptual de entender - este aspecto, por lo que su planteamiento es en términos muy generales que habrá que adecuar para determinar la potencia en algún - proceso de maquinado específico, como sería el caso de fresado, barrenado, torneado, etc.

Recordando la definición de potencia P , tenemos que es la cantidad de trabajo W realizado durante un período de tiempo. Y que el trabajo a su vez es una fuerza aplicada durante una cierta distancia. De donde podemos expresar:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = f d$$

En donde:

f = Fuerza

d = Distancia

t = Tiempo.

Sustituyendo:

$$P = f \times \frac{d}{t}$$

En donde se puede apreciar que $\frac{d}{t}$ es igual a velocidad y que la potencia puede quedar expresada como:

$$P = f \times V$$

En donde hablando de la potencia requerida para el corte, f, es la fuerza de corte y V es la velocidad de Corte. La fuerza de corte será función a su vez del metal removido y de la fuerza específica de corte Ps de la siguiente manera:

$$f = A_c \times P_s$$

En donde A_c es el área de material removido, función de la profundidad de material removido a_c y de la longitud de corte l_c ó ancho de la viruta como sigue:

$$A_c = a_c \times l_c$$

Como fue visto en los temas anteriores la determinación de la fuerza específica de corte Ps depende de diversas varia-

bles que el analista habrá de considerar a fin de obtener una pre-determinación adecuada de la potencia requerida.

La velocidad de corte V , que en su oportunidad fue definida, dependerá del tipo de maquinado; su determinación, estará expresada siempre en unidades lineales de desplazamiento por unidades de tiempo, por lo que para casos de corte circular, estará en función del diámetro de giro y de la velocidad angular.

Sustituyendo en nuestra fórmula original de potencia tenemos que:

$$P = a_c \times l_c \times P_s \times V$$

En donde evidentemente se hace necesario trabajar con unidades homogéneas y considerar un factor de eficiencia dependiendo de las condiciones de la máquina a emplear, si la intención de la determinación de la potencia es localizar la máquina adecuada o en forma inversa para determinar los parámetros de corte permitidos en función de la potencia disponible.

En términos burdos podemos entender la potencia como la cantidad de material removido por la fuerza que se requiere para lograr la remoción y por la velocidad a que esta remoción se efectúe.

De esta manera resulta relativamente fácil entender y determinar la potencia en cualquier caso de maquinado.

3.5 Determinación teórica de la inclinación de los planos de Cizallamiento.

En el tema anterior hemos visto que para determinar la potencia requerida en el corte, el término que mayor dificultad presenta en su determinación es la fuerza específica de corte, para

lo cual existen diversas tablas que facilitan esta labor, sin embargo estas tablas están condicionadas a tal grado que no resulta fácil su aplicación, y sobre todo su precisión. Por lo cual se han hecho varios intentos para poder determinar en forma teórica su valor.

Si recordamos la determinación práctica de la inclinación de los planos de cizallamiento.

$$\tan \phi = \frac{r_c \cos \gamma_{ne}}{1 - r_c \sin \gamma_{ne}}$$

podemos observar que ~~por~~ está ^{en} función directa del grado de deformación r_c y del ángulo de corte γ_{ne} . Por ser éste último una condición fija, el problema se limita al grado de deformación el cual como recordamos esta definido como:

$$r_c = \frac{a_c}{a_o}$$

En donde a_c es la profundidad del material removido y a_o es el espesor de la viruta.

De donde surge en forma evidente que la inclinación de los planos de cizallamiento podría determinarse conociendo el espesor de viruta. Situación que en un problema teórico no se da.

El referirnos a la determinación de la inclinación de los planos de cizallamiento para la determinación de la fuerza específica de corte, se debe a que, como anteriormente fue considerado, la resistencia a la cizalladura del material permanece constante, y por lo tanto, lo que determinará la fuerza necesaria para la ruptura será el área de los planos de corte que a su vez son función directa de su inclinación.

Una vez que ha quedado claro el planteamiento nos referiremos a algunos intentos que para la determinación teórica de la inclinación de los planos de cizalladura se han desarrollado. - Tal es el caso de la teoría desarrollada por Ernst y Merchant, quienes desarrollan su teoría bajo suposiciones como el considerar a la viruta como un cuerpo rígido que se mantiene en equilibrio por la acción de las fuerzas que se transmiten a través de la zona de contacto entre la viruta y la herramienta y a través del plano de cizalladura. Otra de las suposiciones es que no existe fuerza de penetración.

La base de la teoría de Ernst y Merchant consistió en suponer que la inclinación del plano de cizalladura se da en donde se alcanza el mínimo de fuerza necesario para producir el corte, o sea consideraron que el ángulo de cizallamiento ϕ toma un valor tal que minimiza el trabajo requerido en el corte. La expresión matemática que relaciona la fuerza de corte F_c con el ángulo ϕ fue deducida de la siguiente manera: (Ver figura 34)

$$F_s = F_r \cos (\phi + \beta - \gamma_{ne})$$

$$F_s = T_s A_s = \frac{T_s A_c}{\sin \phi}$$

Despejando F_r

$$F_r = \frac{T_s A_c}{\sin \phi} \frac{1}{\cos (\phi + \beta - \gamma_{ne})}$$

Mediante relaciones geométricas

$$F_c = F_r \cos (\beta - \gamma_{ne})$$

Sustituyendo el valor de F_r

$$F_c = \frac{T_s A_c}{\sin \phi} \frac{\cos (\beta - \gamma_{ne})}{\cos (\phi + \beta - \gamma_{ne})}$$

En donde finalmente encontramos relacionadas las variables F_c y ϕ . Por lo que diferenciando la expresión obtenida con respecto a ϕ e igualando a cero para obtener el valor de ϕ para F_c mínima se obtiene:

$$2\phi + \beta - \gamma_{ne} = \frac{\pi}{2}$$

En la obtención de este resultado se supuso que los variables A_c , γ_{ne} y T_s eran independientes de ϕ . Reconsiderando lo anterior e incluyendo la influencia del esfuerzo normal σ_s en la resistencia del material a la cizalladura, después de desarrollar una deducción semejante a lo anterior, llega finalmente a:

$$2\phi + \beta - \gamma_{ne} = C$$

En donde $C = \text{arc cot}(K)$ y es una constante para el material de trabajo. Sin embargo dado que T_s puede considerarse constante en las condiciones usuales de corte, K adquiere el valor de cero.

Una segunda teoría para la determinación teórica del ángulo del plano de cizallamiento es la desarrollada por Lee y Shaffer quienes basados en diferentes posiciones y tratando el caso con un enfoque de deformación plástica lograron obtener la siguiente expresión del ángulo ϕ .

$$\phi + \beta - \gamma_{ne} = \frac{\pi}{4}$$

Expresión que tiene limitaciones, como el hecho de no aplicar cuando β sea 45° y γ_{ne} sea cero, ya que para estos valores ϕ resultaría cero. Lee y Shaffer comentaron sin embargo, que para tales condiciones se presenta el fenómeno de filo de aportación fuera de control por lo que desarrollaron otra solución para problemas de filo de aportación recrecido.

Como podemos observar, entre ambas ecuaciones existe diferencia, lo cual es debido a que en ambos casos fueron usadas diferentes suposiciones necesarias para el desarrollo del análisis que conllevaron a la separación entre esta y la situación real. Dos omisiones importantes consistieron en despreciar la fuerza de penetración y la fricción entre herramienta y viruta.

En experimentos realizados con diferentes materiales cuyos resultados gráficos en función de ϕ y de $\beta - \gamma_{ne}$, se muestran en la figura 37, se puede observar en principio que la relación entre las variables definidas ϕ y $\beta - \gamma_{ne}$ es lineal para cada material, pero que sin embargo cuentan con diferente pendiente para cada material. Es notable también que en mayor o menor grado, a un incremento de ϕ corresponde un decremento de $\beta - \gamma_{ne}$ y viceversa, por lo que con un aumento de γ_{ne} se logra un aumento en ϕ y por tanto una disminución en el área, por lo que considerando constante la resistencia del material, las fuerzas de corte serán menores. Si revisamos las dos expresiones obtenidas teóricamente e inclusive las graficamos para un grupo de datos determinados, podemos observar que son semejantes a las líneas experimentales en que existe una relación lineal entre las dos variables, y en la inclinación de la pendiente. Sin embargo, si con cualquiera de las expresiones teóricas se descara determinar las líneas para diferentes materiales resultarían líneas paralelas entre sí. Situación que como se puede apreciar en la figura 37, no corresponde a las líneas experimentales.

Otra manera de relacionar el ángulo ϕ de los planos de cizallamiento con la fuerza específica de corte P_s y la resistencia al Corte T_s del material presentada por otros autores como resultado de diversas experimentaciones, se muestra en la figura 38.

Por lo que anteriormente hemos visto se puede concluir que la resistencia del material a la cizalladura se considera cons-

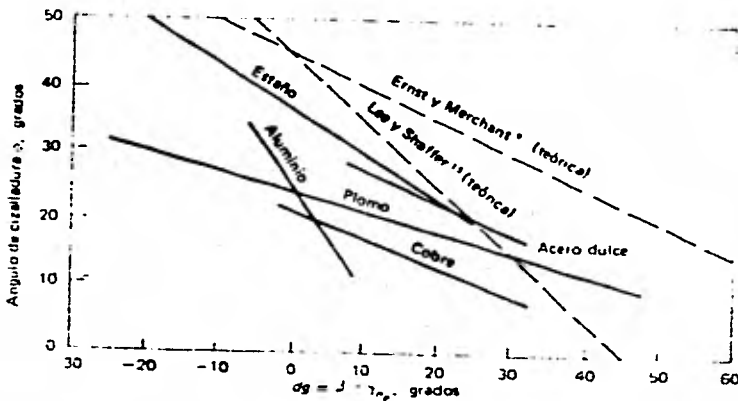


Figura 37 : Comparación de las relaciones teóricas y experimentales para el cálculo del ángulo de cizalladura en el corte ortogonal de metales, donde β = ángulo de cizalladura, γ = ángulo medio de fricción sobre la cara de la herramienta y α_g = ángulo de inclinación efectivo

tante para las condiciones comunes de corte; el incremento de la fuerza específica de corte se debe a la disminución del ángulo del plano de cizalladura; y finalmente que la inclinación del plano de cizalladura está en función del estado de esfuerzos que se crea en la zona de contacto entre herramienta y pieza. Este estado de esfuerzos es función de diversas variables dentro de las cuales la fricción entre herramienta y viruta tienen gran influencia. Por lo que en forma breve comentaremos al respecto de este fenómeno

3.6 Fricción.

El coeficiente de fricción entre superficies depende de muchas variables como son la propia naturaleza de los materiales, los acabados superficiales, la temperatura, etc.. Por lo que el conocimiento de su comportamiento en el caso de superficies secas, se basa en leyes empíricas. Se hace mención al caso de contacto seco dado que la fricción con fluidos de lubricación es susceptible de un análisis teórico exacto.

Relación en la presión específica de corte y la resistencia a la cortadura en función del ángulo del plano de cortadura

Angulo del Plano de cortadura ϕ	Relación
	$\frac{R_s}{R} = \frac{\text{Presión específica de corte}}{\text{Resistencia a la rotura}}$
10°	7,82
15°	5,40
20°	4,18
30°	2,73
40°	1,89
45°	1,577
50°	1,305

Tabla 38

En la teoría de la fricción entre superficies secas, la mayoría de los investigadores coinciden en que el origen del fenómeno está en la cohesión de las moléculas en las superficies de contacto. Este enlace llega a ser tan grande que produce desprendimiento de ambos materiales. Dos superficies solo se tocan en un número relativo pequeño de lugares prominentes. El área real microscópica de contacto es muy diferente del área macroscópica aparente de contacto. Sin embargo, bajo circunstancias ordinarias, esta área real de trabajo es proporcional a la carga, aumentando cuando la carga normal aumenta. Lo anterior explica el porqué la fuerza de fricción se expresa en función de la fuerza normal.

$$F_f = \mu N$$

En donde μ es el coeficiente de fricción función de cada caso y N la fuerza normal.

La adhesión resultante del contacto metálico entre las zonas prominentes de ambas partes se ha considerado como una soldadura y para presentarse el deslizamiento entre superficies se requiere una fuerza que logre el cizallamiento continuo de estas uniones. Se considera que la resistencia a la cizalladura corresponde a la resistencia del metal más blando.

En el proceso de corte se generan presiones tan -- grandes entre la herramienta y la viruta que la relación entre el área real de contacto y el área de contacto aparente, tiende a la unidad por lo que la fuerza de fricción no es ya proporcional a la carga normal sino que equivale a la fuerza de cizalladura del material más blando en toda el área de contacto. A raíz de las -- consideraciones anteriores fue desarrollado por Zorev el modelo -- de corte ortogonal con viruta continua y sin recrecimiento del -- filo de aportación el cual se muestra en la figura 39 . En este modelo se aprecia la distribución de los esfuerzos normales así como la del esfuerzo de cizalladura. Dado que se está suponiendo la presencia de fricción adhesiva debida a las altas presiones que tienen lugar entre viruta y herramienta, en este modelo también -- se muestra la longitud de adhesión y la longitud en que, debido -- a la distribución de esfuerzo normal, la fricción deja de ser adhesiva para convertirse en zona de deslizamiento.

Como resultado de este análisis se observa claramente que el ángulo medio de fricción β , que hemos venido utilizando desde el capítulo anterior, dependerá de la distribución del esfuerzo normal, de la longitud de fricción adhesiva, de la resistencia media de la cizalladura del material de la viruta y del coeficiente de fricción en la zona de deslizamiento. Las variables del proceso que determinan el valor del ángulo medio de fricción β -- son, entre otras, velocidad de corte y ángulo de corte.

Para la determinación analítica del ángulo medio de

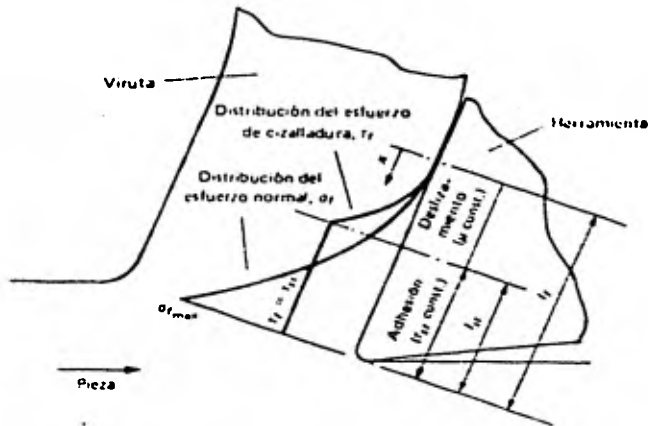


Figura 39 : Modelo de la fricción entre la viruta y la herramienta en el corte ortogonal, donde σ_{fmax} = esfuerzo normal máximo, σ_f = esfuerzo normal, τ_r = esfuerzo de cizalladura, τ_{cr} = resistencia a la cizalladura del material de la viruta en la región de adhesión, ξ_a = longitud de contacto entre la viruta y la herramienta y ξ_r = longitud de la región de contacto adhesivo

fricción β , Zorev desarrolla un análisis diferencial e integral - a partir de su modelo, definiendo en principio las funciones algebraicas que lo describieran.

La distribución del esfuerzo normal representada por la expresión:

$$\sigma_f = qx^y \quad (3.6.1)$$

en donde x es la distancia sobre la cara de la herramienta a partir del punto donde se separa la viruta y hacia la arista de corte, q y y son constantes.

El esfuerzo normal máximo σ_{fmax} ocurre en $x = l_f$

$$\sigma_{p \max} = q l_f^3$$

6

$$q = \frac{\sigma_{p \max}}{l_f^3}$$

Sustituyendo en (3.6.1)

$$\sigma_z = \sigma_{p \max} \left(\frac{x}{l_f} \right)^3 \quad (3.6.2)$$

La distribución del esfuerzo de cizallamiento en la zona de deslizamiento está dada por:

$$\tau_z = \sigma_z \mu$$

donde μ es el coeficiente de fricción y es constante. En la región de adhesión el esfuerzo de cizalladura adquiere su valor máximo τ_{st} a todo lo largo de la zona de adhesión.

Para encontrar la fuerza normal F_n que actúa sobre la cara de la herramienta integramos la expresión (3.6.2):

$$F_n = a_w \int_0^{l_f} \sigma_{p \max} \left(\frac{x}{l_f} \right)^3 dx$$

$a_w =$ ancho de viruta

$$F_n = \frac{\sigma_{p \max} a_w l_f}{4}$$

La fuerza de fricción total sobre la cara de la herramienta está dada por:

$$F_{\tau} = a_w \left[\tau_{st} l_{st} + \int_0^{l_f - l_{st}} \mu \sigma_{p \max} \left(\frac{x}{l_f} \right)^3 dx \right]$$

$$F_{\perp} = \tau_{st} \alpha_w l_{st} + \frac{\mu \sigma_{fmax} \alpha_w (l_f - l_{st})^{1+y}}{l_f^y (1+y)} \quad (3.6.3)$$

El esfuerzo normal σ_p en el punto $X = l_f - l_{st}$, - también está dado por:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_{fmax} (l_f - l_{st})^y}{l_f}$$

Por lo tanto τ_{st} que es igual a τ_f en el mismo punto se puede expresar:

$$\tau_{st} = \mu \frac{\sigma_{fmax} (l_f - l_{st})^y}{l_f} \quad (3.6.4)$$

Sustituyendo esta expresión (3.6.4) en la (3.6.3)- obtenemos:

$$F_{\perp} = \tau_{st} \alpha_w l_{st} + \frac{\tau_{st} \alpha_w (l_f - l_{st})}{1+y}$$

Haciendo referencia a la figura sabemos que el ángulo medio de fricción β es igual a $\arctan (F_f/F_n)$ por lo que

$$\tan \beta = \frac{F_f}{F_n} = \frac{\tau_{st}}{\sigma_{fmax}} \left(1 + \frac{l_{st}}{l_f}\right) \quad (3.6.5)$$

El esfuerzo normal medio sobre la curva de la herramienta está dado por:

$$\sigma_{\text{fav}} = \frac{F_n}{\alpha_w l_f} = \frac{\sigma_{fmax}}{1+y}$$

y

$$\sigma_{fmax} = (1 + \frac{l_{st}}{l_f}) \sigma_{\text{fav}}$$

Sustituyendo lo anterior en (3.6.5)

$$\beta = \arctan \left[\frac{\tau_{st}}{\sigma_{faw}} \frac{[1 + \gamma (k_{st}, k_f)]}{1 + \gamma} \right]$$

De experimentos realizados se ha encontrado que el término

$$\frac{\tau_{st}}{1 + \gamma} [1 + \gamma (k_{st}, k_f)]$$

permanece sensiblemente constante por lo que finalmente

$$\beta = \arctan \frac{K}{\sigma_{faw}}$$

en donde K es una constante.

De la expresión anterior se explica el efecto del cambio en el ángulo de corte ϕ_{m2} , a medida que éste aumenta, - la componente normal F_n disminuye y el ángulo medio de fricción β aumenta lo cual coincide con los resultados experimentales - Ver figura 37 .

Capítulo 4: Fuerzas que intervienen en el Proceso de Corte.

4.1 Convención.

Las fuerzas que se presentan en el mecanismo de corte sin considerar la fuerza entre la superficie maquinada y la arista de corte, como anteriormente habíamos visto son:

- a) La fuerza debida a la resistencia del material a ser cortado.
- b) La fuerza necesaria para doblar la rebaba:
- c) La fuerza debida a la fricción de rozamiento entre rebaba y superficie de corte en la herramienta.
- d) La fuerza debida a la fricción entre la arista de corte y la superficie temporal.

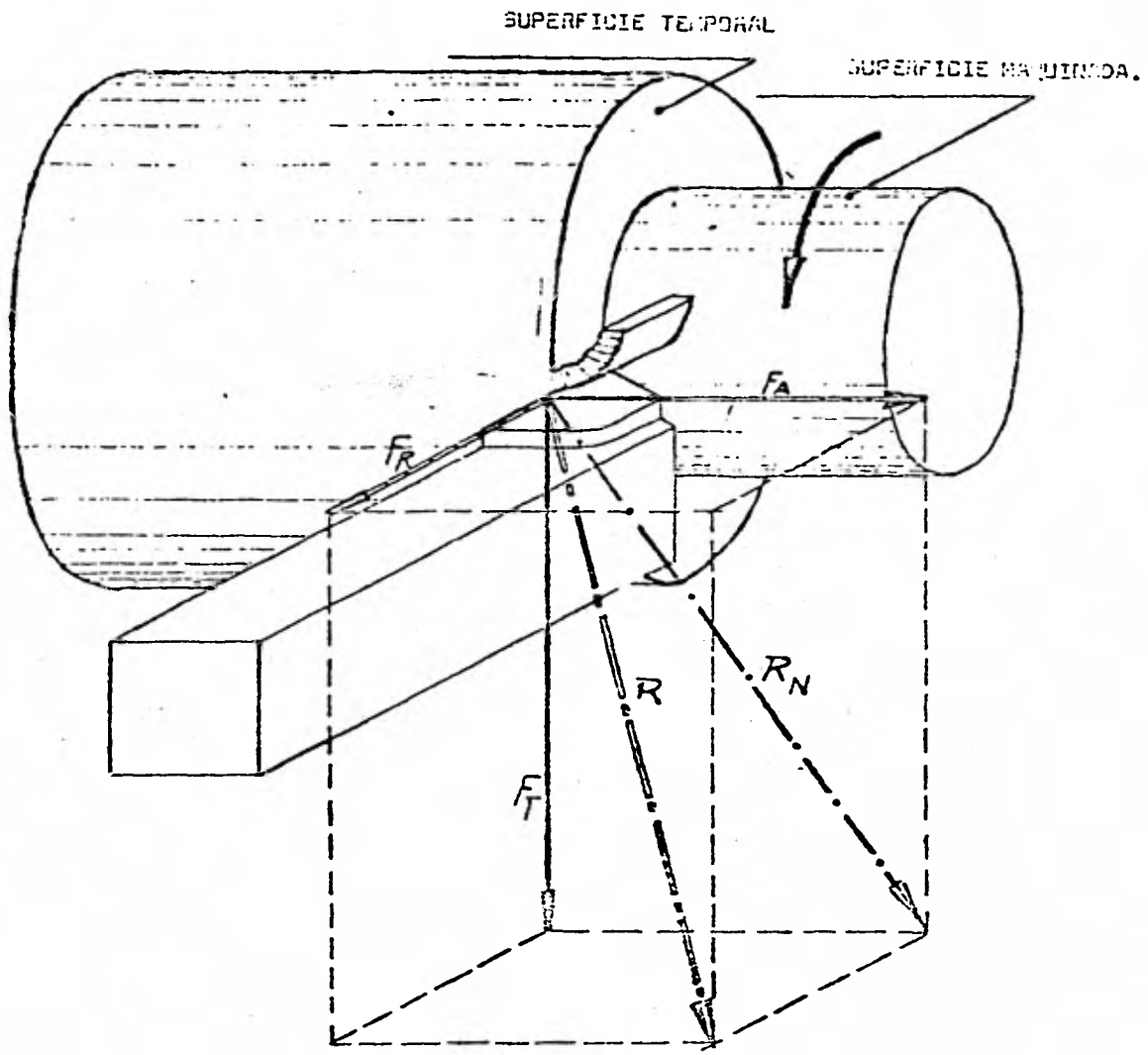
Cada una de estas fuerzas se presentan en determinada posición dependiendo básicamente de la geometría de la herramienta.

La suma de estas fuerzas de la resultante total o sea, la fuerza resultante que se opone al corte del material.

Debido a que la magnitud y el sentido de las fuerzas generadas dependen de la geometría de la herramienta conviene descomponer la fuerza resultante total en tres componentes en sentidos bien definidos y en lo sucesivo referirnos a esas componentes: (Fig. 40)

- a) Fuerza Tangencial.
- b) Fuerza Axial.
- c) Fuerza Radial.

Con el fin de poder generalizar la terminología de estas



F_r . COMPONENTE RADIAL.
 F_t . COMPONENTE TANGENCIAL.
 F_a . COMPONENTE AXIAL.

FIG. 40

componentes para el mecanizado en diferentes máquinas herramientas las definiremos en la siguiente forma:

4.1.1 Fuerza Tangencial.

Esta componente estará formada por la contribución de las fuerzas que intervienen, las 4 antes mencionadas, en el sentido de la trayectoria del corte.

4.1.2 Fuerza Axial.

Compuesta por la contribución de las fuerzas que intervienen las 4 antes mencionadas, en el sentido de la alimentación o avance.

4.1.3 Fuerza Radial.

Esta componente es perpendicular al plano formado por las dos anteriores.

La componente tangencial tiene mucha importancia ya que es la que determina básicamente los requerimientos de potencia para el corte. La componente axial determina la potencia requerida para el avance y por tanto influye en los requerimientos de potencia total. La componente radial es una fuerza que se compone principalmente de la fuerza que opone la superficie ya maquinada sobre la arista de corte. A esta última componente se debe básicamente la deformación elástica. (flexión tanto de la pieza trabajada como en la máquina, sin embargo, también influye en los requerimientos de potencia debido a las fuerzas friccionantes que origina.

La importancia de analizar la magnitud de las fuerzas de corte, se debe a que dependiendo de las condiciones de rigidez de la máquina, sujeción de la pieza, rigidez de la pieza y disponibilidad de potencia será más o menos importante cuidar cada una de las componentes lo cual se logrará mediante la adecuada selección de la

geometría de la herramienta. Es necesario también hacer notar que el sentido de las componentes de fuerza, dependerán del tipo de mecanizado que se está desarrollando. Un ejemplo sencillo es la diferencia entre una operación de cilindrado y una de refrentado en un torno horizontal, en este caso el sentido de la fuerza tangencial, es el mismo para ambos, sin embargo, la axial en el caso del cilindrado es paralela al eje de la pieza, mientras que en el refrentado es perpendicular al eje; la fuerza radial en el caso del cilindrado es perpendicular al eje y en el refrentado es paralelo al eje. -- Se hace necesario tener especial cuidado con lo anterior, ya que de ello dependerá el caer en malas consideraciones. Inclusive, en este mismo libro, al explicar la influencia de la geometría se hace ésta refiriéndonos únicamente a alguno de los diferentes casos.

La convención de las fuerzas de corte, es aplicable a cualquier máquina herramienta.

4.2 Geometría de la herramienta.

Si bien los resultados de una herramienta dependen en gran parte del material con el cual están fabricadas, es necesario puntualizar. La importancia que tiene la geometría de ésta, ya que el mejor material no funcionaría bien sin la combinación adecuada de la geometría.

La mala selección de una geometría o el mal afilado cuando se habla de herramientas afilables, traen como resultado un costo excesivo en la remoción del material, bien sea por desgaste prematuro de la herramienta, mayor inversión de energía, la remoción o imposibilidad para lograr rangos de remoción adecuados.

4.2.1 Nomenclatura.

Antes de comentar la influencia de cada elemento de la geometría de una herramienta haremos una clasificación de ellos.

A este respecto es necesario comentar que existen diversas nomenclaturas por lo que lo importante de la descripción radica en el entendimiento del concepto más que la memorización del término.

Iniciaremos por definir las partes más evidentes - para después referirnos a ellas en la identificación del resto que no son tan simples de interpretar. Las partes que se mencionan son la superficie de desprendimiento o cara de la herramienta, el plano de base de la herramienta y la superficie de incidencia o frente de la herramienta las cuales se muestran en la figura 41 .

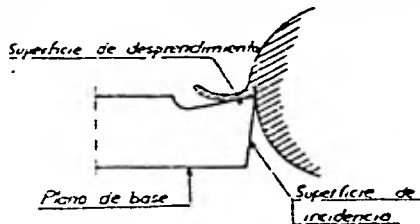


Figura 41

4.2.1.1 Superficie de desprendimiento, superficie de corte ó cara.

Es la superficie que se presenta ante el material a ser removido. Interfiere la trayectoria de la pieza a maquinar produciendo corte. Sobre esta superficie fluye la viruta.

4.2.1.2 Superficie de incidencia o frente.

Esta superficie se localiza frente a la superficie - que hemos denominado temporal, la cual recordando la definición va siendo removida en cada ciclo debido al movimiento relativo de avance.

4.2.1.3 Herramientas de derecha o izquierda.

Esta definición está referida al sentido de corte de la herramienta. Aunque en una operación de torneado, por ejemplo, la herramienta es la que se desliza sobre la pieza en el caso de un cilindrado la definición del sentido de corte está definida con la suposición de que la herramienta se encontrará entre la pieza y el operario y que se mantuviese fija siendo la pieza la que se desplazará. - Bajo esta consideración hacia el lado en que se fuera trasladando la pieza, tomando como punto de referencia la posición del operario, definirá el sentido de corte de la herramienta.

Existe una forma práctica para determinar el sentido de corte: consiste en colocar la herramienta como se indica en la figura 42,

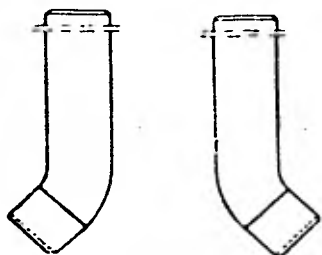


Figura 42

Cuchilla a la izquierda Cuchilla a la derecha

con lo que en forma inmediata mediante la observación se logra definir el sentido de corte.

Con objeto de mostrar la geometría y nomenclatura en un buen grado de detalle, hemos recurrido a la figura 43,

deducida por Blampain en su obra teoría y práctica de las herramientas de corte. A continuación transcribimos las definiciones que el mismo hace las cuales con la complementación de la figura dejan claro el entendimiento de la geometría de la herramienta.

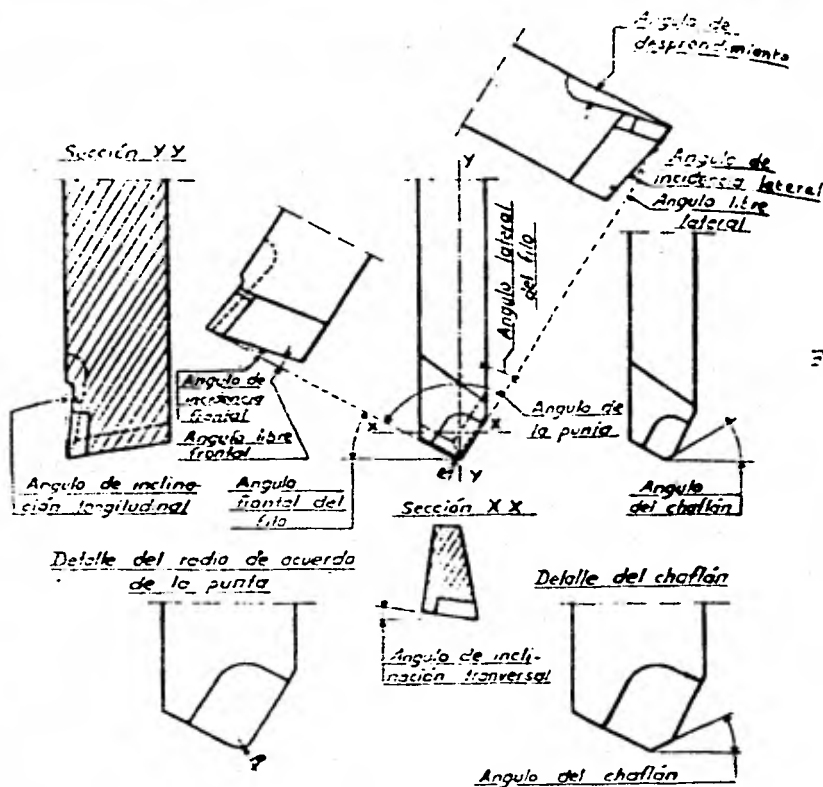


Figura 43

1) Angulo de inclinación longitudinal (back rake angle) es el ángulo agudo comprendido entre la cara de una herramienta y una paralela al eje de la herramienta o del portaherramientas medido en un plano paralelo al eje de la punta de la herramienta y normal al plano de base. Este ángulo es positivo si la pendiente desciende hacia atrás y negativo si asciende en ese sentido.

2) Angulo de inclinación transversal. (side Rake - angle). Es el ángulo agudo comprendido entre la cara de una herramienta y una paralela a la base medida en un plano perpendicular al de base y al eje de la punta de la herramienta.

3) Angulo de incidencia lateral o del filo principal. (Side relief angle). Es el ángulo agudo comprendido entre la parte de la herramienta situada inmediatamente debajo del filo principal y una recta perpendicular a la base. Se mide en un plano perpendicular al de base y a la proyección del filo sobre este último.

4) Angulo de incidencia o de filo secundario. (End relief angle). Es el ángulo agudo comprendido por la parte de la herramienta situada inmediatamente por debajo del filo secundario o contrafilo y una recta perpendicular a la base. Al igual que el anterior se mide en un plano perpendicular al de base y a la proyección del filo secundario, sobre el plano de base.

5) Angulo Libre (Clearance Angle). Es el ángulo agudo que forma con la vertical la cara de incidencia en su región próxima al plano de base. Se mide en el plano del ángulo de inclinación transversal cuando se trata del ángulo libre lateral y en el plano del ángulo de inclinación longitudinal cuando se trata del ángulo libre frontal.

6) Angulo Lateral del filo (Side cutting edge angle). Angulo formado por perfil de la herramienta y las generatrices del mango. En el caso de una herramienta acodada este ángulo se mide respecto a la porción recta del mango.

7) Angulo frontal del filo. (End cutting edge angle). Angulo formado por el perfil secundario y una perpendicular el mango en su zona recta. Cuando la herramienta se monta en una posición que no es la normal la relación entre este ángulo y la pieza se modifica.

8) Angulo de la punta. (Nose angle) Es el ángulo comprendido entre el filo y el contrafilo.

9) Angulo del clafán (chanfer angle). Es el ángulo que forma con el chaflan, la Perpendicular trazada por la punta de la herramienta al eje de la misma.

4.2.2 Influencia.

Basados en la nomenclatura antes definida analizare-

mos ahora los elementos que producen influencias determinantes en el proceso.

4.2.2.1 Angulos de Incidencia.

Estos angulos son también conocidos como ángulos de alivio. En una herramienta se presentan el del filo principal, el del contrafilo ó filo lateral y los correspondientes secundarios.- Su principal objetivo es el lograr que el contacto entre pieza y herramienta este dado tan solo en la arista denominada filo, y evitar de esta manera el rozamiento entre la pieza trabajada y la superficie de incidencia de la herramienta, con el consiguiente calentamiento y disminución de las propiedades de remoción del material de la herramienta.

La medida de estos angulos depende principalmente del material a trabajar. Las limitaciones de este ángulo están definidas por la fricción entre herramienta y pieza en caso de ser muy pequeña y por la disminución de la sección transversal de la herramienta que soporta la carga del corte en caso de ser excesivo este ángulo. En este último caso se origina una fractura de la arista de filo que trae consigo un incremento de la zona de la herramienta en contacto con la pieza generandose una gran fricción lo cual se trataba de evitar con el incremento del ángulo. Ambos efectos se muestran en la figura 44 .

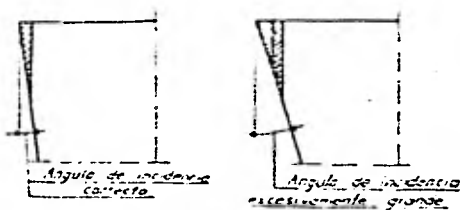


Figura 44

Parte rayada - desguste
Parte pintada - Zona frágil.

La magnitud de estos ángulos es principalmente función de material a ser trabajado y del material de la herramienta. El material de la pieza trabajada influye dado que mientras las -- fuerzas de corte que se requieran para lograrlo, sean muy altas, -- por las Propiedades del material, menores deberán ser los ángulos de incidencia para lograr que la sección transversal de la herramienta que soportará la carga sea máxima. La influencia del material -- de la herramienta consiste en que mientras más frágil sea éste, o -- sea mientras menos resistencia se tenga al choque y a la cortadura, menor deberá ser el ángulo para proporcionar mayor sección de trabajos. Con base a las anteriores consideraciones la tabla 45 muestra los ángulos de incidencia principal en función del material trabajado y del material de la herramienta.

Relación entre la fuerza específica de corte y la resistencia a la tracción

Sección de viruta (mm ²)	2	4	6	8	10	12
$\frac{\text{Fuerza específica}}{\text{Resistencia a la tracción}}$	4.5	4	3.75	3.5	3.5	3.3

Tabla 45

Es interesante el comentar que en el caso del maquinado de roscas, el ángulo de incidencia está obligado a ser por lo menos el ángulo de la helice generada por el paso y diámetro de la rosca más un pequeño ángulo función nuevamente del material trabajado y el material de la herramienta.

El ángulo de incidencia secundario o ángulo libre -- es de gran importancia principalmente cuando hablamos de herramientas afilables, ya que permite, cuando este se lleva a cabo, que únicamente sea afilada la superficie de incidencia principal con la --

- 98 -

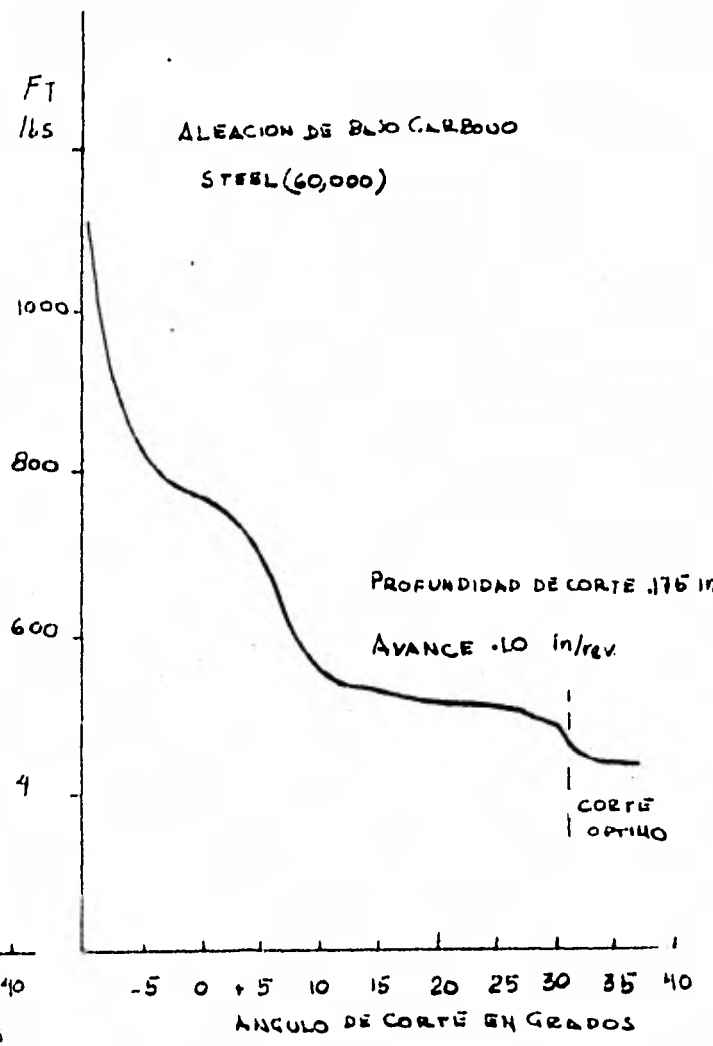
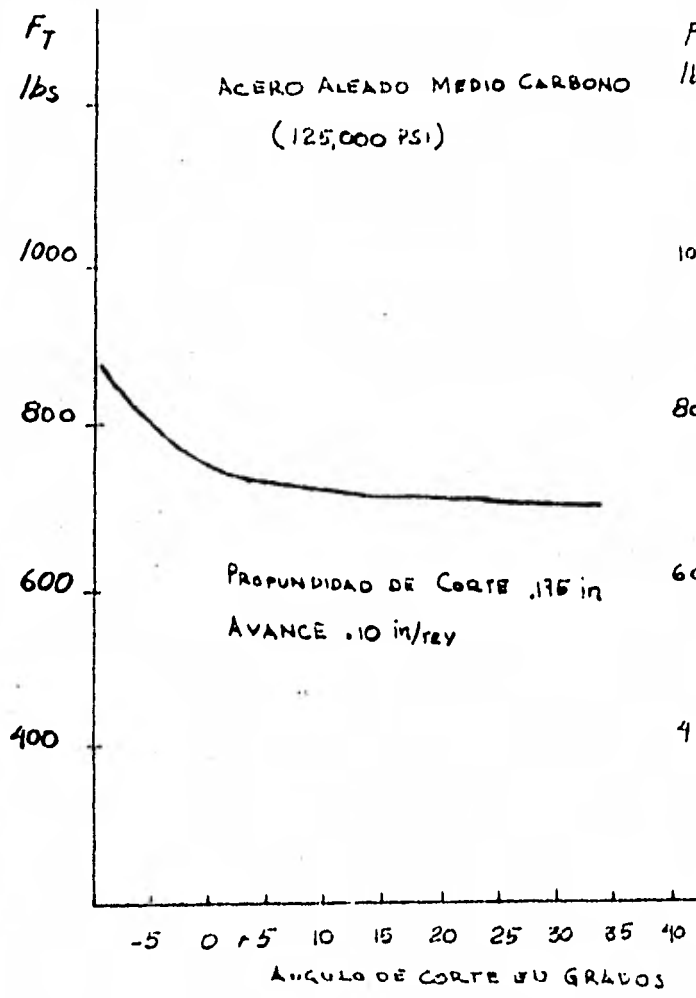


FIG.46

cual resulta económica la operación. De no existir este ángulo sería necesario afilar toda la superficie de incidencia la cual en ocasiones está formada por dos diferentes materiales que por la magnitud de la - superficie y la variedad de materiales, gastan extraordinariamente la - herramienta de afilado.

4.2.2.2 Angulo de desprendimiento.

También lo hemos llamado ángulo de inclinación normal efectivo. Este es el ángulo que mayor influencia tiene en el mecanismo de corte ya que de él depende el grado de deformación interna que - tenga lugar y por tanto la magnitud de la fuerza tangencial definida - en el capítulo anterior. La fuerza tangencial definida multiplicada - por la velocidad de corte define alrededor de un 75% de la potencia -- total consumida. La magnitud de la fuerza tangencial y por tanto la - potencia consumida es en gran parte función del grado de deformación - interna que se presenta en el material antes de ser cortado. La defor- mación interna a su vez es función de la tenacidad del material. Cuan- do la inversión de energía para lograr el corte es alta, menor será la maquinabilidad del material. Por lo anterior mediante la variación -- del ángulo de desprendimiento se logra modificar la cantidad de ener- gía invertida.

Pruebas realizadas por el Dr. Patkay para diferentes ángulos de desprendimiento y para diferentes rangos de velocidad de- mostraron lo siguiente:

En materiales de alta plasticidad la inversión de e- nergía puede ser reducida considerablemente cuando se incrementa el - ángulo de desprendimiento.

En materiales de menor plasticidad, la influencia de este ángulo en la energía invertida es mucho menor y finalmente. En materiales frágiles cuyo comportamiento es casi elástico puro, - la influencia de este ángulo es apenas perceptible. En la figura se



Figura 47 a : Angulo de inclinación normal efectiva
 15° , C/F = 5/1



Figura 47 b : Angulo de inclinación normal efectiva
 32° , C/F = 2/1

Microfotografías de virutas producidas con ángulos de inclinación normal efectiva de 15° y 32° . Material : acero al carbono de baja aleación, 60,000 psi. Avance : .010 plg/rev. Velocidad : 200 pie/min. Aumento : 100 x

observa un ejemplo de las pruebas realizadas en donde se muestran las conclusiones antes descritas. En esta figura se observa como la disminución de la fuerza tangencial de corte es considerable para ángulos de desprendimiento pequeños, hasta que para un cierto valor del ángulo, el comportamiento de la fuerza tangencial se mantiene casi constante. Los materiales mostrados en la figura 46 corresponden respectivamente a un acero aleado con contenido medio de carbono y un acero aleado y endurecido superficialmente. Este último con gran plasticidad y baja resistencia a la tensión. En la figura 47 aparecen dos microfotografías tomadas a la misma velocidad de corte y en el mismo material, variando el ángulo de desprendimiento únicamente. Resulta evidente el grado de deformación mucho mayor para el caso del menor ángulo que para el caso del mayor ángulo, lo cual corrobora la teoría emitida.

De lo anterior podría concluirse que el trabajar con grandes ángulos de desprendimiento sería lo más adecuado, sin embargo, el incrementar el ángulo de desprendimiento trae consigo el debilitamiento del filo de la herramienta por lo cual a pesar de la disminución en la fuerza tangencial el rango de remoción está limitado por la resistencia de la herramienta. Esto último se aprecia en la figura 48. De esto se explica el porqué en ciertos materiales donde sería muy conveniente incrementar el ángulo para disminuir la fuerza tangencial, finalmente se trabajan con ángulos pequeños por la resistencia requerida por la herramienta para el corte.

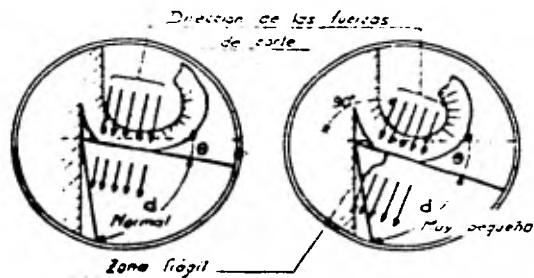


Figura 48

El uso de ángulos de desprendimiento negativos. De lo anteriormente explicado, resultan claras las ventajas de las herramientas positivas así como sus restricciones. Las herramientas con ángulo de desprendimiento negativo tienen la ventaja de contar con una gran resistencia mecánica lo cual permite el que sean utilizadas para grandes rangos de remoción, así como en casos en que se presentan problemas de irregularidades en la pieza trabajada y por tanto golpeteo, las desventajas de estas herramientas son el producir mayor fuerza tangencial por lo que se requiere trabajar en buenas condiciones de fijación y rigidez. Esto mismo provoca un mayor consumo de energía cuando se emplean herramientas negativas. Lo anterior nos indica que el uso de herramientas negativas está restringido a ciertos casos, a fin de que no resulte anti-económico su empleo. Tal es el caso de que debido a las propiedades abrasivas y de dureza del material trabajado, la configuración del filo positivo no presenta la suficiente resistencia mecánica y por tanto duración. También es recomendada para casos con presencia de vibración y golpeteo por las mismas razones del caso anterior. En el empleo de herramientas con filo de desprendimiento negativo, se logra que la fuerza tangencial de corte actúe a compresión sobre la superficie de desprendimiento de la herramienta, a diferencia de las positivas en las que el esfuerzo creado sobre la herramienta es de corte. La fragilidad de los carburos ha suscitado que con ángulos de desprendimiento negativos se obtengan fabulosos resultados. En herramientas positivas se ha tratado de combinar las ventajas de la negativa fabricando sobre la superficie de desprendimiento una faceta negativa, como se muestra en la figura 49

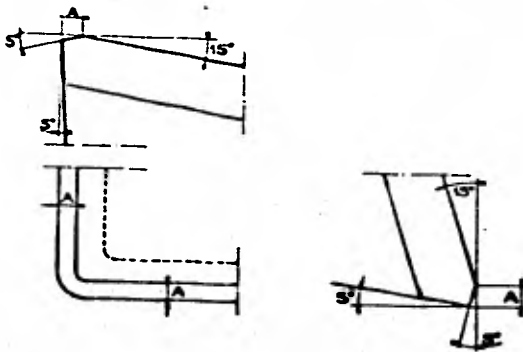


Figura 49

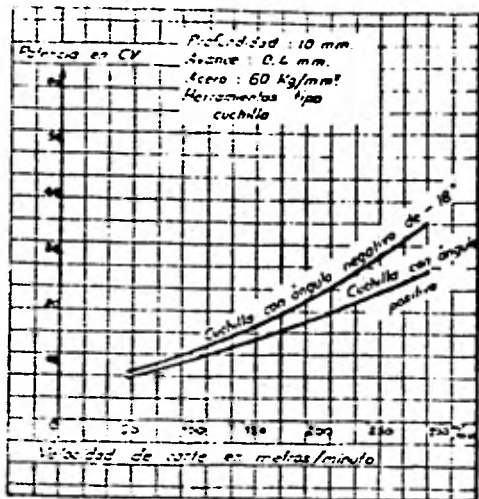


Figura 50

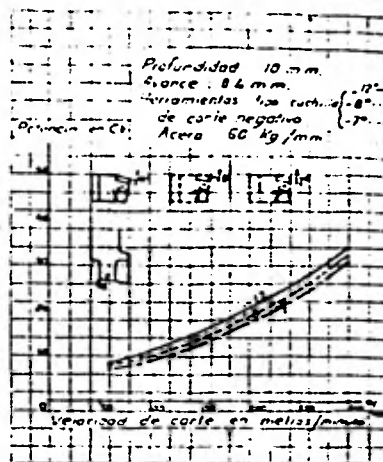


Figura 51

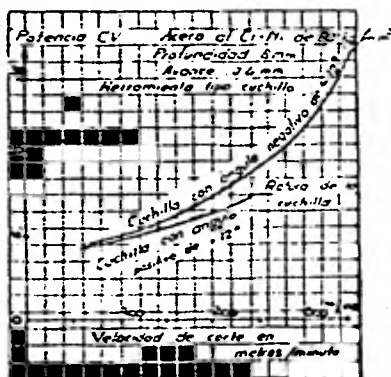


Figura 52

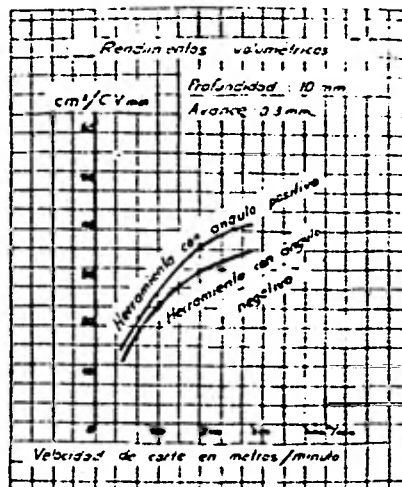


Figura 53

Para concluir este tema mostraremos una serie de graficas que hablan por sí solas de las diferencias entre angulos de desprendimiento positivos y negativos. En principio en la figura 50 aparece graficada la potencia contra la velocidad para una herramienta positiva y una negativa trabajando con el mismo material y con las mismas condiciones. En la figura 51 se encuentra la misma grafica mostrando ahora solo herramientas negativas de diferentes magnitudes. La figura 52 muestra también potencia contra velocidad ahora para una herramienta negativa y una positiva, en donde se puede apreciar la diferencia en resistencia mecanica entre ambas. En la figura 53 se muestra el rendimiento volumetrico para ambas herramientas.

Finalmente en la tabla se muestran algunos angulos de desprendimiento recomendados para tres diferentes tipos de material de la herramienta.

Tabla 54 Angulos de desprendimiento para distintos materiales y herramientas.

Material que se ha de trabajar	Acero rápido Gran resistencia	Estilita Resistencia media	Carburo Resistencia minima
Fundición blanda (170 Brinell)	12° - 18°	10° - 16°	6° - 12°
Fundición media (250 Brinell)	10° - 15°	7° - 12°	4° - 9°
Fundición dura (400 Brinell)	5° - 10°	3° - 7°	0° - 5°
Fundición en coquilla	-5° - +5°	-5° - +2°	-10° - 0°
Fundición maleable	10° - 15°	7° - 12°	5° - 10°
Fundición aleada	10° - 15°	7° - 12°	5° - 10°
Acero al carbono (0.2 % C)	15° - 25°	12° - 20°	8° - 15°
Acero al carbono (0.4 % C)	12° - 20°	8° - 16°	6° - 12°
Acero al carbono (1 % C)	10° - 15°	7° - 12°	4° - 8°
Acero al niquel (3.5 % Ni)	10° - 15°	7° - 12°	4° - 8°
Acero al cromo vanadio	8° - 14°	5° - 10°	3° - 7°
Acero de 125 kg/mm ² o más	5° - 10°	0° - 6°	0° - 4°
Acero inoxidable	5° - 12°	3° - 8°	0° - 5°
Cobre	20° - 30°	15° - 25°	10° - 20°
Bronce fosforoso	4° - 6°	3° - 5°	0° - 4°
Aluminio fundido	20° - 30°	15° - 25°	10° - 20°
Bronce de aluminio	15° - 20°	10° - 15°	6° - 12°
Bronce de manganeso	10° - 16°	8° - 14°	4° - 10°
Metal Monel	10° - 15°	7° - 12°	4° - 9°
Magnesio	25° - 35°	20° - 30°	15° - 25°
Plásticos	20° - 35°	15° - 30°	10° - 25°

4.2.2.3 Angulo de inclinación del perfil.

También denominado angulo de ataque. La primer ventaja o característica relevante que comentaremos es el evitar que -- la herramienta inicie el corte con la nariz o punta, que es la zona de menor resistencia. El iniciar el corte con un determinado ángulo permite que la Primer zona que tiene contacto con la pieza sea una sección con mayor resistencia que la nariz además de crear una entrada de corte gradual evitándose el choque total. Esto es particularmente importante cuando se trata de maquinar materiales con irregularidades como es el caso de piezas fundidas o forjadas. Al finalizar el corte también se logra que la herramienta abandone gradualmente la pieza evitándose el incremento del espesor, de rebaba, en el caso de una herramienta de 90° que daña el filo de la herramienta. Este efecto se muestra en la figura 55 .

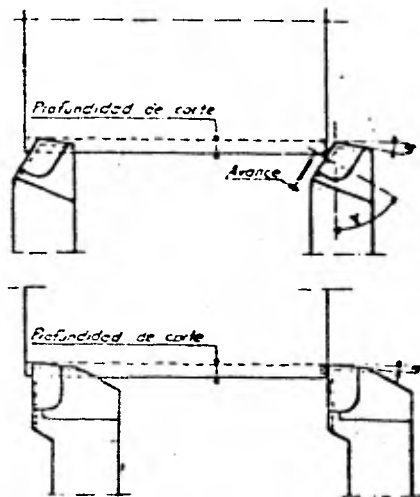


Figura 55 : Influencia del ángulo de inclinación del perfil en la protección del filo

La siguiente influencia en importancia esta dada por la disminución del espesor efectivo de rebaba al usar un ángulo de inclinación del perfil diferente de 90° algo consecuente es el incremento en la longitud del filo que trabaja ya que las dimensiones finales de la sección removida son menos espesor pero mayor longitud de manera que la sección transversal se mantiene constante, el espesor efectivo de viruta se reduce con una modificación de la inclinación del perfil diferente a 90°. En 90° de inclinación, el espesor efectivo de viruta corresponde a la longitud del avance como se muestra en la figura No. 56 . El efecto que esto trae consigo es posible visualizarlo en dos diferentes aspectos que están íntimamente ligados. Uno de ellos consiste en que al incrementarse la longitud de trabajo del filo, la presión de trabajo producida sobre la herramienta por el material, no ocurre únicamente en la punta de la herramienta ó en esta zona sino que alcanza distribuirse en una zona más resistente y en la punta el esfuerzo es menor. La única restricción en este beneficio es que el espesor efectivo de viruta no sea tan reducido como para llegar a la zona en que la fuerza, específica de corte se incrementa desproporcionalmente con el consiguiente deterioro del filo que antes fue explicado.

Una ventaja adicional consiste en que ha medida que incrementamos el ángulo de inclinación bajo la convención de la figura se logra obtener mayor rigidez en la punta de la herramienta, esto es, el ángulo de la punta se ve incrementado, lo cual se aprecia en la misma figura. De lo anterior se desprenden una serie de situaciones que el lector podrá deducir fácilmente teniendo claros los principales conceptos, tal es el caso de que para evitar, por trabajar con una cierta inclinación del perfil y poder aprovechar las ventajas que esto trae consigo, pero evitando incurrir el estar trabajando en la zona crítica de la fuerza específica, es posible incrementar el avance, obteniéndose así incluso un mayor rango de remoción, esto evidentemente disponiendo de la potencia, rigidez en la pieza, rigidez en la máquina rigidez en la herramienta que sean demandados por el corte, considerando que los diferentes casos que pudiésemos mencionar en este

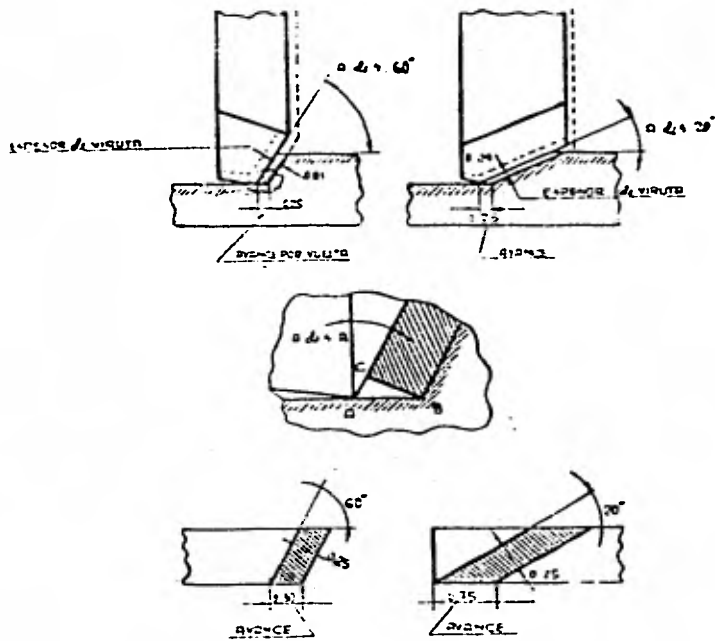


Figura 56

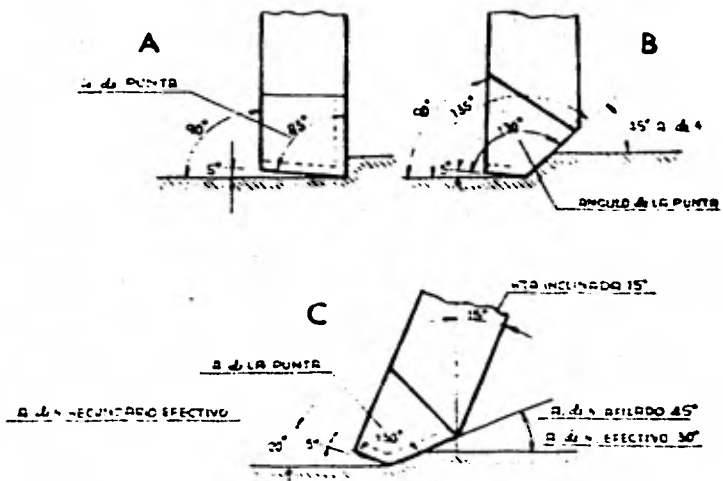


Figura 57

artículo corresponderían con un problema práctico solo en forma casual, dejamos al lector la tarea de manipular estos conceptos en cada caso.

Finalmente analizaremos la influencia que tiene este ángulo sobre las fuerzas de corte definidas convencionalmente en el principio de este capítulo. La magnitud de la fuerza tangencial se mantiene prácticamente constante para un mismo rango de remoción, - - salvo que alguno de los factores vistos fueran modificadas, la modificación de la inclinación del perfil, con la salvedad anterior no afecta esta componente. Las componentes de aquella convención que son afectados por un cambio en la inclinación del perfil son la radial y la axial. Si analizamos el caso de una herramienta a 90° contra otra

que tuviera un ángulo determinado, como muestra la figura 58 , vemos que en el caso de la herramienta de 90° la presión del avance produce una reacción de parte de la herramienta casi en el sentido axial, en el caso de un cilindrado, la consideración del dibujo de que aparece solo en el sentido axial es utópica ya que en la realidad existe aun en este caso una pequeña componente radial debida al radio en la nariz. Sin embargo, para nuestros fines es suficientemente aceptable. En el caso de un determinado ángulo como es el caso B, la presión del avance se descompone en componente radial y axial. La magnitud de estas componentes es función del ángulo del perfil por lo que la tabla 59 que nos relaciona la inclinación del perfil con el espesor y longitud de la viruta así como el avance, resulta también útil cuando se desea calcular la proporción entre las componentes de fuerza afectadas.

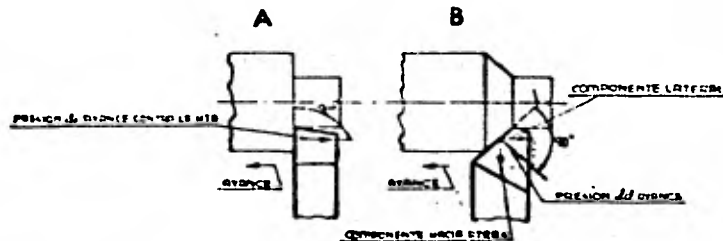


Figura 58

La característica antes descrita es aprovechada para diferentes objetivos y nuevamente dependerá de cada caso. Por comentar algunos ejemplos de su empleo tenemos el caso en que trabajando a 90° resulte excesiva la componente axial para los elementos mecánicos de la máquina que lo resisten, modificando los 90° se logra una distribución de la presión de avance en los sentidos axial y radial. Un caso algo inverso podría ser cuando trabajando con un determinado ángulo del perfil la componente radial pudiera causar alguna flexión sobre la pieza maquinada, entonces se prefiere tender a 90° para que la presión del avance actúa en el sentido axial que es en el que la

pieza habitualmente tiene mayor resistencia mecánica; la posible existencia de este caso es muy remota, dado que difícilmente la componente radial será mayor a la tangencial, sin embargo, no se descarta y - para fines pedagógicos resulta útil. Finalmente comentaremos una vieja práctica de taller que permite el evitar las vibraciones de la torre portaherramientas con la modificación de la inclinación del perfil, el efecto se logra debido al incremento de la componente radial que logra que la torre se coloque en una posición fija y no este oscilando debido a que la componente no es lo suficientemente grande para lograrlo; las oscilación es debida a los juegos en la gufa. Los ejemplos antes descritos dan una idea de la influencia de este elemento, sin embargo, sería imposible describir todos los posibles, por lo que nuevamente dejamos esta tarea al lector.

Tabla 59

Influencia del ángulo de inclinación del perfil sobre el espesor y el ancho de la viruta

Ángulo de inclinación del perfil	Espesor de la viruta en % del avance por viruta (avance constante) (1)	Avance por viruta en % del espesor de viruta (espesor constante) (2)	Ancho de la viruta en % de la profundidad de corte (profundidad constante) (3)
90°	100.0%	100.0%	100.0%
85°	99.6%	100.3%	100.5%
80°	98.5%	101.5%	101.5%
75°	96.8%	103.4%	103.4%
70°	94.0%	106.4%	106.4%
65°	90.6%	110.5%	110.5%
60°	86.6%	115.5%	115.5%
55°	81.9%	122.1%	122.1%
50°	76.6%	130.5%	130.5%
45°	70.7%	141.1%	141.1%
40°	64.3%	155.6%	155.6%
35°	57.4%	174.3%	174.3%
30°	50.0%	200.0%	200.0%
25°	42.6%	236.6%	236.6%
20°	34.2%	292.4%	292.4%
15°	25.9%	386.4%	386.4%
10°	17.4%	525.9%	525.9%
5°	8.7%	1147.4%	1147.4%

En la figura 58 la componente lateral corresponde a la que hemos denominado axial y la componente hacia atrás a la -- radial.

Finalmente la inclinación del perfil en combinación con el ángulo de desprendimiento y los ángulos de inclinación transversal y longitudinal. En ciertos casos el predecir el sentido de -- arrollamiento y desprendimiento puede resultar útil, sin embargo, -- por la diversidad de casos que pudieran presentarse dejamos al lector el análisis geométrico necesario para cada caso.

4.2.2.4 Angulo de posición del contrafilo.

El factor a cuidar en la determinación de este ángulo es principalmente el evitar el rozamiento entre el contrafilo y -- la superficie maquinada. Debemos recordar que por este ángulo y el de inclinación del perfil está definido el ángulo de la punta, por -- lo que mientras más pequeño sea este, se logrará mayor rigidez en -- la herramienta, sin embargo el rozamiento es más factible por lo que tratando de resolver ambos problemas, es usual el tipo de facetas que se muestra en la figura 50 . Este tipo de faceta se le denomina -- negativa por ser inversa al ángulo normal de posición del contrafilo. Resulta evidente que este ángulo normal de posición del contrafilo, al igual que los demás elementos geométricos dependen de la posición relativa entre herramienta y pieza.

4.2.2.5. Geometría de la punta.

Esta geometría está definida por el tipo de enlace que exista entre las aristas del filo y del contrafilo. Normalmente puede ser de dos tipos, con radio o con chaflan. Las principales influencias de esta geometría son: modificación del espesor efectivo de rebaba. La ventaja que algunos autores comentan de este hecho es la -- disminución de la presión del corte en la punta que es la zona más --

debil de la herramienta como se muestra en la figura 61 . Sin embargo, recordando el concepto de fuerza específica de corte, podemos observar que en el caso de radio en la punta el espesor efectivo va disminuyendo hasta convertirse en cero por lo que necesariamente pasará por la zona crítica de la fuerza específica, lo cual causa en esa zona una carga proporcional mucho mayor con el consiguiente desgaste de la herramienta. Esto último es apreciado muy claramente en los insertos circulares, los cuales muestran después de haber sido usados, un desgaste en la zona en que el espesor efectivo de rebaba tiende a cero.

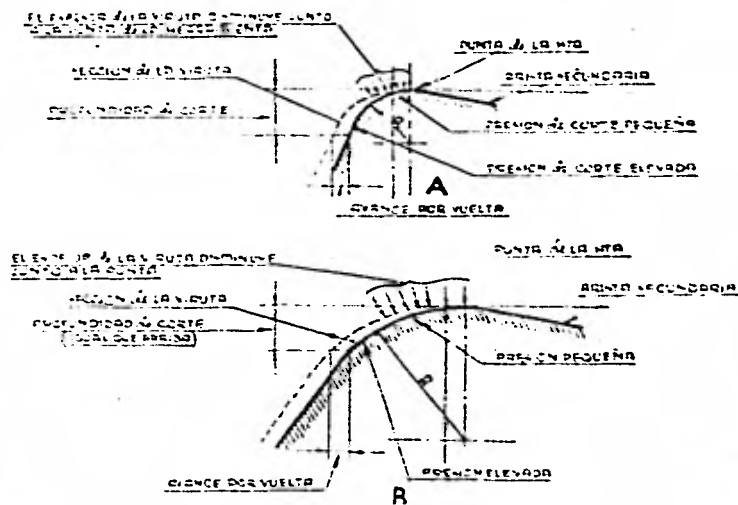


Figura 61

Otra de las influencias de esta geometría consiste en la modificación de la componente radial de las fuerzas de corte, esto se debe a que a medida que la punta de la herramienta no termine en arista, la presión del avance se distribuirá a lo largo del filo principal incluyendo el radio de la punta hasta donde la herramienta abandona la pieza y se une con el contrafilo. Si la reacción de la herramienta a la presión del avance en el radio de la nariz es descompuesta en elementos menores normales a la tangente del radio - en cada punto, vemos que finalmente podemos agrupar todas ellas en -

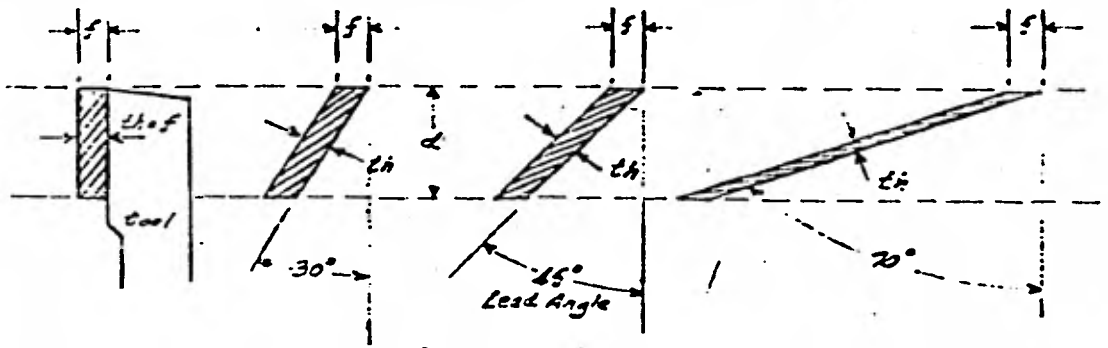


Figura 62 a : Para $f = \text{constante}$ y $d = \text{constante}$, el espesor efectivo th de la viruta disminuye cuando aumenta al ángulo. La sección transversal de la viruta se conserva, ya que es igual a $f \times d$

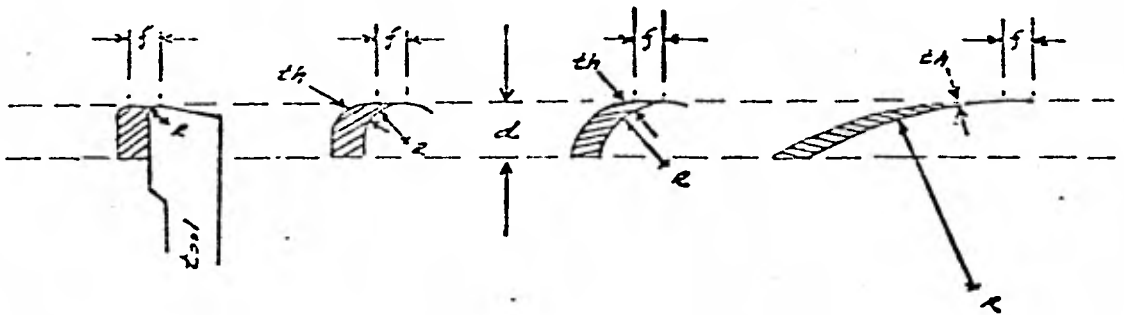


Figura 62 b : f y d constantes. El espesor efectivo de la viruta th disminuye con mayor radio R de la punta de la herramienta y tiende a cero en la mera punta de la herramienta

un componente total radial y una componente total axial, la componente radial será más grande mientras mayor sea el radio de la nariz para un ángulo de inclinación del perfil dado. Es oportuno comentar -- que el ángulo de inclinación del perfil en el radio de la nariz, va variando de punto en punto, un caso interesante resultan los insertos redondos en donde este ángulo varía desde 90° hasta 0° . La figura 60 servirá para dejar claros los anteriores conceptos.

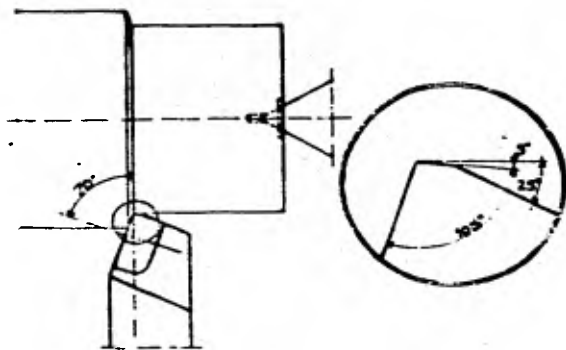


Figura 60 : Refuerzo del ángulo de posición del contrafilo

Una de las más importantes influencias de la geometría de la punta está dada por el acabado superficial en función de esta y del avance, como es sabido, el acabado de una superficie está medido en términos de la raíz cuadrática media de las alturas de la rugosidad y expresadas en micropulgadas. El acabado creado por la herramienta sobre la superficie maquinada puede ser considerada como la superposición de dos modelos. Uno de ellos correspondiendo a una rosca creada por el perfil de la Herramienta y cuyo paso corresponde al avance de la herramienta. Y el otro un modelo irregular en su rugosidad, producto del arranque del material por la herramienta debido probablemente al filo de aportación. El acabado está dado principalmente por el Primero de los modelos en el caso de materiales de baja plasticidad, ya que en éstos difícilmente presentaron problemas de arranque de material. La forma de la rosca convencional, que se ha definido dependerá obviamente del radio, de la inclinación

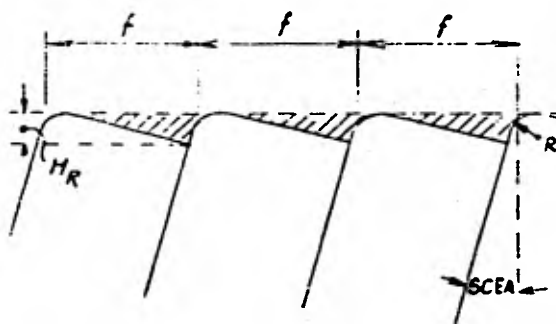


Figura 63 a : El radio r de la punta es muy pequeño en comparación con el avance. El acabado superficial básico y la altura de rugosidad H_R dependen del valor del ángulo trasero $ECEA$, $SCEA$ y radio de la punta R .

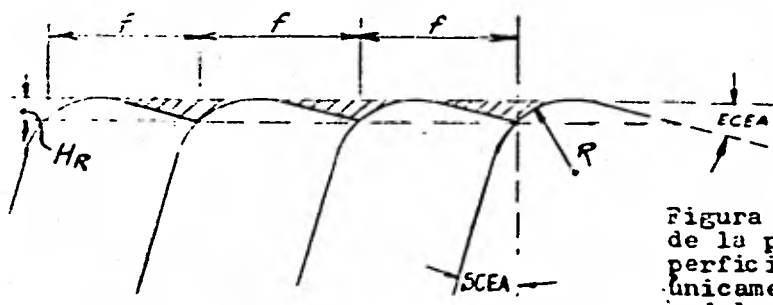


Figura 63 b : Mayor radio de la punta, el acabado superficial y H_R dependen únicamente del ángulo $ECEA$ y del radio R de la punta

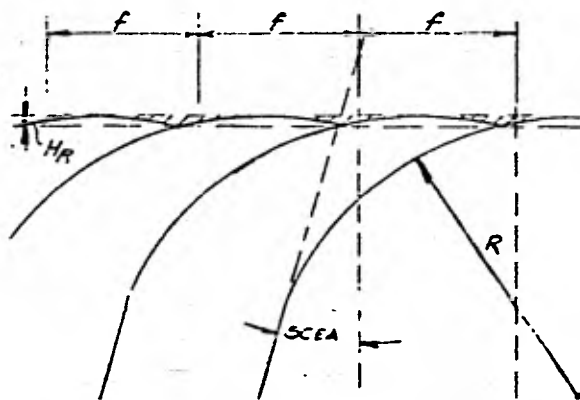


Figura 63 c : Radio de la punta doble del avance. El acabado superficial es sólo función del radio de la punta

Figura 63

Tabla 64

AVANCES DE MEDIDAS FINALES (CONT.)

ACABADOS SUPERFICIALES (RMS)

RADIO PUNTA INSERTO	16	32	63	125	250
	.0006	.0008	.0011	.0016	.0023
.005	.0013	.0018	.0021	.0036	.0051
.010	.0018	.0026	.0035	.0050	.0071
.0156 (1/64)	.0022	.0032	.0045	.0063	.0089
.020	.0025	.0037	.0051	.0071	.0100
.0312 (1/32)	.0032	.0045	.0063	.0088	.0125
.0468 (3/64)	.0039	.0055	.0078	.0109	.0153
.0625 (1/16)	.0045	.0063	.0089	.0125	.0176
.0936 (3/32)	.0054	.0076	.0107	.0151	.0191
.1250 (1/8)	.0063	.0089	.0125	.0176	.0250
.1875 (3/16)	.0077	.0109	.0140	.0216	.0306
.2500 (1/4)	.0087	.0126	.0166	.0250	.0354

Los valores dados en la tabla están en pulg./rev. IPR y están basados en una profundidad de corte promedio de .010"-.015".

Los acabados pueden mejorarse sustancialmente en profundidades mayores reduciendo el ángulo posterior a 2° para un ancho máximo de 1/8". Esta modificación permite acabados mejores de 63 RMS a profundidades de corte hasta de .200". Debe tenerse la precaución al usar esta técnica en materiales de alta plasticidad, debido a la excesiva vibración que resulta al impartirse esfuerzos y que pudieran ser adversos a los requisitos de calidad.

R, CIA
micro inches

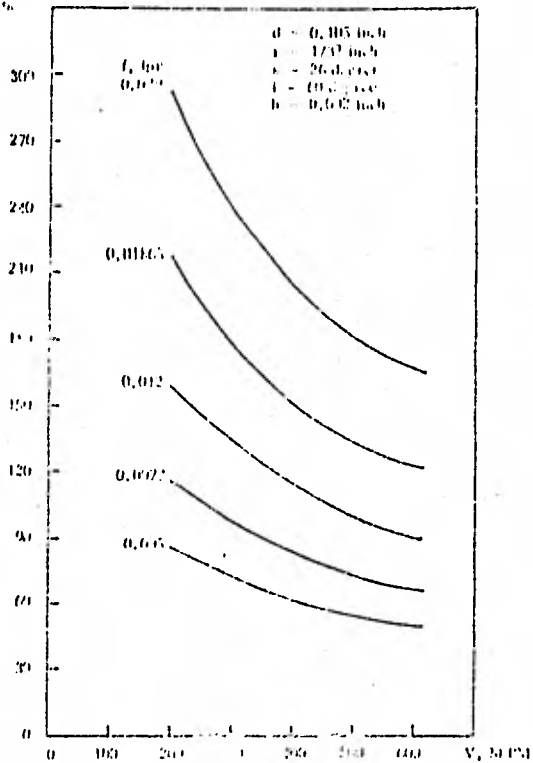


Figura 65 : Rugosidad superficial en función de velocidad de corte con diferentes avances

R, CIA
micro inches

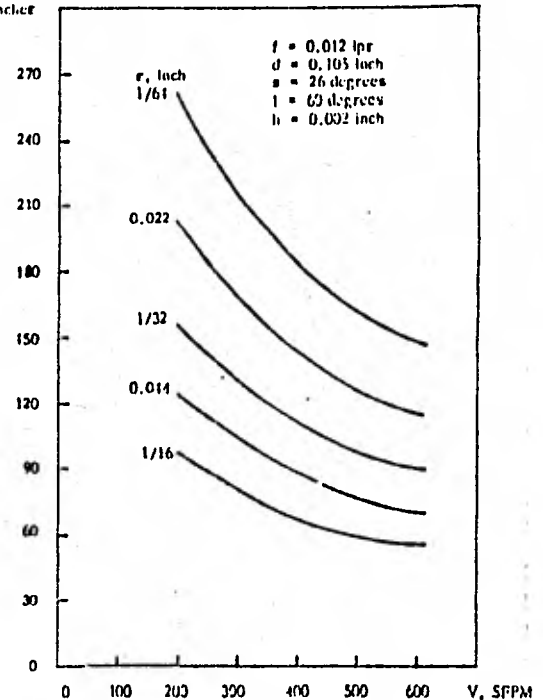


Figura 66 : Rugosidad superficial en función de velocidad de corte con diferentes radios de la punta

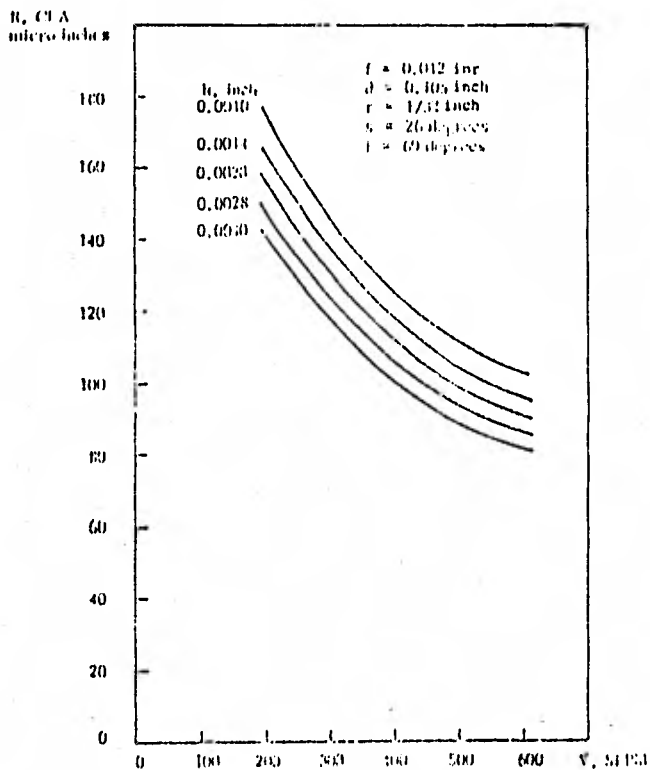


Figura 67 : Rugosidad superficial en función de velocidad de corte con diferentes "hone levels" en la cara de la herramienta

R_a , CLA
micro inches

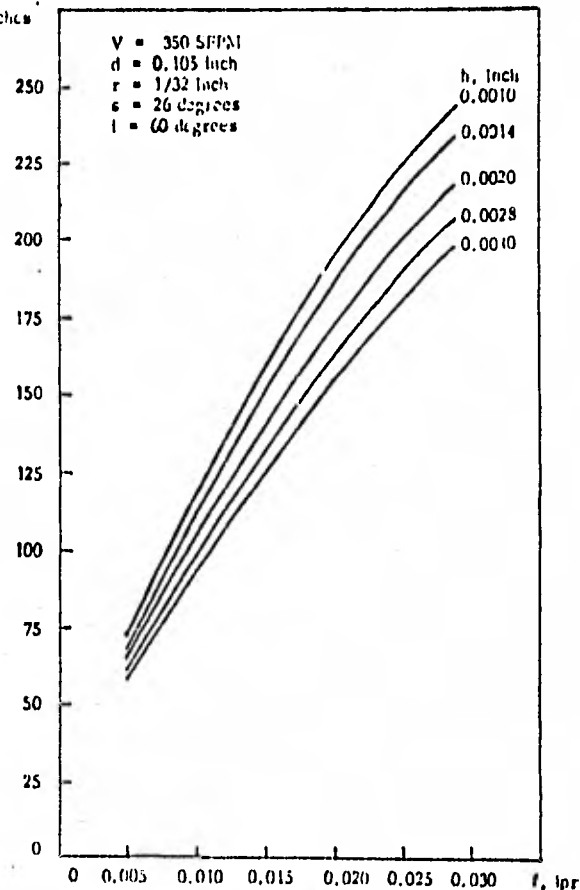


Figura 68 : Rugosidad superficial en función del avance para diferentes "hone levels" de la cara de la herramienta

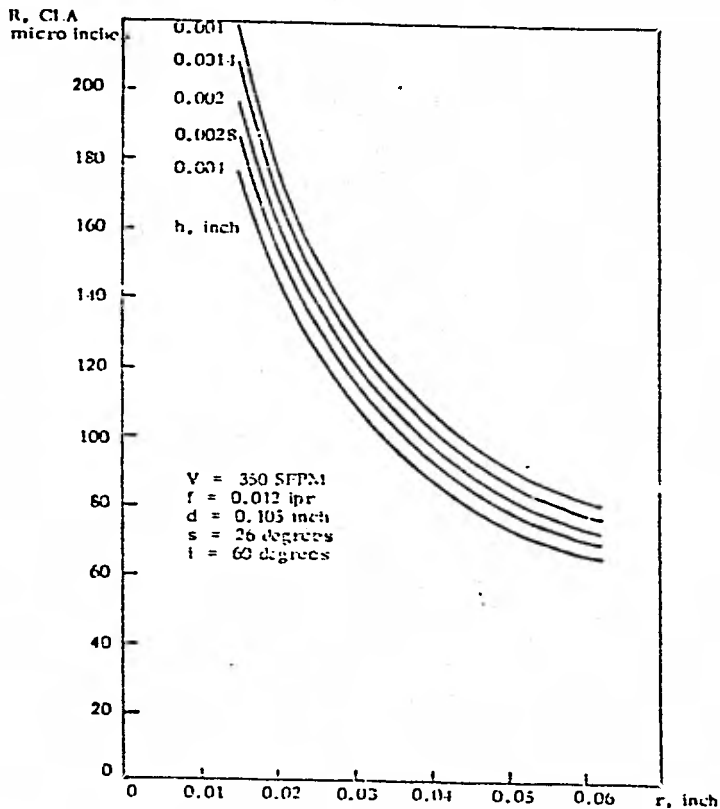


Figura 69 : Rugosidad superficial
 en función del radio de la punta
 para diferentes "hone levels" de
 la cara de la herramienta

del Perfil y del ángulo de posición del contrafilo. Y las relaciones entre estos se muestran en la figura 63 . De lo anterior se concluye la posibilidad de la existencia de alguna forma, la aritmética que relacionará el acabado superficial con los factores mencionados, sin embargo, existen otros factores que aunque en menor grado también influyen el acabado final. Un factor que a menudo es mencionado para efectos de mejorar el acabado es la velocidad de corte, sin embargo, algunos investigadores han concluido que la ventaja que Proporciona el incrementar la velocidad para la mejora de acabado consiste en el hecho de que a mayor velocidad la adherencia de partículas sobre la superficie maquinada es menos frecuente. Recientemente fue desarrollado por los Dres. Taraman, Hazra y Kennedy un trabajo de investigación cuyo propósito principal fue obtener una metodología para obtener modelos matemáticos confiables que describieran las relaciones funcionales entre el acabado superficial y las variables de influencia que intervienen. Su investigación fue basada en el siguiente postulado:

$$R = C v^k f^l d^m r^n s^o i^p h^q$$

en donde R es el acabado superficial, C es una constante, v es la velocidad de corte, f es el avance, d es la profundidad de corte, r es el radio de la nariz, s es el ángulo de posición del contrafilo, i es el ángulo de la punta y h es el grado de afilado del contrafilo; k , l , m , n , o , p y q son parámetros cuya estimación fue buena parte del proyecto. La Intención de mencionar esta investigación es el dejar claro que el acabado superficial está condicionado por varios factores y que sin embargo para fines prácticos es usual emplear tablas como la mostrada en la figura 64 en donde únicamente se hace referencia al avance y al radio de la nariz. Para que el lector obtenga una conclusión de la investigación realizada por los doctores Taraman, Hazra y Kennedy sugerimos observar las figuras 65 , 66 , 67 , 68 , 69 , obtenidos del mismo trabajo. En estas gráficas se observa nuevamente que las variables de influencia determinante son el avance, el radio de la nariz, y la velocidad.



TNJN
TNMN
TNJF
Plaquitas intercambiables para Auto y
Auto Cap

Figura 70

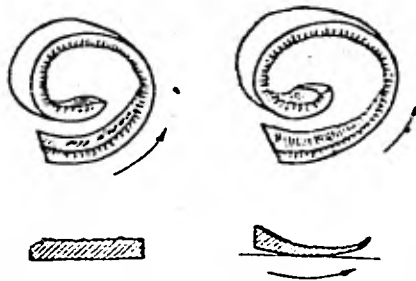


Figura 71

Con el fin de mejorar el acabado superficial se han creado tipos especiales de geometría de la punta como es el caso de los insertos con faceta plana, figura 70 , desde luego no es la única ventaja de la faceta, algunas otras han sido ya comentadas. Finalmente el trabajar con herramientas de radio pronunciado en la punta - implica mayor consumo de potencia, debiéndose lo anterior a dos principales causas, una de ellas es el comportamiento de la fuerza específica de corte y la otra es por el diferente arrollamiento que tiene lugar en comparación con un filo totalmente rectilíneo. Lo anterior se muestra en la figura 71 .

Capítulo 5 : Potencia

El manejo conceptual de la potencia ha sido visto con suficiente grado de profundidad en el capítulo 3. La determinación de la potencia para diferentes procesos, como sería el caso de fresado, cepillado, torneado, barrenado, etc..., es logrado mediante el uso de fórmulas deducidas del concepto genérico de potencia, y considerando las condicionantes particulares del caso, como lo es en forma importante la geometría del proceso.

El empleo óptimo de la potencia disponible de un equipo es de gran importancia, dado que permite lograr el mejor aprovechamiento de los recursos. El emplear una máquina a su máxima potencia no implica necesariamente un rápido desgaste de la herramienta, el cual, como se verá ampliamente en el capítulo 10, está en función principalmente de la velocidad de corte. Recordando la expresión general de la potencia :

$$P = a_c \times l_c \times P_s \times V$$

en donde a_c es la profundidad de material removido, l_c es el ancho de la viruta o longitud de corte y también corresponde a la profundidad de corte; P_s es la fuerza específica de corte y V es la velocidad de corte.

Podemos observar que el incremento de la potencia puede lograrse incrementando a_c , l_c , P_s ó V . El incrementar a_c equivale a incrementar el avance, este incremento puede tener el inconveniente de no lograr el acabado superficial demandado, si el incremento es excesivo, ver capítulo 4.

El incrementar l_c equivale a incrementar la profundidad de corte, el único inconveniente posible es la geometría de la herramienta, o sea, la limitación dimensional misma de la herramienta. Este término es muy recomendable incrementarlo cuando existen limitaciones en los otros términos.

P_s es constante para un material y condiciones dadas y desde luego, no es un término que contribuya al incremento en la remoción, por lo que no se pensaría incrementar para la utilización de la potencia máxima.

El incrementar la velocidad no es recomendable, si ésta ha sido establecida con los criterios de máxima eficiencia descritos en el capítulo 10.

Si bien no es recomendable usar una máquina a una potencia menor a la disponible, por otro lado, tampoco debe sobrecargarse una máquina hasta que esta sea bloqueada por las consiguientes pérdidas en paros e intervenciones de mantenimiento. Por lo anterior, resulta imprescindible la familiarización del analista con el concepto potencia, sus orígenes y sus repercusiones. El resto de este capítulo se ha dedicado a publicar una serie de datos tabulados de diferentes materiales con el correspondiente consumo de potencia, para operaciones de torneado.

La lista de materiales comprendidos aparece al principio y después aparece una página para cada material. En estas tablas aparecen también los grados de carburo recomendados, y este desde luego toda la información aplicable en el empleo de carburo de tungsteno como herramienta solamente.

Esta información procede de un fabricante que ocupa a nivel mundial un importante lugar en herramientas de corte, por lo que aquí las incluimos por considerarlas de gran utilidad. Para relacionar los grados recomendados de carburo de tungsteno con los rangos normalizados por ISO, al final aparece una tabla comparativa.

DATOS DE CORTE

CONTENIDO

Página N°	TIPOS DE MATERIALES	Dureza HB	CMC N°
22	Acero no aleado, bajo contenido en carbono	90-130	01.1
23	Acero no aleado, contenido medio en carbono	125-180	01.2 01.3
24	Acero no aleado, alto contenido en carbono	180-250	01.4
25	Acero no aleado, templado y revenido	250-350	01.5
26	Acero baja aleación, recocido, normalizado	125-225	02.1
27	Acero baja aleación, templado	220-450	02.2
28	Acero alta aleación, recocido	150-250	03.11 03.12
29	Acero alta aleación, (HSS) recocido	150-250	03.13
30	Acero alta aleación, (Acero htas.) templado	250-350	03.21
31	Acero alta aleación, templado	250-500	03.22
32	Acero extra duro (ind. HSS) templado, revenido	HRC 50-60	04
33	Acero inoxidable, ferrítico, recocido	150-270	05.1
34	Acero inoxidable, austenítico, recocido	150-220	05.2
35	Acero colado, no aleado	100-225	06.1
36	Acero colado, baja aleación	150-250	06.2
37	Acero colado, alta aleación, general	150-250	06.3
38	Acero colado, inoxidable, ferrítico, martensítico	150-250*	06.31
39	Acero colado, inoxidable, austenítico	150-250	06.32
40	Acero colado, (acero al manganeso)	200-300	06.33
41	Fundición maleable, estructura ferrítica	110-145	07.1
42	Fundición maleable, estructura perlítica	150-270	07.2
43	Fundición aleación gris, poco dúctil, estructura ferr.	150-220	08.1
44	Fundición aleación gris, muy dúctil, estructura perlítica	200-330	08.2
45	Fundición nodular (fundición SG) estructura ferrítica	125-230	09.1
46	Fundición nodular estructura perlítica	200-300	09.2
47	Fundición en coquilla	350-700	10
Aleaciones termo-resistentes			
48	ferrítica, recocida o trat. térm. de disolución	180-230	20.11
49	ferrítica, trat. térm. de disolución y estabilizada	250-350	20.12
50	base níquel, recocida o trat. térm. de disolución	200-300	20.21
51	base níquel, solución termotratada y estabilizada	300-450	20.22
52	base níquel, fundida y posible estabilizada	200-450	20.24
53	base cobalto, recocida o trat. térm. de disolución	180-230	20.31
54	base cobalto, trat. térm. de disolución y estabilizada	270-320	20.32
55	base cobalto, fundida	220-425	20.33

Lista de materiales clasificados

La siguiente lista indica las clasificaciones standard de materiales. Suecas, Inglesas, Francesas, Alemanas y Americanas, con referencias en las hojas de las condiciones de corte.

NOTAS Asegurarse que la condición del material coincide con la información indicada en la hoja.

Controlar la dureza del material con la que indicar el valor nominal. Mayor dureza requiere seleccionar condiciones de corte más bajas.

Si el material es de fácil mecanizado, es normal que las condiciones de corte sean elevadas en un 50%.

Standard sueco		Standard inglés		Standard inglés		Standard inglés	
SIS	Pág.	SIS	Pág.	BS	Pág.	BS	Pág.
0115	43	2244-00	27	2	22	1398	36
0125	44	2245	27	3	22	1452/10	43
0135	44	2258-02	26	4	23	1452/12	43
0717	45	2260	25	6	23	1452/14	43
0727	45	2302	33	7	22	1452/17	44
0737	46	2303	33	8	23	1452/20	44
0510	41	2304	33	9	23	1452/23	44
0854	42	2310	28	14	26	1452/26	44
0856	42	2312	28	15	26	1457	40
1211	22	2320	33	18	26	1461	37
1305	35	2321	33	19	26	1462	37
1306	35	2322	33	22	26	1463	37
1311	22	2324	34/39	23	28	1501/151	22
1312	22	2331	34	24	26	1617	36
1370	22	2337	34	25	28	1630	38
1412	22	2338	34	26	26	1631	39
1450	22	2343	34/39	27	28	1632	39
1505	35	2346	34	28	28	1760	36
1550	23	2350	34	30	28	1956	36
1572	23	2352	34	32	26	2789/SNG 24/17	45
1606	35	2353	34	33	26	2789/SNG 27/12	45
1650	23	2361	34	34	26	2789/SNG 37/2	46
1655	23	2371	34	35	26	2789/SNG 42/2	46
1672	23	2375	34	40C	27	2789/SNG 47/2	46
1880	24	2380	33	41	26	3333	42
1912	22	2383	33	42	24/25	4239	36
1922	22	2511-00	25	43	23	4240	36
1957	23	2511-03	27	44	24/25	S 61	33
1973	23	2512-02	26	49	23	S 124	33
2032	26	2512-03	27	52	28	S 128	34
2120-2	26	2514-02	26	53	28	S 129	34
2120-3	27	2514-03	27	55	34	S 130	34
2140	26	2534-02	25	56	33	BM 1	29
2172	22/35	2534-03	27	57	33	BM 2	29
2183	37	2534-04	27	58	34	BM 52	29
2215-02	26	2541-02	25	60	33	BT 4	29
2215-03	27	2541-03	27	100	26	BT 5	29
2218	25	2541-04	27	110	26	BT 15	29
2223	36	2541-08	27	160	26	BT 21	29
2224	36	2550	26	201	26	Nitralloy 3	26
2225	26	2710	28	206	26	Nitralloy Lk 1	26
2234-02	26	2722	29	309	41	Nitralloy Lk 5	26
2234-03	27	2724	29	310	41		
2234-04	27	2730-02	28	351	27		
2234-05	27	2750-02	29	352	27		
2240-02	26	2754-02	29	361	26		
2240-04	27	2755-02	29	592	35		
2242-02	28	2900-02	24				
2244-02	26	2940	26/27				

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 01.1

Tipo ACERO INOX ALEADO, bajo contenido en carbono Condición dureza HB 90-130

Standard

Análisis C max 0.25%, Si max 0.35%, Mn max 1.4%

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación Avance (s) mm/r. Prof. de pasada (a) mm.	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	S1P (1025)	1025	1025
Condiciones mec. desfavorables	S1P (1025)	1025	1025	135 (1025)

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	S1P					1025 (135)¹)				
	Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm		Potencia neta kW	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm			Potencia neta kW
1			2	3			4	5	7	
0.1	440	2	4.5	6.5	8.5	450	7			
0.2	355	3	5.5	8.5	11.5	400	9.5	16		
0.3	305	3	6.5	9.5	13	350	11	18.5		
0.4	270	3.5	7	10.5	14	320	12.5	21	29.5	42
0.5	250	4	7.5	11	15	285	13	21.5	30	43
0.6						265	13.5	23	32	45
0.8						230	14.5	24	33.5	48
1.0						205	15	25	35	50
1.2						180	15	25	35	50
1.5						155	15	26	36	51

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°. y un ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 110

1) Para 135, reducir las velocidades de corte inferiores a las indicadas y con ello también la potencia requerida en un 25%.

Geometría de corte: Se recomienda ángulo de desprendimiento positivo, por la tendencia a soldarse el material sobre la arista de corte.
Tipos de plaquitas recomendados: -NMM-71, -NMG 61 (acabado), -PMR, KNUX, -PUN.

NOTAS: Materiales con adiciones de, ej. S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 012
013

Tipo	ACERO NO ALEADO, contenido medio en carbono	Condición Dureza	H8 125-180
Standard			
Análisis	C 0,25-0,8%, Si max 0,35%, Mn max 1,4%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación	Acabado	Desbaste ligero				Desbaste		Fuerie desbaste		
Avance (s) mm/r Prof. de pasada (a) mm	0.1-0.3 0.5-2	0.2-0.5 2-4				0.4-1 4-10		1.0 6-20		
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	S1P (1025)				1025		1025 (135)		
Condiciones mec desfavorables	S1P (1025)	1025				135 (1025)		135		
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT		S1P				1025 (135)*)				
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm				Velocidad de corte (v) m/min.	Prof. de corte (a) mm			
		1	2	3	4		3	5	10	10
		Potencia neta kW					Potencia neta kW			
0.1	350	2	4	6	8	415	6.5			
0.2	305	2.5	5.5	8	10.5	345	9 15			
0.3	265	3	6	9	12	300	10.5		17.5	
0.4	230	3	6.5	9.5	13	275	11.5		19.5 27 39	
0.5	215	3.5	7	10	13.5	245	12		21 28.5 41.5	
0.6						230	13		21.5 30 43	
0.8						200	14		23 32 46	
1.0						180	14		23.5 33 47	
1.2						155	14		23.5 33 47	
1.5										
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y ángulo de ataque de 75° La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 150										
1) Para 135: reducir las velocidades de corte inferiores a las indicadas y con ello también la potencia requerida en un 25%										
Geometría de corte: En general no es difícil de mecanizar Tipos de plaquitas recomendados: -NM1A, -NMM-71, -NMG-61 (acabado) -PMR, -PUN, -NUN.										
NOTAS: Materiales con adiciones de, ej. S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.										

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 314

Tipo	ACERO NO ALEADO, alto contenido en carbono	Condición	Dureza HB 180-250
Standard			
Análisis	C 0.8-1.4%, Si max 0.35%, Mn max 1.4%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación Avance (s) mm/r Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	1025 (S1P)	1025 (135)	135
Condiciones mec. desfavorables	S1P (1025)	1025	135 (1025)	135 (S6)

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	1025, S1P					135 (S6) ¹⁾				
	Velocidad de corte (v) m/min.	1	2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min.	3	5	7	10
0.1	355	2	4	6	8					
0.2	295	2.5	5.5	8	11					
0.3	255	3	5.5	8	11					
0.4	235	3.5	7	11	14.5	170	8	13	18.5	26
0.5	210	4	7.5	11.5	15	150	8	13.5	19	27
0.6	195	4	8	12	15.5	140	8.5	14	19.5	28
0.8	170	4	8.5	12.5	17	125	9.5	15.5	21.5	31
1.0	150	4.5	9	13	17.5	110	9.5	16	22.5	32.5
1.2						100	10	16.5	23.5	33.5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 210

1) Para S6: reducir las velocidades de corte inferiores a las indicadas y con ello también la potencia requerida en un 30%.

Geometría de corte: En general no es difícil de mecanizar
Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMM-71, -NMG-61 (acabados) -PMR, -NUM, -PUN.

NOTAS: Materiales con adiciones de, ej S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 315

Tipo: ALCERO NO ALEADO	Condición: Templado y revenido Dureza: HB 250-350
Standard	
Análisis: C max 1,4%, Si max 0,35%, Mn max 1,4%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación: Avance (s) mm/r Prof. de pasada (a) mm	Acabado: 0,1-0,3 0,5-2	Desbaste ligero: 0,2-0,5 2-4	Desbaste: 0,4-1 4-10	Fuerte desbaste: 1,0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	1025	1025 (135)	135
Condiciones mec. desfavorables	1025	1025	135 (1025)	135 (S6)

Condiciones de corte

Calidad COROMANT	1025 (S1P)					135 (S6)				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm 2 Potencia neta kW	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm 5 Potencia neta kW	7	10
0.1	300	2	4	6	7.5					
0.2	250	2.5	5	7.5	10.5					
0.3	220	3	6	9	12.5					
0.4	200	3.5	7	10.5	13.5	140	7	12	16.5	24
0.5	180	3.5	7	10.5	14.5	130	8	13	18	26.5
0.6	165	3.5	7.5	11	15	120	8.5	14	19.5	28
0.8	145	4	8	12	16	105	8.5	14.5	20	29
1.0	130	4	8.5	12.5	17	90	9	14.5	20.5	29.5
1.2						85	9.5	16	22	31.5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min.
por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 300

1) Para S1P: elevar las velocidades de corte inferiores a las indicadas y con ello también la potencia requerida en un 30%.

Geometría de corte: En general no es difícil de mecanizar.
Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMM-71, -NMG-61 (acabados) -PMR, -NUM, -PUH.

NOTAS: Debe escogerse una profundidad de pasada suficiente para conseguir cortar sólo la superficie dura.
Materiales con adiciones de, ej S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización,
pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 021

Tipo ACEROS PARA ALACCIÓN (ver nota)	Condición Recocido normalizado Dureza HB 125-215
Standard	
Análisis C 0,07-1,7%, Si max 2,2%, Mn max 1,8%, Cr max 1,75%, componentes aleados max 5%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación	Acabado	Desbaste ligero				Desbaste		Fuerte desbaste		
Avance (a) mm/rev	0,1-0,3	0,2-0,5				0,4-1		1,0		
Prof. de pasada (a) mm	0,5-2	2-4				4-10		6-20		
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	1025				1025		135		
Condiciones med. desfavorables	S1P (1025)	1025				135 (1025)		S6 (135)		
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT		1025, S1P				135 (S6)1)				
Avance (a) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm				Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm			
		1	2	3	4		3	5	7	10
		Potencia neta kW					Potencia neta kW			
0,1	305	1,5	3	5	6,5					
0,2	250	2	4,5	6,5	8,5					
0,3	220	2,5	5	7,5	10					
0,4	200	3	5,5	8,5	11,0	130	5,5	9	13	18,5
0,5	185	3	6	9	12	120	6	9,5	14	19,5
0,6	170	3	6,5	9,5	12,5	110	6	10	14,5	20,5
0,8	150	3,5	7	10,5	14	95	6,5	11	15	22,5
1,0	130	3,5	7	10,5	14	85	7	11,5	16	23
1,2						75	7	11,5	16	23
1,5										
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75° La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 175										
1) Para S6, componentes aleados, reducir las velocidades de corte inferiores a las indicadas y con ello también la potencia requerida en un 30%										
Geometría de corte: Normalmente no presenta dificultades para mecanizar Tipos de plaquetas recomendados: -NMM, -NMM-71, -NMG-61 (acabado) -PMR, -NUM, -PUN.										
NOTAS: Este grupo incluye aceros de cementación, nitrurados y termotratables. Materiales con adiciones de, ej. S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.										

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 02 2

Tipo ACERO BAJA ALEACION (ver nota)	Condición Dureza HB 220-450
Standard	
Análisis C 0.07-1.7%, Si max 2.2%, Mn max 1.8%, Cr max 1.75 %	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuente desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	10
Prof. de pasada (a) mm.	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	1025 (S1P)	135 (S6)	-
Condiciones mec. desfavorables	S1P (1025)	1025	135 (S6)	-

Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	Velocidad de corte (v) m/min	1025, S1P				Velocidad de corte (v) m/min	135 (S6) 1)			
		1	2	3	4		3	5	7	10
0.1	175		2.5	3.5	5					
0.2	145	1.5	3.5	5	6.5					
0.3	125	2	3.5	5.5	7.5					
0.4	115	2	4	6.5	8.5	75	4	7	9.5	13.5
0.5	105	2	4.5	6.5	9	65	4	7	10	14
0.6						60	4.5	7.5	10.5	14.5
0.8						55	5	8.5	11.5	16.5
1.0						50	5.5	9	12.5	17.5
1.2							5.5	9	12.5	17.5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min. por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 330.

1) Para S6, reducir las velocidades de corte inferiores a las indicadas y con ello también la potencia requerida en un 20%.

Geometría de corte: En general, no es difícil de mecanizar.
Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NUN, -NMM-71

NOTAS: Este grupo incluye aceros de cementación, termotratables y de nitruración, de los que el primero es el más fácil y el último el más difícil de mecanizar. A una dureza de cerca HB 320/350 se reduce drásticamente la mecanizabilidad. La capa dura debe ser quitada para acabados. Materiales con adiciones de, ej. Só Pb, pueden compararse a los de fácil mecanización, pudiendo normalmente ser mecanizados con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIAL

SANDVIK CMC no 33 11
33 12

Tipo	ACERO ALTA ALEACION (ver nota)	Condición	Acabado Cereza HG 150-250
Standard			
Analisis	C max 1.5%, Si 0.2-0.5%, Mn 0.3-1.2%. Conteniendo más de un 5% de componentes aleados		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/rev	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	1025	135 (1025)	S6 (135)
Condiciones mec. recomendadas	1025 (S1P)	1025 (135)	135	S6

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	1025 S1P				135 (S6)1)					
	Velocidad de corte (v) m/min	1	2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	5	7	10
Avance (s) mm/rev										
Prof. de corte (a) mm										
Potencia neta kW										
0.1	270	1.5	3.5	5	7					
0.2	225	2.5	4.5	7	9.5	155	5	8		
0.3	195	2.5	5.5	8	10.5	130	5.5	9		
0.4	180	3	5	9	12	115	6	9.5	13.5	19
0.5	165	3	5	9.5	12.5	105	6	10	14	20
0.6	150	2.5	6.5	10	13	95	6.5	10.5	14.5	21
0.8	135	3.5	7.5	11	15	85	7	11.5	16.5	23.5
1.0	115	3.5	7.5	11	14.5	75	7	12	16.5	24
1.2						70	7.5	12.5	18	25.5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte, material con una dureza de HB entre 200

1) Para S6, reducir las velocidades de corte inferiores a las indicadas y con ello también la potencia requerida en un 30%.

Geometría de corte: Normalmente, no es difícil de mecanizar
Tipos de plaquitas recomendados: -NM, -NM-71, -NMG, -NMG-61 (acabado) -PUN.
Utilizar un radio de punta lo mayor posible.

NOTAS: Este grupo incluye aceros termo-tratables incluyendo aceros de herramientas.
Materiales con adiciones de, ej. S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 33 03

Tipo	ACERO SUPER RAPIDO (HSS)	Condición	Recocida Dureza HB 150-250
Standard			
Analisis	C 0.7-1.5%, Si 0.2-1.5%, Mn 0.3-1.2%, W max 20%, Cr max 4%, V max 5%.		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4	4-10	5-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	135	135 (S6)	S6
Condiciones mec. favorables	S1P	135	S6 (135)	S6 (R4)

Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	Velocidad de corte (v) m/min	135 (S1P) 1				Velocidad de corte (v) m/min	S6 (R4) 1			
		1	2	3	4		3	5	7	10
Avance (s) mm/r		Prof. de corte (a) mm					Prof. de corte (a) mm			
		Potencia neta kW					Potencia neta kW			
0.1	230	1.5	3	5	6.5					
0.2	190	2	4.5	6.5	8.5					
0.3	165	2.5	5	7.5	10					
0.4	155	3	5.5	8.5	11.5	70	4	6.5	9	13
0.5	140	3	6	9	12	65	4	7	9.5	14
0.6	130	3	6	9.5	12.5	60	4.5	7	10	14.5
0.8	115	3.5	6.5	10	13.5	50	4.5	7.5	10.5	14.5
1.0	100	3.5	7	10.5	14	45	4	7.5	10.5	15
1.2						40	4.5	8	11	15.5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 200.

- 1) Para S1P: elevar las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 30%.
- 2) Para R4: reducir las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 10%.

Geometría de corte: Preferible geometría positiva.
Tipos de plaquitas recomendados: -NL1M, -NMM-71, -NMG-61 (acabado), -PMR, -PUN.

NOTAS:

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 03 21

Tipo ACERO ALTA ALEACION acero herramientas	Condición Templado hasta HB 250-350
Standard	
Análisis C 0,7-1,5%, Si 0,2-1,5%, Mn 0,3-1,2%, Cr max 12 %	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación Avance (s) mm/rev Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0,1-0,3 0,5-2	Desbaste ligero 0,2-0,5 2-4	Desbaste 0,4-1 4-10	Fuerte desbaste 1-0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	1025	1025	135 (S6)	-
Condiciones mec. desfavorables	1025	1025 (135)	S6 (135)	-

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	1025					S6 (135) ¹⁾				
	Velocidad de corte (v) m/min.	1	2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min.	3	5	7	10
Avance (s) mm/rev										
		Prof. de corte (a) mm					Prof. de corte (a) mm			
		Potencia neta kW					Potencia neta kW			
0.1	140	1,5	2,5	4	5,5					
0.2	115	1,5	3,5	5	7	55	2,5	4		
0.3	100	2	4	6	8	50	3	5		
0.4	90	2	4,5	6,5	9	45	3,5	5,5	8	11
0.5	85	2,5	5	7	9,5	40	3,5	5,5	8	11
0.6						35	3,5	5,5	8	11,5
0.8						30	3,5	6	8,5	12
1.0						25	3,5	6	8,5	12
1.2						20	3	5,5	7,5	11
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 300

1) Para 135, elevar las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 50%

Geometría de corte: Si es posible utilizar un ángulo de ataque de 60° o 45° y un gran radio de punta.
Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMM-71, -NMG-61 (acabado), -NUN.

NOTAS:

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 03 22

Tipo: AERO ALTA ALIACION	Condición: Templado hasta HB 250-500
Standard	
Análisis: C max 1,5%, Si 0,2-1,5%, Mn 0,3-1,2%, Cr max 12%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación Avance (s) mm/r. Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 5-20
Condiciones de mecanizado favorables	1025	1025 (135)	-	-
Condiciones mec. desfavorables	135 (315)	315 (H20)	-	-

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	1025 (135) ¹⁾					315 (H20) ²⁾				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	5	7	10
Avance (s) mm/rev	Prof. de corte (a) mm Potencia neta kW					Prof. de corte (a) mm Potencia neta kW				
0.1	110	1	2.5	3.5	5	65	2			
0.2	90	1.5	3	5	5.5	50	3	4.5		
0.3	80	2	4	5.5	7.5	45	3	5.5		
0.4	70	2	4	6	8	40	3.5	6	8	12
0.5	65	2	4.5	5.5	9	35	3.5	5	8.5	12
0.6										
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y con ángulo de ataque de 45°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 350

- 1) Para 135, reducir las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 30%.
- 2) Para H20, reducir las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 10%.

Geometría de corte: Pueden ser necesarios ángulos de ataque de 15°-45°.
Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMM-71, -NMA, -RNMG, -NUN.

NOTAS: Materiales con adiciones de ej. S o Pb. los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 04

Tipo Acero extra duro (incluido HSS)

Condición Templado revenido Dureza 50-60 HRC 500-500 HV

Standard

Análisis C 0.7-1.5%, Si 0.2-1.5%, Mn 0.3-1.2%, Cr max 5.3 %, W max 18%, V max 5%.

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación Avance (s) mm/r. Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	315 (H05)	315 (H20)	-	-
Condiciones mec. desfavorables	315 (H20)	H20	-	-

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	315 H05				H20					
	Velocidad de corte (v) m/min.	1	Prof. de corte (a) mm 2 Potencia neta kW	3 4	Velocidad de corte (v) m/min.	3	Prof. de corte (a) mm 5 Potencia neta kW	7 10		
0.1										
0.2	30	1	1.5	2	3	25	2	3		
0.3	27	1	2	2.5	3.5	20	2	3		
0.4	23	1	2	2.5	3.5	17	2	3.5	4.5	6.5
0.5	20	1	2	3	4	15	2	3.5	5	7
0.6										
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 45°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min.
por arista de corte y material con una dureza de HB cerca HRC ca 59

Geometría de corte: Se recomiendan ángulos de ataque de 15°-30°
Puedo ser necesario un gran radio de punta y un gran ángulo de punta con arista reforzada.
A menudo las más apropiadas son las plaquitas redondas

NOTAS: Algunas veces es necesario el fluido de corte.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 051

Tipo	ACERO INOXIDABLE, ferrítico, martensítico	Condición	Recocido Dureza 150-270 HB
Standard			
Análisis	C 0.09-0.40%, Cr 12-28%, Mn max 2% (Ni max 7%)		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm.	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	S1P	135	135
Condiciones mec. desfavorables	S1P	135	135	135 (S6)

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	S1P				135 (S6)					
	Velocidad de corte (v) m/min	1	2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	5	7	10
Avance (s) mm/rev	Prof. de corte (a) mm				Prof. de corte (a) mm					
	Potencia neta kW				Potencia neta kW					
0.1	245	1.5	3	4.5	6					
0.2	220	2	4.5	6.5	9	195	6	9.5		
0.3	200	2.5	5	8	10.5	160	7	11.5		
0.4	180	3	6	8.5	11.5	165	8	13	18.5	26.5
0.5	160	3.5	7	10	13	155	9	14.5	20.5	29.5
0.6						150	9.5	16	22	31.5
0.8						140	11	18.5	25.5	36.5
1.0						130	12	19.5	27.5	39.5
1.2						120	12.5	20.5	29	41
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 mm por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 200.

1) Para S6: Reducir las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 30%.

Geometría de corte: Los ángulos de desprendimiento positivos normalmente dan un aumento sobre resultados inferiores. Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMIM-71, -NMG-61 (acabado), -PMR, -PUN.

NOTAS: Materiales con adiciones de, ej. S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIA

SANDVIK CMC nº 052

Tipo: ACERO INOXIDABLE, austenítico Standard	Condición: Recocido Dureza HB 150-220
Análisis: C max 0,12%, Si max 1,5%, Mn max 2%, Cr 12-26%, Ni 7-22%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación Avance (s) mm/r Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0,1-0,3 0,5-2	Desbaste ligero 0,2-0,5 2-4				Desbaste 0,4-1 4-10		Fuerte desbaste 1,0 6-20		
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	135				135 (S6)		S6		
Condiciones mec. desfavorables	135 (S6)	135 (S6)				S6		S6		
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	135 (S1P) 1)					S6				
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min.	1	Prof. de corte (a) mm		4	Velocidad de corte (v) m/min.	3	Prof. de corte (a) mm		10
			2	3				5	7	
			Potencia neta kW					Potencia neta kW		
0.1	175	1	2,5	3,5	4,5					
0.2	155	1,5	3,5	5	6,5	125	4	6,5	9,5	13,5
0.3	140	2	4	6	8	115	5	8	11,5	16,5
0.4	135	2,5	4,5	7	9,5	105	5,5	9	12,5	18
0.5	125	2,5	5	7,5	10	100	5	10	14	20
0.6	120	3	5,5	8,5	11	95	6,5	11	15,5	22
0.8	110	3	6	9,5	12,5	85	7	12	16,5	24
1.0	105	3,5	7	10,5	13,5	80	8	13	18,5	26
1.2						75	8,5	14	19,5	28
1.5										

1) Para S1P, elevar las velocidades de corte y con ello la potencia requerida en un 10%.

Geometría de corte: Utilizar grandes ángulos positivos y grandes radios de punta.
 Tipos de plaquitas recomendados: -NMM-71, -NMX, -NMM, -NMG-61 (acabado), -PMB, -PUN.

NOTAS: Son ventajosos grandes avances.
 Debe utilizarse fluido de corte con adiciones de EP.
 Materiales con adiciones de, ej. S o Pb, los hacen comparables a los de fácil mecanización, pudiendo ser mecanizados normalmente con velocidades de corte un 50% más elevadas.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 06 1

Tipo ACERO COLADO, no aleado	Condición
Standard	
Análisis C max 1,5%, Si max 0,35%, Mn max 1,4%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación Avance (s) mm/r Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0,1-0,3 0,5-2	Desbaste ligero 0,2-0,5 2-4	Desbaste 0,4-1 4-10	Fuerte desbaste 1,0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	S1P	1025	1025	135
Condiciones mec. desfavorables	1025	1025	135	135

Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	1025 (S1P)					135				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	5	7	10
Avance (s) mm/r										
		Prof. de corte (a) mm					Prof. de corte (a) mm			
		Potencia neta kW					Potencia neta kW			
0.1	240	1	2	3.5	4.5					
0.2	210	1.5	3	4.5	6					
0.3	180	2	3.5	5.5	7					
0.4	170	2	4	6	8	125	4.5	7.5	10.5	15
0.5	150	2	4	6.5	8.5	115	4.5	8	11	16
0.6	140	2	4.5	6.5	8.5	105	5	8	11.5	15.5
0.8	130	2.5	5	7.5	10	95	5.5	9.5	13	13.5
1.0	120	2.5	5.5	8	11	90	6	10.5	14.5	20.5
1.2						80	6	10	14.5	20.5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 150

Geometría de corte: Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMM-71, -PMR, -NUH, -PUN, -NMG-61 (acabado)

NOTAS:

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 062

Tipo ACERO COLADO, baja aleación	Condición
Standard	
Análisis C máx 1,7%, Si máx 2,2 %, Mn máx 1,8%, Cr Máx 1,7%, Máx 5% componentes aleados	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT											
Operación Avance (a) mm/r Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0,1-0,3 0,5-2	Desbaste ligero 0,2-0,5 2-4			Desbaste 0,4-1 4-10		Fuerte desbaste 1,0 6-20				
Condiciones de mecanizado favorables	1025 (S1P)	1025 (S1P)			1025		135 (S6)				
Condiciones mec desfavorables	1025 (S1P)	1025 (135)			135		135 (S6)				
Condiciones de corte											
Calidades COROMANT	1025 (S1P)					135 (S6) ¹⁾					
Avance (a) mm/rev.	Velocidad de corte (v) m/min.	1	Prof. de corte (a) mm 2 Potencia neta kW		3	4	Velocidad de corte (v) m/min.	3	Prof. de corte (a) mm 5 7 Potencia neta kW		10
0,1	170	1	2	2,5	3,5						
0,2	140	1	2,5	3,5	5	105		2,5	4,5		
0,3	120	1,5	3	4	5,5	90		3	5		
0,4	115	1,5	3	5	6,5	85		3,5	6	8,5	12
0,5	110	2	3,5	5	7	80		3,5	6,5	9,5	13
0,6	100	2	3,5	5,5	7,5	75		4	7	10	14
0,8	90	2	4	6	8	65		4,5	7,5	10,5	15
1,0	80	2	4,5	6,5	8,5	60		5	8	11,5	16
1,2						50		4,5	7,5	10,5	15
1,5											

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75°.
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min.
por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 200

1) Para S6 Reducir las velocidades de corte y con ello la potencia requerida en un 30%.

Geometría de corte: Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMM-71, -NMG-61 (acabados), -PMR, -PUN, -NUN.

NOTAS: La dificultad de la cascarilla en las piezas coladas debe ser o bien eliminada antes del mecanizado o torneada con la suficiente profundidad de pasada y avance.

SANDVIK CMC nº 063

MATERIAL

Tipo ACERO COLADO alta aleación	Condición
Standard	
Análisis C máx 1.5%, Si 0.2-1.5%, Mn 0.3-1.2%, Cr 12%. Conteniendo más de un 5% de componentes aleados	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación Avance (s) mm/r Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 5-20
Condiciones de mecanizado favorables	1025 (S1P)	1025	1025 (135)	135 (S6)
Condiciones mec. desfavorables	1025 (S1P)	135 (1025)	135 (S6)	S6

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	1025 S1P					135 (S6) ¹⁾				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm 2 Potencia neta kW	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm 5 Potencia neta kW	7	10
0.1	200	1.5	2.5	4	5					
0.2	170	1.5	3.5	5	7	100	3	5		
0.3	150	2	4	6	8	90	3.5	6		
0.4	130	2	4.5	6.5	8.5	80	4	6.5	9.5	13.5
0.5	120	2	4.5	7	9	75	4	7	10	14.5
0.6	110	2.5	5	7.5	9.5	70	4.5	7.5	11	15.5
0.8	95	2.5	5	8	10.5	65	5.5	9	12.5	18
1.0	85	2.5	5.5	8	11	60	5.5	9.5	13.5	19
1.2						55	6	10	14	20
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min. por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 200.

1) Para S6 Reducir las velocidades de corte y con ello la potencia requerida en un 40%.

Geometría de corte: Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMM-71, -NUN, -NMG-61 (acabado), -PMR.

NOTAS: La dificultad de la cascarilla en las piezas coladas, debe ser o bien eliminada antes del mecanizado o torneada con la suficiente profundidad de pasada y avance.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 06 31

Tipo	ACERO INOXIDABLE COLADO ferrítico, martensítico	Condición
Standard		
Análisis	C 0.09-0.40%, Cr 12-28%, Mn max 2%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación Avance (s) mm/r Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	1025	135 (1025)	S6	S6 (R4)
Condiciones mec. desfavorables	135	135 (S6)	S6	R4

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	135 (1025)¹					S6 (R4)²				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (s) mm 2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (s) mm 5	7	10
0.1	100	1	1	1.5	2					
0.2	90	1	1.5	2.5	3	55	1.5	2.5		
0.3	80	1	2	2.5	3.5	50	1.5	3		
0.4	70	1	2	3	4	45	2	3	4.5	6.5
0.5	65	1	2	3	4	40	2	3.5	5	7
0.6						37	2	3.5	5	7
0.8						35	2.5	4	5.5	8
1.0						30	2.5	4	5.5	8
1.2						25	2	3.5	5	7.5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min. por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 200

- 1) Para 1025, elevar las velocidades de corte y con ello también la potencia requerida en un 50%
- 2) Para R4, reducir las velocidades corte y con ello también la potencia requerida en un 25%

Geometría de corte: Se recomiendan ángulos positivos.
Para condiciones difíciles, pueden superarse utilizando un ángulo de ataque de 45°.
Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMX, -PUN, -NMM-71, -NMG-61 (acabados)

NOTAS: Evitar que los avances y profundidades pasada sean muy pequeños.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 06.32

Tipo	ACERO INOXIDABLE COLADO austenítico	Condición	
Standard			
Analisis	C max 0.12%, Si 1.5%, Mn max 20%, Cr 12-16%, Ni 7-22%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	135	135 (S6)	S6 (R4)	R4
Condiciones mec. desfavorables	135 (S6)	S6	S6 (R4)	R4

Condiciones de corte									
Calidades COROMANT	135					S6 (R4) 1)			
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm			Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm			
		1	2	3		3	5	7	10
		Potencia neta kW				Potencia neta kW			
0.1	90	1	1.5	2					
0.2	75	1	1.5	2	3	50	1.5	2.5	
0.3	70	1	2	2.5	3.5	45	1.5	3	
0.4	65	1	2	3	4	40	1.5	3	4
0.5	60	1	2	3	4	35	2	3	4
0.6						30	2	3	4
0.8						25	2	3	4.5
1.0						20	2	3	4
1.2						15	1.5	2.5	3.5
1.5									5

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°. Y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 200

1) Para R4 reducir las velocidades de corte y con ello la potencia requerida en un 20%.

Geometría de corte: Se obtienen mejores resultados en materiales con altos contenidos de Ni y Cr, utilizando ángulos de desprendimiento positivos y ángulos de ataque de 60°-45°. Tipos de plaquitas recomendados: -NMM, -NMX, -NMM-71, -PUN, -NMG-51 (acabado)

NOTAS: Evitar que los avances y las profundidades de pasada sean muy pequeños:

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 06 33

Tipo ACERO AL MANGANESO	Condición Colado
Standard	
Análisis C 1.1-1.3%, Si 0.25-0.50%, Mn 11.5-14.0%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación Avance (s) mm/r. Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	315 (135)	315 (135)	315 (135)	315 (H20)
Condiciones mec. desfavorables	315 (135)	315 (135)	315 (H20)	H20 (315)

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	315 (135)*					H20				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm			Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm		
Avance (s) mm/rev		2	3	4	Potencia neta kW		5	7	10	Potencia neta kW
0.1										
0.2										
0.3	40	1	1.5	2.5	3					
0.4	35	1	1.5	2.5	3.5					
0.5	30	1	1.5	2.5	3.5	40	3	5.5	7.5	11
0.6	28	1	2	2.5	3.5	35	3.5	5.5	7.5	11
0.8	25	1	2	3	4	25	3	5	7.5	10
1.0	22	1	2	3	4	15	2	3.5	5	7
1.2						10	1.5	2.5	3.5	5
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 250

1) Para 135 reducir las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 20%.

Geometría de corte: Es apropiado un ángulo de desprendimiento positivo cuando el material es endurecido en trabajo. Las plaquitas positivas requieren refuerzo de la arista, con una faceta negativa. Es preferible un ángulo de ataque de 45°. Tipos de plaquitas recomendados: -NMX, -NMM, -PUN

NOTAS: Evitar avances y profundidades de pasada muy pequeños.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 071

Tipo	CONDICIÓN MALEABLE técnica	Condición
Standard		
Análisis	C 25-45%, Si max 3%, P max 15%, S - 02%, Mn - 15%.	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación Avance (a) mm/rev Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4	Desbaste 0.4-1 4-10	Fuerte desbaste 1.0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	H1P (135)	135	315 (135)	315
Condiciones mec. desfavorables	135	315 (135)	315	H20

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	135 (H1P) 1)				315 (H20) 2)				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm 2 3		4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm 5 7 10	
Avance (a) mm/rev			Potencia neta kW					Potencia neta kW	
0.1	175	1	1	1.5	2				
0.2	145	1	1	2	2.5	195	2.5	4	
0.3	130	1	1.5	2	3	185	3	5	
0.4	115	1	1.5	2.5	3	175	3.5	5.5	8 11.5
0.5	105	1	1.5	2.5	3	165	3.5	6.5	9 12.5
0.6	100	1	2	2.5	3.5	155	4	7	9.5 13.5
0.8	85	1	2	2.5	3.5	145	4.5	7.5	10.5 15
1.0	75	1	2	2.5	3.5	135	5	8.5	11.5 16.5
1.2									
1.5									

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°. Y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 130.

- 1) Para H1P: elevar las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 10%.
- 2) Para H20: reducir las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 50%.

Geometría de corte: Tipos de plaquitas recomendados: -NMA, -NMG, -NUN, -RNMG.

NOTAS: Este material es de viruta corta. Puede ser ventajoso el fluido de corte para el transporte de la viruta.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 07 2

Tipo FUNDICION MALEABLE perlítica	Condición
Standard	
Análisis C 2,5-4,5%, Si max 3%, P max 1,5%, S < 0,2%, Mn < 1,5%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación Avance (s) mm/rev Prof. de pasada (a) mm.	Acabado 0,1-0,3 0,5-2	Desbaste ligero 0,2-0,5 2-4	Desbaste 0,4-1 4-10	Fuerte desbaste 1,0 6-20
Condiciones de mecanizado favorables	H1P (135)	135	315 (135)	315
Condiciones mec. desfavorables	315	315 (135)	315	H20

Condiciones de corte.

Calidades COROMANT	135 (H1P)¹)				315 (H20)²)			
	Velocidad de corte (v) m/min.	1	Prof. de corte (a) mm 2 Potencia neta kW	3 4	Velocidad de corte (v) m/min.	3	Prof. de corte (a) mm 5 Potencia neta kW	7 10
0,1	205	1	1,0 1,5 2,5					
0,2	185	1	1,5 2,5 3,5	240	3	5,5		
0,3	170	1	2 3 5	220	4	6,5		
0,4	160	1	2,5 3,5 4,5	210	4,5	7,5 10,5	15	
0,5	150	1	2,5 3,5 5	200	5	8,5 12	17	
0,6	140	1,5	2,5 4 5,5	190	5,5	9,5 13	18,5	
0,8	130	1,5	3 4,5 6	180	6,5	10,5 15	21	
1,0	120	1,5	3,5 5 6,5	170	7	12 16,5	23,5	
1,2								
1,5								

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°. y un ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 230

- 1) Para H1P. reducir las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 20%.
- 2) Para H20. reducir las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 50%.

Geometría de corte: Tipos de plaquitas recomendados: -NMA, -NUN, RNMG

NOTAS: Este material es de viruta larga
Puede ser ventajoso el fluido de corte para el transporte de la viruta

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 081

Tipo	FUNCIÓN GRIS, poco ductil, ferrítica	Condición	
Standard			
Análisis	C 2,5-4,5%, Si max 3%, P max 1,5%, S< 0,2%, Mn< 1,5%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación	Acabado	Desbaste ligero			Desbaste		Fuerte desbaste			
Avance (s) mm/r	0,1-0,3	0,2-0,5			0,4-1		1,0			
Prof. de pasada (a) mm	0,5-2	2-4			4-10		6-20			
Condiciones de mecanizado favorables	315	315			315		315			
Condiciones mec. desfavorables	315	315			H20		H20			
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	315					H20				
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm			Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm				
		1	2	3		3	4	5	7	10
		Potencia neta kW				Potencia neta kW				
0,1	275	1	1,5	2,5	3					
0,2	220	1	2	3	4					
0,3	190	1	2	3,5	4,5					
0,4	165	1	2,5	3,5	4,5	105	2,5	4	5,5	7,5
0,5	150	1,5	2,5	4	5	95	2,5	4	5,5	8
0,6	135	1,5	2,5	4	5,5	85	2,5	4	6	8,5
0,8	110	1,5	2,5	4	5	70	2,5	4	6	3,5
1,0	90	1,5	2,5	4	5	60	2,5	4	6	3,5
1,2	80	1,5	2,5	4	5	50	2,5	4	5,5	8
1,5										
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 5° y un ángulo de ataque de 75° La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 180										
Geometría de corte: Tipos de plaquitas recomendados: -NVA, -NUN, -NMG, -PUN.										
NOTAS:										

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 0A 2

Tipo	FUNCION GRIS muy ductil, perlitica.	Condición	
Standard			
Análisis	C 2,5-4,5%, Si max 3%, P max 1,5%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/rev	0,1-0,3	0,2-0,5	0,4-1	1,0
Prof. de pasada (a) mm	0,5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	H1P	315 (H1P)	315	H20
Condiciones mec. desfavorables	315	H20 (315)	H20	H20

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	315 (H1P) ¹⁾				H20					
	Velocidad de corte (v) m/min	1	2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	5	7	10
Avance (s) mm/rev										
0,1	205	1	1,5	2,5	3					
0,2	165	1	2	3	4	105	2	3,5		
0,3	140	1	2,5	3,5	4,5	85	2	3,5		
0,4	120	1	2,5	3,5	4,5	60	2,5	4	5,5	8
0,5	110	1	2,5	3,5	5	70	2,5	4	5,5	8
0,6	100	1,5	2,5	4	5,5	60	2,5	4	5,5	8
0,8	80	1,5	2,5	4	5	50	2,5	4	5,5	8
1,0	65	1	2,5	3,5	5	45	2,5	4	6	8
1,2						35	2,5	4	5,5	7,5
1,5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por ancho de corte y material con una dureza de HB cerca 250.

1) Para H1P reducir las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 10%.

Geometría de corte: Normalmente es preferible un ángulo de desprendimiento negativo. Tipos de plaquitas recomendados: -RMA, -NUN, -NMG, -PUN. Es preferible un gran radio de punta.

NOTAS:

MATERIAL

SANDVIK C11C nº 091

Tipo	FUNDICION MODULAR, FUNDICION SG, ferritica.	Condición
Standard		
Análisis	C 25-45%, Si 13-30%, P < 008%, Mg Ce	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	H1P (1025)	135 (1025)	135	315
Condiciones mec. desfavorables	135 (H1P)	135	315	315, H20

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	135 (H1P ¹⁾)				315 (1025 (H20) ²⁾)					
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm 2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm 5	7	10
0.1	175	1	1	1.5	2	215	2			
0.2	145	1	1.5	2	2.5	185	2.5	4		
0.3	130	1	1.5	2.5	3.5	165	3	5		
0.4	115	1	1.5	2.5	3.5	150	3	5.5	7.5	11
0.5	105	1	1.5	2.5	3.5	135	3.5	5.5	7.5	11
0.6	95	1	2	2.5	3.5	125	3.5	6	8	11.5
0.8	80	1	2	3	4	105	3.5	6	8.5	12.5
1.0	70	1	2	3	4	85	3.5	6	8.5	12
1.2										
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 5° y un ángulo de ataque de 75°
 La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min.
 por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 160

- 1) Para H1P: elevar las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 15%.
- 2) Para H20: reducir las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 40%

Geometría de corte: Utilizar el mayor radio de punta posible
 Tipos de plaquitas recomendados: -NMA, -NMG, -NUN, -PUN, RNMG.
 Cuando prevalecen las condiciones estables de mecanizado, con las plaquitas redondas se puede conseguir un buen acabado superficial con avances relativamente grandes.

NOTAS: Este material es de viruta larga.
 Puede ser necesario fluido de corte para el transporte de las virutas
 La cascarilla de la pieza puede ser muy diferente a mecanizar en comparación con las partes interiores.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 092

Tipo FUNDICIÓN MODULAR perlitica	Condición
Standard	
Análisis C 2,5-4,5%, Si 1,5-3,0%, P < 0,08%, Mg, Ce	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación Avance (s) mm/rev Prof. de pasada (a) mm	Acabado 0.1-0.3 0.5-2	Desbaste ligero 0.2-0.5 2-4				Desbaste 0.4-1 4-10		Fuerte desbaste 1.0 6-20		
Condiciones de mecanizado favorables	H1P	135				135		315		
Condiciones mec. desfavorables	135	135 (315)				315 (135)		315 (H20)		
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT		135 (H1P1)				315 (H20)				
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm				Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm			
		1	2	3	4		3	5	7	10
		Potencia neta kW					Potencia neta kW			
0.1	160	1	1.5	2	3					
0.2	130	1	2	3	4	165	3.5	6		
0.3	115	1	2.5	3.5	4.5	150	4.5	7.5		
0.4	105	1	2.5	3.5	5	135	4.5	8	11	16
0.5	95	1.5	2.5	4	5.5	120	5	8.5	11.5	16.5
0.6	85	1.5	2.5	4	5.5	115	5.5	9	12.5	18
0.8	75	1.5	3	4.5	6	95	5.5	9.5	13	18.5
1.0	65	1.5	3	4.5	6	75	5	8.5	12	17
1.2										
1.5										
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°. Y un ángulo de ataque de 75° La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 250										
1) Para H1P elevar las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 15%. 2) Para H20 reducir las velocidades de corte indicadas y con ello también la potencia requerida en un 40%.										
Geometría de corte: Utilizar un radio de punta lo mayor posible Tipos de plaquitas recomendados: -NMA, -NMG, -NUN, -PUN, -RNMG Cuando prevalecen las condiciones estables de mecanizado, con las plaquitas redondas se puede conseguir un acabado superficial bueno con avances relativamente grandes Para materiales duros puede ser ventajoso un ángulo de ataque de 45°										
NOTAS: Este es un material de viruta larga. Puede ser necesario el fluido de corte para el transporte de virutas La cascavilla de la pieza puede ser muy diferente de mecanizar en comparación con las partes interiores.										

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 20 11

Tipo	ALIACIONES TIEMPO-RESISTENTES, ferríticas	Condición	Rebocado o tratado en solución
Standard	Discoloy 24, Discoloy, Inconel, Incoloy 800, 801, Jessops G18B, G19, G21, G38, G40, Unitemp 212, A 286, V 57, M813, S 588, 590 (x), W 545 19, 9 DL		
Análisis	Fe max 75%, Ni max 35%, C 0.25%, Cr max 25%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación	Acabado	Desbaste ligero				Desbaste		Fuerte desbaste		
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5				0.4-1		1.0		
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4				4-10		6-20		
Condiciones de mecanizado favorables	R1P	315 (R1P)				H20		-		
Condiciones mec desfavorables	R1P	315 (H20)				H20		-		
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	R1P 315					H20				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm		4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm		10
			2	3				5	7	
			Potencia neta kW					Potencia neta kW		
0.1	50	1	1	1.5	2	70	1.5	2	3	4
0.2	70	1	1.5	2	3	60	2	3	4	6
0.3	65	1	1	2.5	3.5	50	2	3	4.5	6.5
0.4	55	1	2	2.5	3.5	40	2	3	4.5	6.5
0.5	50	1	2	3	4	35	2	3	4.5	6.5
0.6										
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 5°, y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 165.										
Geometría de corte: Se recomienda geometría de corte positiva excepto para mecanizados pesados. Es ventajoso un ángulo de ataque de 60°-45°. Tipos de plaquitas recomendados: -PUN-KNUX, -HMM, -PMG, -NUN, -NMA (los últimos para mecanizados pesados).										
NOTAS: Deben evitarse profundidades de corte y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente el fluido de corte. Reducir la velocidad de corte en un 30% para el mecanizado intermitente. Es importante tener un sistema estable de sujeción de la pieza.										

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 20 12

Tipo: ALEACIONES TERMO-RESISTENTES ferríticas	Condición: Trat term. de disolución y estabilizado
Standard: D5000, G308, G39, G40, G41, Unitemp 212, A 286, M 513, W 545, 19-9 DL	
Análisis: Fe max 75%, Ni max 35%, C 0.25%, Cr max 25%	

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/rev	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	R1P	315 (H20)	H20	-
Condiciones mec. desfavorables	315 (R1P)	H20 (315)	R4	-

Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	315 R1P					H20, R4				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm		4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm		10
			2	3				5	7	
			Potencia neta kW					Potencia neta kW		
0.1	52	1	1	1	1.5	45	1			
0.2	45	1	1	1.5	2	35	1.5	2		
0.3	37	1	1	2	2.5	30	1.5	2.5		
0.4	32	1	1.5	2	2.5	25	1.5	2.5	3.5	5
0.5										
0.6										
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min. por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 280.

Geometría de corte: Recomendamos una geometría de corte positiva excepto para mecanizados pesados. Es ventajoso un ángulo de ataque de 60°-45°. Tipos de plaquitas recomendados: -PLN, -KNUX, -NMM, -NMG, -NUN, -NMA (los últimos para mecanizados pesados).

NOTAS: Deben evitarse profundidades de corte y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente el fluido de corte. Reducir la velocidad de corte en un 30% para mecanizado intermitente. Es importante tener un sistema estable de sujeción de la pieza.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 7021

Tipo ALIACIONES TERMO-RESISTENTES, base níquel	Condición Recuento e trat térm de disolución
Standard Inconel 600, 604, 625, 702, 721, 751, Incoloy 804, 825, Jessops G66, 81, 84, 101, 157, Nimonic 75, 115, Hastelloy C, D, N, MAR M-246, PK 31, 33, Rene 41, Sanicro 30, 31, 70, 71, 75, Waspalloy Udmet 500	
Análisis	N máx 75%, Cr máx 25%, C máx 0.5%

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT									
Operación	Acabado			Desbaste ligero			Desbaste		Fuerte desbaste
Avance (s) mm/rev	0.1-0.3			0.2-0.5			0.4-1		1.0
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2			2-4			4-10		6-20
Condiciones de mecanizado favorables									
Condiciones mec									
Condiciones mec									
Condiciones mec									
Condiciones de corte									
Calidades COROMANT		R1P, 315				H20 (R4)			
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm		Potencia neta kW		Velocidad de corte (v) m/min	Prof. de corte (a) mm		
		1	2	3	4		5	7	10
0.1	42	1	1	1	1	35	1		
0.2	28	1	1	1	1.5	25	1	1.5	
0.3	23	1	1	1	1.5	20	1	1.5	
0.4	18	1	1	1	1.5	15	1	1.5	2 3
0.5									
0.6									
0.8									
1.0									
1.2									
1.5									
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75° La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por pieza de corte y material con una dureza de HB cerca 250									
1) Para R4 reducir las velocidades de corte indicadas y con ello la potencia requerida en un 25%.									
Geometría de corte: Se recomienda geometría de corte positiva excepto para mecanizados pesados. Es ventajoso un ángulo de ataque de 30°-45°. Tipos de plaquitas recomendados: -PUN, KNUX, -NUM, -NMG, -NUN, -NMA (los últimos para mecanizados pesados)									
NOTAS: Deben evitarse profundidades de corte y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente fluido de corte. Reducir para el corte intermitente, la velocidad de corte en un 30%. Es importante un sistema estable de sujeción de la pieza.									

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 2022

Tipo	ALICATORIOS TERMO RESISTENTES base níquel	Condición	Tratamiento de solución y estabilizado Dureza: 100-150 HB
Standard	M252, J-series G62, G66, G70, G90, G101, G157 Hastelloy A, B, C, N, W, X, Incoloy 804, 825, 901, Inconel 625, 700, 702, 718, 721, 722, Nimonic 80 A, 90, 105, 115, Pk31, Pk33, Refractory 26, Rene 41, Waspalloy, Udimet 500, 600, 700		
Análisis	Ni max 75%, Cr max 25%, C max 0.5%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT

Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuente desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	10
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	R1P (J15)	H20 (J15)	H20 (R4)	-
Condiciones mec. desfavorables	J15 (R1P)	H20 (R4)	R4	-

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	J15 (R1P)				H20 (R4)				
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm 2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm 5	10
0.1	36	1	1	1.5	2	30	1		
0.2	18	1	1	1.5	2	15	1	2	
0.3	15	1	1	1.5	2	8	1	2	
0.4									
0.5									
0.6									
0.8									
1.0									
1.2									
1.5									

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 350.

1) Para R1P, aumentar la velocidad de corte y con ello la potencia requerida en un 10%.

Geometría de corte: Se recomienda geometría de corte positiva excepto para mecanizados pesados. Es ventajoso un ángulo de ataque de 60°-45°. Tipos de plaquitas recomendados: -PUN, -KNUX, -NMM, -NMG, -NUN, -NSA (los últimos para mecanizados pesados).

NOTAS: Deben evitarse profundidades de pasada y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente fluido de corte. Reducir en un 30% la velocidad de corte para el mecanizado intermitente. Es importante tener un sistema estable de sujeción de la pieza.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 20 24

Tipo	ALICATORIOS TERMORRESISTENTES base níquel	Condición	Fundido o fundido y estabilizado.
Standard	Jaskops G39, G64, G69, G73, G76, G84, Hasterloy B, C, X, Nimocast 80, 90, 713, PE10, PE16, PE24, Nimonic 242, Waspalloy TRW1800, MAR M 200 IN-100 GMR-235, 235D		
Análisis	Ni max 75%, Cr max 25%, C max 0,5%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerte desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	315 (R1P)	H20	R4	
Condiciones mec desfavorables	H20 (R1P)	H20 (R4)	R4	

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	H20 315, R1P						R4			
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm			Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm		10
Avance (s) mm/rev			2	3	4			5	7	
			Potencia neta kW					Potencia neta kW		
0.1	30	1	1	1	1					
0.2	15	1	1	1	1	12	1	1		
0.3	10	1	1	1	1	8	1	1		
0.4	7	1	1	1	1	6	1	1	1	1.5
0.5						4	1	1	1	1.5
0.6										
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°. La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min. por hora de corte y material con una dureza de HB cerca 320.

Geometría de corte: Se recomienda geometría de corte positiva excepto para mecanizados pesados. Es ventajoso un ángulo de ataque de 60°-45°. Tipos de plaquitas recomendados: -PUN, KNUX, -NMM, -NUN, -NMA (los últimos para mecanizados pesados).

NOTAS: Deben evitarse profundidades de corte y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente fluido de corte. Reducir, para el mecanizado intermitente, la velocidad de corte en un 30%. Es importante tener un sistema estable de sujeción de la pieza.

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 2031

Tipo	ALEACIONES TERMO-RESISTENTES base cobalto	Condición	Recocido o trat term de disolución
Standard	25 Ni 25 Ni & V AF 94 Altemp SS16 F484 Haynes HA3.6, 12, 25, 36, 93M2, 152, GB 152 H536 J1570 J1650 Jetalloy 709, 249, 1570 L 605 M203, 204, 205 S816, 844 Unitemp L605 SS16 V36 X40		
Análisis	Co max 65%, Ni max 30%, Cr max 30%, W max 20%, C max 2%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación	Acabado	Desbaste ligero				Desbaste		Fuerte desbaste		
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5				0.4-1		1.0		
Prof de pasada (a) mm	0.5-2	2-4				4-10		6-20		
Condiciones de mecanizado										
Condiciones favorables	H20	H20				R4		-		
Condiciones mec desfavorables	H20	R4				R4		-		
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT		H20				R4				
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof de corte (a) mm			Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof de corte (a) mm		
			2	3	4			5	7	10
			Potencia neta kW					Potencia neta kW		
0.1	35	1	1	1	1					
0.2	25	1	1	1	1	17	1	1		
0.3	20	1	1	1	1	15	1	1		
0.4	15	1	1	1	1.5	12	1	1	1.5	2
0.5	10	1	1	1	1	8	1	1	1	1.5
0.6										
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6°, y un ángulo de ataque de 75° La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por ancho de corte y material con una dureza de HB cerca 200										
Geometría de corte: Se recomienda una geometría de corte positiva excepto para los mecanizados pesados Es ventajoso un ángulo de ataque de 30°-45° Tipos de plaquitas recomendados: -PUN, KNUX, -NMM, -NMG, -NUN, -NMA (los últimos para mecanizados pesados).										
NOTAS: Deben evitarse profundidades de corte y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente fluido de corte. Para el mecanizado intermitente reducir la velocidad de corte en un 30%. Es importante tener un sistema estable de sujeción de la pieza.										

MATERIAL

SANDVIK CMC nº 2032

Tipo	ALEACIONES TÉRMICO RESISTENTES, base cobalto	Condición	Trat térm. de disolución y estabilizado
Standard	F454 Haynes HA25, 150, 151, 152, 302 HS75, 30, 36 J1570, 1650 Jetrefloy 209, 249, 1570 L605 M203, 204, 205 Refractor 70 S816, B44 V36 X40 Jessops G32		
Análisis	Co max 65%, Ni max 30%, Cr max 30%, W max 20%, C max 2%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT										
Operación	Acabado	Desbaste ligero				Desbaste		Fuerte desbaste		
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5				0.4-1		1.0		
Prof. de pasada (a) mm	0.5-2	2-4				4-10		6-20		
Condiciones de mecanizado favorables	H20	H20 (R4)				R4		-		
Condiciones mec. favorables	H20 (R4)	R4				R4		-		
Condiciones de corte										
Calidades COROMANT	H20					R4				
Avance (s) mm/rev	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm		4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm		10
			2	Potencia neta kW				5	Potencia neta kW	
0.1	30	1	1	1	1					
0.2	20	1	1	1	1	20	1	1.5		
0.3	15	1	1	1	1	16	1	1.5		
0.4	12	1	1	1	1	12	1	1	1.5	2.5
0.5						10	1	1	1.5	2.5
0.6						7	1	1	1.5	2
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										
Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75° La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 300										
Geometría de corte: Se recomienda geometría de corte positiva excepto para mecanizados pesados. Es ventajoso un ángulo de ataque de 30°-45° Tipos de plaquitas recomendados: -PUN, KNUX, -NMM, -NMG, -NUN, -NMA (los últimos para mecanizados pesados)										
NOTAS: Deben evitarse profundidades de pasada y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente flujo de corte Para el mecanizado intermitente reducir la velocidad de corte en un 30%. Es importante tener un sistema estable de sujeción de la pieza.										

MATERIAL

SANDVIK CMC no 20 33

Tipo	AL CACIONES TERMO-RESISTENTES base cobalto	Condición	Fundido
Standard	Desbaste G34, G60, G65, G75, H3, H35, H43, 4, 6, 12, 19, 36, 151, HS 21, 23, 27, 31, L251, X40, 50, 60		
Análisis	Co max 65%, Ni max 30%, Cr max 30%, W max 20, C max 2%		

RECOMENDACIONES

Calidades COROMANT				
Operación	Acabado	Desbaste ligero	Desbaste	Fuerle desbaste
Avance (s) mm/r	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-1	1.0
Prof. de pasada (a) mm.	0.5-2	2-4	4-10	6-20
Condiciones de mecanizado favorables	H20	R4 (H20)	R4	-
Condiciones mec desfavorables	R4 (H20)	R4	R4	-

Condiciones de corte

Calidades COROMANT	H20				R4					
	Velocidad de corte (v) m/min	1	Prof. de corte (a) mm 2	3	4	Velocidad de corte (v) m/min	3	Prof. de corte (a) mm 5	7	10
0.1	15	1	1	1	1	15	1	1		
0.2	13	1	1	1	1	12	1	1		
0.3	10	1	1	1	1	10	1	1		
0.4	8	1	1	1	1	8	1	1	1	1.5
0.5										
0.6										
0.8										
1.0										
1.2										
1.5										

Potencia requerida basada en un ángulo de desprendimiento positivo de 6° y un ángulo de ataque de 75°
La tabla de arriba se aplica para una duración de herramienta aproximada de 15 min por arista de corte y material con una dureza de HB cerca 320

Geometría de corte: Se recomienda geometría de corte positiva excepto para mecanizados pesados. Es ventajoso un ángulo de ataque de 30°-45°
Tipos de plaquitas recomendados: -PUN, KNUX, -NMM, -NMG, -NUN, -NMA (los últimos para mecanizados pesados).

NOTAS: Deben evitarse profundidades de pasada y avances excesivamente pequeños. Debe utilizarse masivamente fluido de corte. Reducir la velocidad de corte para el mecanizado intermitente en un 20%. Es importante tener un sistema estable de sujeción de la pieza.

Calidades de metal duro Coromant para torneado

ISO

<p>P</p> <p>Acero, acero fundido, viruta larga, fundición maleable.</p>	<p>Calidades básicas</p> <p>S1P Acabado y desbaste ligero del acero y acero moldeado. Condiciones de trabajo favorables. Elevada velocidad de corte. Avance moderado. Es mejor no emplear líquido refrigerante. Adecuada para copia y roscado.</p> <p>P10 P01</p> <p>GC1025 Acabado y desbaste ligero a medio del acero y acero moldeado así como también fundición maleable y nodular. Elevada velocidad de corte y un avance grande relativo. Muy resistente al desgaste.</p> <p>P25 P10 P20 P30</p> <p>GC135 Desbaste medio y pesado del acero, acero moldeado, fundición maleable y fundiciones nodulares, incluso en condiciones desfavorables. Velocidad de corte y avances relativamente grandes. Gran resistencia al desgaste. Calidad universal para el mecanizado del acero.</p> <p>P35 P20 P30 P40</p> <p>Calidades suplementarias</p> <p>S4 Desbaste medio y pesado del acero y acero moldeado. Condiciones desfavorables. Velocidad de corte moderada, gran avance.</p> <p>P30 P20</p> <p>S6 Desbaste pesado del acero, acero inoxidable y acero moldeado. Condiciones difíciles. Pequeña velocidad de corte, gran avance, gran profundidad de pasada.</p> <p>P40 P30</p>	<p>Calidades para aplicaciones especiales</p> <p>F02 Acabado del acero y acero moldeado. Condiciones estables. Velocidad de corte muy elevada. Pequeños avances.</p> <p>P01</p> <p>S2 Desbaste ligero a medio del acero y acero moldeado. Condiciones poco favorables. Velocidad de corte y avances moderados. Apropada para copiado.</p> <p>P20 P10</p> <p>R4 Desbaste del acero y acero moldeado. Condiciones muy difíciles. Pequeña velocidad de corte, fuertes avances.</p> <p>M40 P50</p>
<p>M</p> <p>Acero, acero fundido, acero al manganeso, fundición aleada, aceros austeníticos, fundición maleable, acero de fácil mecanizado.</p>	<p>Calidades básicas</p> <p>R1P Acabado y desbaste ligero de aleaciones termoresistentes y acero inoxidable, tales componentes de reactores nucleares. Elevada resistencia al desgaste por entalladuras. Velocidad de corte relativamente grande, avances moderados.</p> <p>M10</p> <p>R4 Acabado y desbaste del acero inoxidable moldeado austenítico y acero inoxidable con costra dificultosa producida por laminación o en la fundición. Pequeña velocidad de corte, grandes avances. Muy resistente a la destrucción del filo cuando se mecaniza en intermitente.</p> <p>M40</p> <p>Calidades suplementarias</p> <p>GC315 Acabados y desbastes ligeros de aleaciones termoresistentes. Gran resistencia a la arista de corte. Velocidades de corte relativamente grandes y avances moderados. Gran resistencia al desgaste.</p> <p>K15 M10 M20 M30</p>	<p>GC135 Ligeros y fuertes mecanizados de aleaciones termoresistentes. También para condiciones de mecanizado difíciles. Elevada resistencia de la arista de corte.</p> <p>P35 M10 M20 M30</p> <p>H20 Ligeros y fuertes mecanizados de aceros inoxidables austeníticos y materiales inoxidables con costra producida por laminación o fundición.</p> <p>K20 M20 M30</p> <p>S6</p> <p>P40 M30 M40</p> <p>Calidades para aplicaciones especiales</p> <p>SH Fuerte desbaste del acero y acero moldeado. Aceros al Mn y fundición ductil con tendencia a la viruta larga. Especialmente apropiada para el retorneado de tuercas de ferrocarril.</p> <p>M20 M10 M30</p>
<p>K</p> <p>Fundición, fundición en coquilla, fundición maleable de viruta corta, acero templado, metales no ferreos, plásticos, madera.</p>	<p>Calidades básicas</p> <p>H1P Acabado y desbaste ligero de la fundición. También para la fundición aleada, bronce y cobre. Velocidades de corte relativamente altas y avances moderados.</p> <p>K10 K01 K20</p> <p>GC315 Calidad universal para el mecanizado de fundición y otros materiales de viruta corta. Condiciones poco favorables. Velocidad de corte relativamente grande, grandes avances. Gran resistencia al desgaste.</p> <p>K15 K10 K20</p>	<p>Calidades suplementarias</p> <p>GC1025 Desbaste ligero y medio en primer lugar de fundición de baja aleación. Elevada velocidad de corte y avances relativamente elevados. Gran resistencia al desgaste.</p> <p>P25 K10 K20</p> <p>H20 Desbaste fuerte de la fundición. Condiciones desfavorables. Velocidad de corte pequeña, grandes avances.</p> <p>K20 K30</p> <p>Calidades para aplicaciones especiales</p> <p>H05 Acabado de la fundición. Apropada para la fundición en coquilla, concreto, plásticos, etc.</p> <p>K01</p>

ISO

		Calidades básicas		Calidades suplementarias	Calidades para aplicaciones especiales				
<p>P</p> <p>Aceros, acero fundido, viruta larga, fundición maleable</p>	01				F02	TENACIDAD	RESISTENCIA AL DESGASTE		
	10		S1P						
	15								
	20				S2				
	25	GC 1025		S4					
	30		GC 135						
35			S6						
40									
50					R4				
<p>M</p> <p>Aceros, acero fundido, acero al manganeso, fundición aleada, aceros austeníticos, fundición maleable, acero de fácil mecanizado.</p>	10		R1P			TENACIDAD	RESISTENCIA AL DESGASTE		
	20			GC 315	GC 135			H20	S4
	30								S6
	40		R4						
<p>K</p> <p>Fundición, fundición en coquilla, fundición maleable de viruta corta, acero templado, metales no ferreos, plásticos, madera</p>	01				H05	TENACIDAD	RESISTENCIA AL DESGASTE		
	10								
	15	GC 315			GC 1025				
	20			H20					
30									

Capítulo 6: Materiales para la herramienta de corte.

6.1 Aceros especiales.

6.1.1 Conceptos introductorios.

La Fig. 72 representa el bien conocido diagrama hierro-carbono. Apreciamos la amplia zona γ de la austenita o sea del hierro cúbico a caras centradas, conteniendo un porcentaje de carbono llegando hasta 2.1 a la temperatura de 1130°C. Más abajo, apreciamos la zona α , muy restringida en su existencia, representando un hierro cúbico a cuerpo centrado, conteniendo muy poco carbono, con un máximo de 0.025% de carbono a la temperatura de 723°C. Enfriando un acero con un porcentaje de carbono de por ejemplo 0.8% de carbono desde la temperatura de 1000 hasta temperatura ambiente, tiene que ocurrir una transformación muy importante, que es aquella del paso de γ a α .

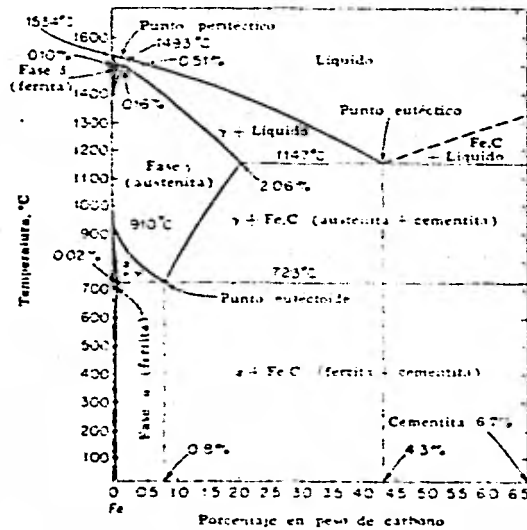


Figura 72 :
Diagrama Fe-C

Durante esta transformación ocurren dos fenómenos, los cuales son la base del tratamiento del acero:

1º. El hierro γ se transforma en hierro α . Se trata aquí de una transformación en estado sólido cuya velocidad está determinada por un fenómeno de nucleación y crecimiento, como para la gran mayoría de las transformaciones de este tipo. Es muy común que en estos casos ocurra un sub-enfriamiento, causando así una demora en la transformación.

2º. Como la solubilidad del carbono en la austenita ($\text{Fe}-\gamma$) es mucho mayor que la solubilidad del carbono en la $\text{Fe}-\alpha$ (ferrita), ocurre una difusión de carbono, el cual sale de la austenita y forma el compuesto de carburo de hierro, llamado cementita (Fe_3C).

Estas transformaciones son bastante complicadas y dependen mucho de la velocidad de enfriamiento del acero. Cuando aumenta la velocidad de enfriamiento, aparecen varios problemas de difusión, nucleación y crecimiento, los cuales llegan a la formación de una mezcla ferrita-cementita, llamada perlita, cada vez más fina, hasta llegar a un constituyente, llamado bainita, el cual se compone de ferrita + cementita, pero en una distribución tan fina, que no se puede distinguir una separación entre fases en el microscopio óptico.

Aumentando aún más la velocidad de enfriamiento, ocurre la llamada transformación martensítica, sin formación de carburo, o sea: todo el carbono se queda atrapado en la estructura de la austenita, deformándola de manera importante y produciendo así la martensita.

La estructura martensítica en los aceros es una fase simple distinta a la ferrita y al carburo. La estructura cristalina martensítica es tetragonal centrada en el cuerpo y puede suponerse que es una estructura intermedia entre las fases normales del hierro (cúbica centrada en las caras, cúbica centrada en el cuerpo). La relación entre las tres estructuras se muestra en la figura 73 en la cual aparece la llamada distorsión de Bain en el acero.

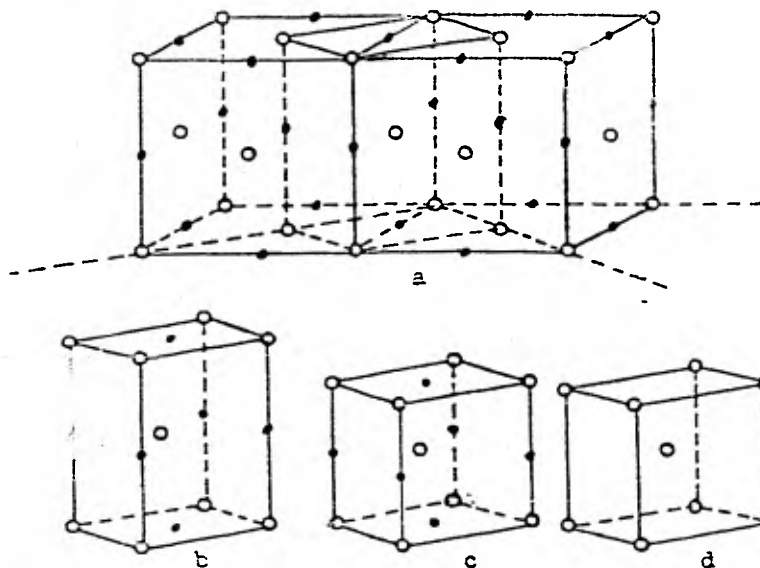


Figura 73 : Distorsión de Bain de la martensita

En estos dibujos, las posiciones que ocupan los átomos de carbono se muestran por medio de puntos negros. Dabe reconocerse, sin embargo, que realmente en cualquier muestra del acero, solamente está siempre lleno un pequeño porcentaje de las posiciones posibles. En la estructura cúbica centrada en las caras hay tantas posiciones para los átomos de C como átomos de Fe. Esto significa, que si se llenasen todas las posiciones, la aleación tendría una composición conteniendo 50% atómico de C. El máximo realmente observado es 8.9% atómico, equivalente a 2.06% en peso.

La Fig.73a representa austenita con su estructura cúbica a caras centradas. En esta estructura los átomos del carbono ocupan los puntos medios de las aristas del cubo y de los centros de los cubos. En la misma Fig.73 se dibujó otra celda unitaria de la austenita, la cual se repitió en la Fig.73 b. Es más usual utilizar la celda unitaria cúbica a caras centradas para describir la austenita porque esta celda contiene más elementos de simetría, pero también se describe la misma estructura austenítica por una estructura tetragonal de cuerpo

centrado como representada en la Fig.73b. Obsérvese que en esta celda, las posiciones del carbono ocurren entre átomos de Fe y a lo largo de las aristas de los ejes c y en los centros de las caras cuadradas en cada extremo de la celda prismática.

La Fig.73d muestra la celda unitaria de la ferrita cúbica a cuerpo centrado. La Fig.73c muestra un estado intermedio entre celda unitaria tetragonal de la austenita y la celda unitaria cúbica de la ferrita. Esta forma intermedia de la celda unitaria es tetragonal a cuerpo centrado y representa la martensita. Durante la transformación normal de γ a α , todo el carbono tiene que salir de la celda austenítica para que se pueda formar una estructura exactamente cúbica de ferrita. Si la velocidad de enfriamiento es demasiado alta para permitir la salida (difusión) del carbono, obtendremos la estructura intermedia de la Fig.73c o sea martensítica.

La estructura de la martensita es tetragonal únicamente porque los átomos de carbono son heredados de la austenita y la transformación que normalmente continúa hasta la estructura cúbica centrada en el cuerpo no es capaz de completarse. Puede considerarse que los átomos de carbono deforman la red a la configuración tetragonal y la extensión de la tetragonalidad que ocurre puede deducirse de la Fig. 74. Nótese que los parámetros reticulares son graficados como una función del contenido en carbono tanto de la austenita como de la martensita y en cada caso los parámetros varían linealmente con el contenido en carbono. En la martensita, un contenido de carbono en aumento, aumenta el parámetro del eje c, en tanto que disminuye el parámetro asociado con los dos ejes a. Al mismo tiempo el parámetro cúbico de la austenita (a_0) crece con el aumento en el contenido de carbono.

En un párrafo anterior se describió la influencia de la velocidad de enfriamiento sobre la transformación de austenita-ferrita. Se observó que llegando a una velocidad crítica de enfriamiento el carbono se queda atrapado en la estructura del hierro, formando así la llamada martensita. La transformación martensítica ocurre cuando se

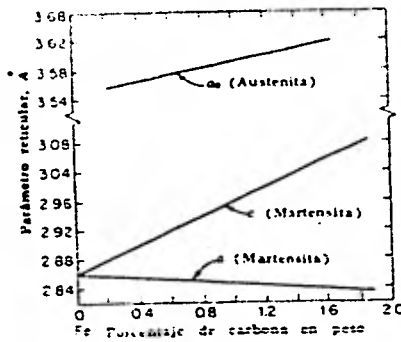


Figura 74 : Variación de los parámetros reticulares de la austenita y de la martensita en función del contenido en carbono

pudo evitar la llamada transformación perlítica, pero la velocidad de transformación martensítica ya no depende de la rapidez de enfriamiento sino más bien de la temperatura. Así es que en una gráfica como la de la Fig. 75, podemos observar una temperatura M_s que corresponde al inicio (start) de la transformación martensítica y otra temperatura M_f , correspondiendo al fin de la transformación martensítica. Si la probeta se conserva a una temperatura intermedia entre las dos temperaturas mencionadas, una fracción de la austenita se conserva en forma de austenita residual.

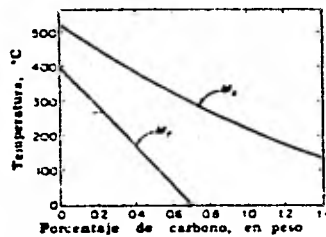


Figura 75 : Variación de M_s y M_f con la concentración de carbono en el acero

La austenita residual aumenta su estabilidad por el efecto de compresión que ejerce la martensita ya formada sobre su estructura cristalina. Como la austenita quiere transformarse en una estructura más abierta y entonces aumentar su volumen, una presión exterior impide esta transformación. Por otro lado, elementos de aleación llamados gamátenos o sea, estabilizadores de la austenita γ , aumentan la estabilidad de la austenita y así la cantidad de austenita residual.

6.1.2 Concepto de templabilidad.

Los aceros para herramienta necesitan alta dureza, lo cual se logra por medio de un enfriamiento rápido, llamado templado, seguido por un calentamiento de revenido.

Es posible obtener una dureza determinada en un acero al carbono con contenido en carbono conocido según los dos métodos siguientes:

- 1°. Directamente por la transformación de austenita en sus productos de descomposición ferrita y cementita a una temperatura determinada que es función de la velocidad de enfriamiento;
- 2°. Indirectamente por el templado a martensita seguido por un revenido a temperatura adecuada.

El acero obtenido según el segundo método tiene en general las mejores propiedades de resistencia, ductilidad y tenacidad.

Debido a la profundidad bastante reducida del templado (2 a 3 mm) de un acero al carbono, se aplica el segundo método únicamente para las piezas con paredes de espesor pequeño, como por ejemplo alambre de 5 a 6 mm de diámetro. Para obtener una estructura homogénea en toda la masa de un acero no aleado, la misma restricción de tamaño y espesor vale para el primer método.

En general, los elementos de aleación reducen la velocidad crítica de enfriamiento, o sea la velocidad de enfriamiento necesaria para formar martensita. De eso se deriva que para la misma velocidad de enfriamiento la profundidad de templado (formación de martensita), es superior en un acero aleado que en un acero no aleado. La profundidad de templado para una velocidad de enfriamiento determinada desde la zona austenítica, es una medida para la templabilidad.

Como criterio de profundidad, se acepta muchas veces la distancia entre la superficie y el límite medio martensítico, basándose en el hecho de que el cambio en dureza en la zona de transición entre la martensita y la perlita es la más pronunciada entre 60 y 40% de martensita.

Aceros de buena templabilidad no tienen necesariamente la dureza martensítica máxima en estado templado. Al contrario, la dureza martensítica de aceros bien templables siempre es inferior a la dureza de un acero eutectoide templado correctamente, ya que: 1) acero aleado con C inferior a 0.55% siempre contienen austenita residual en la zona templada o martensítica y 2) el contenido en C es generalmente más bajo.

De todos los elementos, el carbono es el principal para elevar la dureza martensítica; así, templando una aleación de 10% Cr y 0.02% C se obtiene una martensita casi libre de carbono con una dureza de 35 Rc, contra 50 Rc para un acero al carbono de 0.35% C.

El carbono es el elemento por excelencia para obtener una dureza muy alta, mientras que los elementos de aleación, en primer lugar el cromo, son elementos de templabilidad. Con unos elementos de aleación o sus combinaciones como Ni-Cr o Ni-Cr-Mo es posible obtener un endurecimiento martensítico por enfriamiento al aire.

En resumen se puede concluir que la profundidad de penetración del templado martensítico con un enfriamiento relativamente rá

pido (por ej. en aceite) y la dureza martensítica que todavía puede obtenerse con un enfriamiento relativamente lento (p. ej. en aire) son los criterios para la templabilidad, y no la dureza intrínseca del constituyente martensítico.

6.1.3 Factores de influencia sobre la templabilidad.

El principal factor de influencia es sin duda la composición de la fase austenítica en el momento del comienzo del enfriamiento. Además son factores de influencia sobre la templabilidad: la homogeneidad de la austenita, el tamaño del grano austenítico, los carburos y nitruros no-disueltos, las inclusiones no metálicas. Una composición heterogénea de la austenita significa estabilidad diferente en la austenita y más probabilidad de descomposición en la zona Ar' de las zonas austeníticas menos estables.

Como ya se mencionó antes, el tamaño del grano austenítico en el momento del templado es un factor importante, ya que la disociación final de austenita en perlita se nuclea por medio de los núcleos de cementita que se forman en la zona Ar' o que ya existen, de preferencia en los límites de grano, ya que la energía de superficie a proporcionar es más baja allí. Para iguales composiciones de acero y de la austenita en el momento del templado, el acero con el grano austenítico superior tendrá la mayor templabilidad. La diferencia en templabilidad debido al grano austenítico puede ser muy importante.

De manera análoga, la templabilidad disminuye por inclusiones no-metálicas y constituyentes no disueltos como carburos y nitruros; esas últimas partículas tienen un efecto doble y hasta triple:

- 1°. forman siempre una superficie y facilitan entonces la nucleación de la cementita,
- 2°. pueden servir eventualmente de núcleos, lo que sobre todo es el caso para los carburos,
- 3°. reducen el crecimiento del grano austenítico.

Los tres efectos provocan una pérdida de templabilidad.

Para comparar entre sí la influencia específica de los elementos de aleación, hay que considerar su concentración disuelta en la austenita, para un tamaño de grano austenítico igual y con inclusiones en la misma cantidad, clase, forma, tamaño y distribución. Con excepción del cobalto, todos los elementos disueltos en la austenita aumentan su templabilidad, pero con efecto muy diferente.

El efecto único del cobalto es muy extraño y no se ha podido explicar hasta ahora.

Los principales elementos para templabilidad son seguramente: Ni, Mn, Cr, Mo y V. Con un contenido suficiente en Ni o Mn es posible incluso reprimir totalmente la transformación, de modo que la austenita se queda metaestable hasta temperatura ambiente.

Mo, Cr y V son elementos de templabilidad muy profunda pero relativamente poco solubles en la austenita. El efecto del cromo sobre la templabilidad aumenta bastante regularmente con el aumento en contenido en Cr; el efecto del Mo es en principio muy fuerte, mucho más fuerte que el Cr, pero disminuye mucho arriba de 1%.

En relación con la influencia de los elementos muy carburizantes Cr, W, Mo, V... sobre la templabilidad del acero, hay que tener en cuenta la solubilidad de los carburos en la austenita: aunque estos elementos son de templabilidad muy profunda, solamente pueden funcionar como tal si están en solución en la austenita en el momento del templado. Los mismos elementos, en forma de carburos no disueltos, tienen al contrario un efecto negativo sobre la templabilidad, debido al crecimiento reducido del grano austenítico y al efecto de nucleación y de superficie. Además, esos elementos retiran una parte del carbono de la austenita, de modo que en su forma de carburos no disueltos, no sólo reducen la templabilidad, sino además la dureza martensítica. Esto significa que los factores tiempo y temperatura son de importancia primordial durante la austenitización que antecede al templado, o sea al endurecimiento del acero.

6.1.4 Influencia de los elementos de aleación sobre el revenido de acero.

No es usual utilizar el acero en el estado de templado total, o sea sin ningún revenido. La fragilidad de la martensita no revenida y el estado de tensiones como consecuencia del enfriamiento brusco y por eso irregular de la pieza representan un peligro de fractura tan grande, que el revenido se aplica siempre, aún en los casos en los cuales se desea la dureza máxima para una determinada aplicación. El objetivo del revenido casi nunca es bajar la dureza (lo que ocurre inevitablemente) sino más bien reducir el estado de tensiones internas y mejorar las propiedades de tenacidad y ductilidad del acero.

Según su composición, los aceros aleados pueden contener austenita residual después del templado, o una tendencia especial a formar carburos especiales. En ambos casos, pero especialmente en el segundo, la forma de la curva de revenido se modifica bastante.

Mientras ocurre una suavización progresiva durante el revenido de un acero normal al carbono, varios aceros aleados presentan un fenómeno de endurecimiento a una determinada temperatura de revenido. Ese fenómeno se denomina "endurecimiento secundario".

Aceros aleados con contenidos regulares de elementos no carburizantes como Ni y Si, o del elemento de ligera carburización Mn, tienen curvas de revenido análogas a las representadas en esta figura,⁷⁶ la influencia de tiempos de revenido muy largos a diferentes temperaturas aparece en la suavización provocada por la coagulación progresiva de las partículas de carburo.

Contrariamente al transcurso de esta curva de revenido las curvas de revenido de la mayoría de los aceros aleados presentan anomalías de revenido, las cuales son de interés primordial en relación con su tratamiento térmico y especialmente con su tratamiento de revenido.

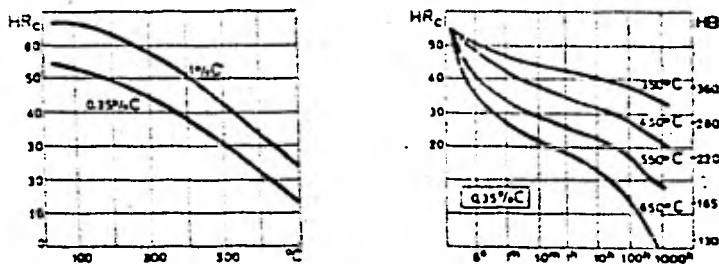


Figura 76 : Efecto del revenido : izquierda : ablandamiento de un acero al carbono templado, en función de la temperatura de revenido, tiempo = 1 hora derecha : influencia del tiempo de revenido, para diferentes temperaturas de revenido, sobre el ablandamiento de un acero con 0.35 % C templado

Hay que observar que no ocurre un ablandamiento debajo de 500°C durante el revenido de este acero al cromo de alto carbono y de relativamente alta aleación, que se templó desde 1100°C y se quedó por eso principalmente austenítica.

Sin embargo, el endurecimiento secundario ocurre también sin la presencia de austenita residual. Esto se observa en las curvas de revenido de aceros aleados con un contenido bajo o mediano en carbono, los cuales sólo contienen trazas o nada en absoluto de austenita residual. La figura 77 representa las curvas de revenido de aceros al cromo con contenidos diferentes en cromo y un contenido en carbono de 0.35%.

La inclinación de las curvas de revenido muestra claramente que a partir de 2% Cr un endurecimiento secundario aparece en la zona de temperatura de 350 a 450°C. Sin embargo, las curvas siguen disminuyendo por el traslape de dos efectos: ablandamiento y endurecimiento secundario se vuelve más importante.

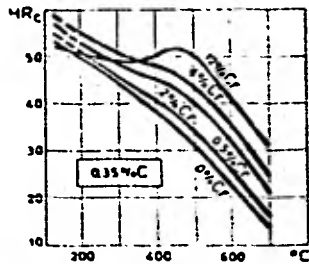


Figura 77 : Curvas de revenido y endurecimiento secundario de aceros al cromo con 0.35 de carbono

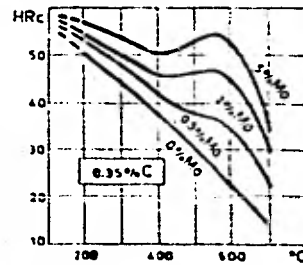


Figura 78 : Aceros al molibdeno con 0.35 % C

Figura 79 : Aceros al Cr-Mo con 4 % Cr y 0.35 % C

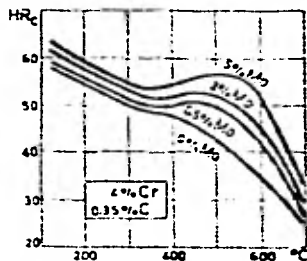


Figura 80 : Influencia del vanadio sobre las curvas de revenido de acero de alto carbono

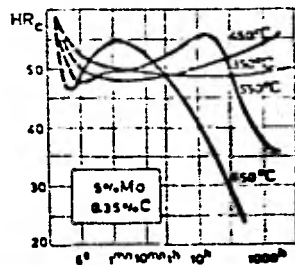
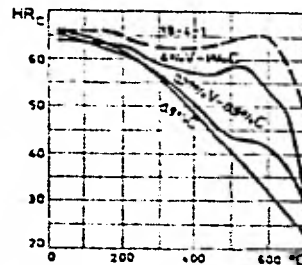


Figura 81 : Sobreendurecimiento en función del tiempo para varias temperaturas; revenido isotérmico de acero 0.35 C - 5 Mo templado

Vanadio, elemento aún más carburizante que el Mo, proporciona, en contenidos análogos, aún más resistencia al ablandamiento por revenido. Eso aparece en la figura 80, en la cual el efecto de 0.27% V ya se ve claramente cerca de 550°C. Desde luego, para llegar a dicho efecto, es preciso que el elemento vanadio se disuelva durante el tratamiento de austenitización que antecede al templeado. La figura 80 muestra además la influencia de 6% V y, para comparación, la curva de revenido del acero clásico 18-4-1 para herramienta de corte rápido, (18% W, 4% Cr, 1% V).

Los elementos formando carburos y llevando una templeabilidad profunda, no retienen tanta austenita residual y provocan un endurecimiento secundario, el cual aumenta conforme lo hace el carácter carburizante de los elementos de aleación, como aparece en la comparación de la influencia del Cr y del Mo (Fig. 77-78).

Se observa que el Mo, teniendo más fuerza de carburización que el Cr, no sólo es más efectivo que el Cr, sino que además provoca un endurecimiento secundario a temperaturas superiores, lo que es muy importante para varias aplicaciones.

El efecto simultáneo de Mo y Cr es bastante extraño (Fig. 79): aceros al Cr-Mo, con aproximadamente 4% de Cr, conservan parcialmente su dureza y una resistencia excepcional, casi en proporción con el contenido en Mo, y eso en una zona de temperatura hasta + 500°C.

Mecanismo del endurecimiento secundario.

El pequeño átomo de carbono puede difundir rápidamente a temperaturas cerca de 350°C, temperatura a la cual la dureza de un acero eutectoide templeado disminuye de 10 a 15 Rockwell C en unas horas. Tal ablandamiento es la consecuencia de la formación y del crecimiento de partículas de Fe_3C , necesitando solamente una difusión de C por distancias relativamente pequeñas. Durante el crecimiento de de-

terminadas partículas hasta dimensiones todavía debajo de la posible observación con microscopio óptico desaparecen otras partículas irreversiblemente. Ese proceso sigue con el aumento de la temperatura de revenido, para llegar finalmente al estado de recocido de suavización, con una estructura de matriz ferrítica con partículas más o menos globulares de cementita en número reducido pero de tamaño en comparación con el estado a 350°C.

En presencia de una concentración suficiente de elementos de aleación formando carburos se reduce mucho el ablandamiento por revenido e incluso puede ocurrir un endurecimiento. Sin embargo, a mayor temperatura ocurre finalmente un ablandamiento considerable. Se trata aquí sin duda de un fenómeno complejo de endurecimiento por precipitación, provocado por la dispersión crítica de las partículas de carburo de los elementos de aleación carburizantes. La difusión por corta distancia de esos elementos sólo empieza cerca de 500°C y su difusión es necesaria para la formación de las partículas de carburos. Esa descripción del fenómeno explica también porqué es necesario que los elementos estén casi totalmente disueltos en la matriz austenítica, antes de que puedan provocar un endurecimiento por dispersión. Por otro lado se puede constatar que, como para cada proceso de endurecimiento por dispersión, ambos factores temperatura y tiempo tienen una importante influencia recíproca. Desde determinadas temperaturas, en función del tipo de aleación, un envejecimiento con duración exagerada y alta temperatura provoca finalmente un sobre envejecimiento. La Fig. 81 muestra que el sobre envejecimiento, o sea el comienzo del ablandamiento final, es alcanzado después de unos minutos a 650°C, de unas horas a 550°C y tal vez nunca a 450°C, caso en el cual el máximo endurecimiento secundario sólo aparece después de 1000 horas. Tales aceros tienen entonces una buena resistencia a la termofluencia a temperaturas debajo de la del sobre envejecimiento para el periodo de tiempo considerado.

6.1.5 Aceros aleados para herramienta.

Las múltiples exigencias impuestas a los diversos materiales de herramientas utilizados en la técnica, justifican la existencia de tantas variedades de aceros aleados de herramientas.

Entre las exigencias principales que a menudo no pueden ser formuladas muy exactamente, hay que considerar:

- la dureza: punzones, limas, bolas de cojinete, etc.
- el poder cortante normal y en caliente: cinceles, buriles, fresas, etc.
- la resistencia al choque: cinceles neumáticos, . . .
- la resistencia al calor: formas de forja, . . .
- la resistencia a la fatiga: brocas de mina, . . .

Desde luego, para cada herramienta se ponen varias exigencias simultáneamente: por ejemplo, para brocas de minas, además de la resistencia a la fatiga, se requieren dureza y resistencia al desgaste.

Un acero de herramientas clásico, no aleado, con 0.8%-1% C, no puede cumplir con todas esas exigencias por las razones siguientes:

1. La templabilidad es insuficiente.

Los aceros de herramientas no tienen que ser de templabilidad profunda, pero para la mayoría de las aplicaciones, una profundidad de templado de 2 a 3 mm. como ocurre en los aceros de herramientas no aleados, no es suficiente en absoluto. Se puede modificar fácilmente ese comportamiento, como ya se explicó anteriormente: basta añadir un elemento con fuerte tendencia a la formación de carburos, para obtener más templabilidad y además reducir la sensibilidad al crecimiento de grano de la austenita. Otra posibilidad es la utilización del elemento de aleación menos carburizante Mn en concentraciones de 1.5 a 2%. Este método ofrece la ventaja de una temperatura de templado más baja (influencia del manganeso sobre A_{r1}) con la posibilidad de templar en aceite, lo cual puede reducir mucho las tensiones residuales y las deformaciones que pueden dar lugar a la formación de grietas. La aleación con manganeso se utiliza sobre todo en herramientas con precisión como calibres, matrices, etc. A veces esta variedad de acero se denomina "acero indeformable", por que presenta poca de formación al ser templado.

2. La pérdida de dureza en el revenido es bastante grande.

Esto significa por lo tanto que la curva de revenido es demasiado escarpada. El remedio es sencillo: se añaden los elementos muy carburizantes Cr, W, V, . . .

Este método se utiliza para herramientas trabajando a alta temperatura, como matrices calientes o para herramientas que se calientan durante su utilización, como herramientas de corte. En esta categoría, los aceros rápidos representan el límite superior de resistencia a la pérdida de dureza por revenido hasta 600°C.

3. La tenacidad es insuficiente.

Este es el caso para un acero al carbono, no aleado y templado, o sea para la dureza martensítica máxima. El método para remediar esto es evidente: reducir el contenido en carbono y llegar a la dureza necesaria con elementos de aleación. Además de Cr, Mo, W como elementos formadores de carburos, se añade Si en aceros de herramientas para proporcionar resistencia al choque.

4. La resistencia al desgaste es insuficiente.

Algunos carburos especiales como los de W y Cr tienen una resistencia al desgaste mucho mejor que la cementita, sobre todo en el caso de abrasión seca. Para obtener una buena resistencia a la abrasión, hay que formar una matriz dura con partículas de carburo resistente al desgaste añadiendo Cr y/o W hasta 5% y regulando el contenido en carbono.

Las observaciones realizadas del 1 al 4 dan una idea clara de la importancia de los elementos de aleación. Sin embargo, esas observaciones representan sólo unas directrices generales y es fácil imaginarse que son necesarias muchas combinaciones para cumplir con las diferentes exigencias de uso, que además son muchas veces con

trarias, de modo que casi siempre hay que buscar la combinación ideal que satisfaga a todas de la mejor manera posible en forma simultánea. Cada casa comercial importante de acero aleado produce más de cien variedades diferentes, pero pueden ser clasificadas en 8 ó 10 grupos principales. Se dá enseguida para cada grupo principal y algunos subgrupos la composición típica. Cerca de cada composición se agrupan varios aceros de herramientas aleados con composiciones ligeramente diferentes, para cumplir con exigencias especiales.

Desde luego, sería posible limitar el número de aceros aleados de herramientas, pero el número de combinaciones posibles de varios elementos de aleación en concentraciones diferentes que llevan a propiedades análogas o aún idénticas es tan grande, que no es sorprendente que varios productores utilicen aleaciones diferentes para el mismo propósito.

La clasificación en grupos principales puede hacerse en base al medio de enfriamiento adecuado: templado en agua, en aceite o en aire, o, como en la clasificación que aquí se hace en base a su aplicación: aceros para herramientas trabajando en frío o en caliente.

6.1.5.1 Aceros para herramientas trabajando en frío.

Grupo 1 : Aceros al manganeso (llamados aceros indeformables).

Composición típica : C 0.8-Mn 2-Qvt.: Cr,W
Suavización : 750-775°C
Templado : 750°C en aceite, hasta 800°C (Cr)
Revenido : 150-200°C ($R_c=61$)
Aplicaciones típicas : Calibres, matrices de precisión,...

Grupo 2 : Aceros al cromo (resistencia al desgaste)

Subgrupo 2a

Composición típica : C 1 - Cr 1.5.
Suavización : 720 - 740°C.
Templado : 830°C en aceite; 800°C en agua.
Revenido : 220°C ($R_c = 65$).

Aplicaciones típicas : Aplicación muy amplia para corte de metal; además, debido a su buena resistencia al desgaste, en herramientas para el corte de papel, cartón y hule. Además para bolas de cojinetes y para brocas de mina. Para la última aplicación el revenido es a 40-55 R_C.

Subgrupo 2b

Composición típica : C 1.5-Cr 1.2.
Suavización : 750°C
Templado : 850°C en aceite.
Revenido : 220-250°C.
Aplicaciones típicas : Cuchillos para el corte de papel, cartón, corcho, hule y madera.

Subgrupo 2c

Composición típica : C2-Cr 12, evt.: Mo, V,W,Ni Co.
Suavización : 850-900°C.
Templado : 950-1050°C al aire (R_C = 66)
Revenido : 200°C mínimo y lo más alto posible según la aplicación.
Aplicaciones típicas : Punzones, tijeras de metal, cilindros pequeños de laminadora, formas para cerámica (fácil de pulir y buena resistencia a la oxidación); además para herramientas trabajando hasta 300°C.

Grupo 3 : Aceros al Cr-W (poder de corte y resistencia al desgaste).

Composición típica : C1-W 1.5-Cr 1-evt.: Mo, V.
Suavización : 750°C
Templado : 780-800°C en agua
Revenido : 220-300°C según el tipo de herramienta.

Aplicaciones típicas : Se usa mucho para barras calibradas (acero STUB), para la fabricación de varias herramientas como brocas, buriles especiales, espigas, . . .

Grupo 4 : Aceros al Cr-W (para herramientas trabajando en choque).

Composición típica : C 0.45-Cr 1-W 2-Si 0.8
Suavización : 800°C
Templado : 820-850°C en agua.
Revenido : 220-300°C
Aplicaciones típicas : Debido a la buena resistencia al choque ($C=0.35-0.45\%$) variedad típica de acero para buriles neumáticos.

6.1.5.2 Aceros para herramientas trabajando en caliente.

Grupo 5 : Aceros al Cr, Ni, Mo (para corte en caliente).

Composición típica : C 0.6-Cr 0.5-Ni 1.5-Mo 0.3
Ablandamiento : 750°C
Templado : 850°C en aceite.
Revenido : 450°C enfriamiento en aire.
($\sigma_R=120 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_{0.2}=110 \text{ kg/mm}^2$, $A=8\%$).
Aplicaciones típicas : Bloques matriz para corte en caliente de acero duro y también de aluminio.

Grupo 6 : Aceros al Cr-W (herramientas trabajando en caliente).

Composición típica : C 0.4-Cr 3-W 3.5-Mo 0.4-Mn 0.4
Si 0.8
Ablandamiento : 750°C
Templado : 1000°C en aceite.
Revenido : 400-500°C ($\sigma_R=140-130 \text{ kg/mm}^2$)
Aplicaciones típicas : Punzones y matrices para el forjado en caliente de tuercas y pernos; formas para colado a presión de aluminio.

Grupo 7 : Aceros al W (herramientas trabajando en caliente).

Composición típica : C 0.3-W 9-Cr 3- evt.: V, Mo, N, Co.
Ablandamiento : 800°C.
Templado : 1050-1200°C ($R=170 \text{ kg/mm}^2$).
Revenido : Poco arriba de la temperatura de trabajo de la herramienta.
Aplicaciones típicas : Matrices para el forjado en caliente de pernos, remaches.

Grupo 8 : Aceros rápidos.

Poco después de su descubrimiento en 1898 por F.W.Taylor y M. White, los aceros rápidos provocaron una revolución en los talleres mecánicos, ya que con esos aceros de herramientas excepcionales, se volvió posible maquinar metales a velocidades muy superiores a las anteriores, debido a que dichos aceros conservan su poder cortante aún cuando la superficie de corte se calienta por la fricción a temperaturas de 500 y aún hasta de 600°C. Sin embargo, las máquinas no estaban construidas para trabajar a alta velocidad, de modo que tuvieron que ser cambiadas. En el desarrollo siguiente, a veces se adelantaron más las nuevas máquinas, a veces los aceros rápidos. Ahora los aceros rápidos están superados por los metales duros sinterizados compuestos de partículas de carburo de tungsteno en una matriz de cobalto. Se producen por sinterización, después de la compresión a elevada presión de una mezcla apropiada de polvo de carburo de tungsteno y polvo de cobalto. Sin embargo, los aceros rápidos tienen aplicaciones importantes todavía.

Para que un acero rápido conserve su dureza en un calentamiento hasta 500-600°C, es preciso que satisfaga a dos condiciones principales:

- 1.- El acero tiene que ser aleado con una cantidad suficiente de los elementos W, Cr, Mo y Co.
- 2.- La austenitización tiene que hacerse a temperaturas muy altas (casi en la temperatura de principio de fundición), para disolver el alto contenido de los elementos de aleación (presentes en forma de carburos) en la

austenita. Esta es la condición para obtener suficiente endurecimiento secundario durante el revenido a 500-600°C.

Los catálogos de las fábricas de aceros especiales indican de 40 a 50 composiciones diferentes de aceros rápidos, clasificados en subgrupos que reciben nombre según un elemento que no necesariamente es el elemento principal, ya que el principal es siempre el tungsteno. Así, existen aceros rápidos al W, al Co, al V, al Mo y al W-Mo. Sin embargo, siempre hay Cr y el grupo -e aceros rápidos se representa a menudo por la fórmula general: 18-4-1 (18% W-4% Cr- 1% V).

La estructura de los aceros rápidos es bastante sencilla: en el estado suavizado, la aleación se compone de una matriz ferrítica con una dispersión de carburos más o menos esferoidizados; en este estado, el acero rápido tiene mucha semejanza con los aceros de herramientas aleados o no aleados en su estado suavizado. Sin embargo, la semejanza no es completa: los aceros rápidos son aceros ledeburíticos, y los carburos ledeburíticos que nunca pueden disolverse totalmente y que se rompen y distribuyen más o menos durante el forjado, son entonces siempre más gruesos y de forma menos redonda. Los mismos carburos no se disuelven durante el calentamiento a cerca de 1300°C que precede al templado, de modo que aparecen también en la estructura del acero templado.

Algunas composiciones típicas de aceros rápidos se dan en la tabla siguiente, en la que se encuentran clasificados en grupos.

Como se puede observar en esta tabla, las temperaturas de austenitización son muy altas. Es absolutamente necesario llegar a esas temperaturas, porque de lo contrario el material no adquiriría las propiedades requeridas y sería por demás inútil utilizar un acero de alta aleación excesivamente costoso.

Desde luego, debe elegirse cuidadosamente el tipo de acero según la aplicación que vaya a dársele. Una fresa con forma complicada por ejemplo, no puede ser calentada a temperatura demasiado alta debido

al peligro de la deformación: entonces no se puede elegir una aleación que tiene que ser austenitizada a una temperatura cercana al punto de plasticidad.

El endurecimiento mismo, o sea el templado del acero rápido, se hace siempre en aceite, en correinte de aire o aún en aire tranquilo, atendiendo a la forma más o menos complicada de la herramienta en cuestión. Un enfriamiento rápido de un objeto de forma complicada (transiciones bruscas y diferencias importantes de la solidez) provocan gradientes de temperaturas importantes y por consiguiente tensiones inevitables, a menudo deformaciones no tolerables y aún grietas de templado.

El revenido tiene que hacerse a las temperaturas relativamente altas de la table, para obtener el efecto del endurecimiento secundario.

Aplicaciones: herramientas para el corte de metales: buriles, cinceles, fresas, brocas.

6.2 Herramienta de metal duro.

6.2.1. Notas históricas.

Hacia 1900, el empleo del acero rápido demostró que la presencia de los carburos de tungsteno le permitía soportar mayores temperaturas con menores desgastes que los aceros al carbono, a pesar de que dichos carburos disminuyen su forjabilidad y aumentan, en consecuencia, su fragilidad.

En 1907 apareció la Stellite, con 50% de carburos. Es un acero de origen americano, de material quebradizo, que carece de propiedades de forjabilidad pero que tiene una mayor resistencia al desgaste y que permite alcanzar mayores velocidades de corte. Pese a ello, no consiguió relegar al acero rápido en la fabricación de herramientas, de forma idéntica a como lo había hecho este último con el acero al carbono; por el contrario, la primera guerra mundial permitió confirmar la valía del acero rápido en cuanto a velocidades de corte y rapidez de fabricación se refiere.

Hacia 1923, la Sociedad berlinesa Osram llevaba a cabo en sus laboratorios los experimentos destinados a obtener un material para construir las hileras de trefilar los filamentos de las lámparas eléctricas, capaz de resistir los efectos del desgaste por frotamiento. Investigando en el grupo químico de los carburos de tungsteno, titanio y cobalto, se dio con un material de extraordinaria dureza y, a la vez, muy frágil, que algunos años después la casa Fried, Krupp A. G., de Essen, presentaba en la Feria de Leipzig como un nuevo material para la construcción de herramientas con el nombre de Widia, fabricado con licencia Osram. La palabra Widia está compuesta de dos voces germánicas: Wie (como) y diamant (diamante).

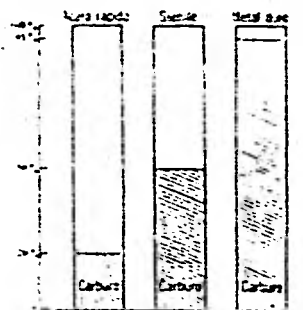


Figura 82 : Porcentajes de carburo en diferentes materiales para herramienta

6.2.2 Descripción.

En este material, la cantidad de carburos es del orden de 90 a 95% (fig.82). Su estructura queda reforzada por el porcentaje de cobalto, que puede oscilar entre el 5 y 10% y que forma parte, con el tungsteno, de la estructura intercrystalina. Su dureza se halla entre el corindón y el diamante. Los agentes que aportan esta dureza son los carburos de tungsteno y de titanio, agregándose este último al metal duro destinado al mecanizado de materiales de viruta larga. También

contribuyen a su gran dureza el pequeño volumen atómico del carbono de los carburos, además de su ligazón, parecida al diamante.

La dureza del metal duro lo hace muy resistente al desgaste a elevadas temperaturas, como puede apreciarse en la figura 83.

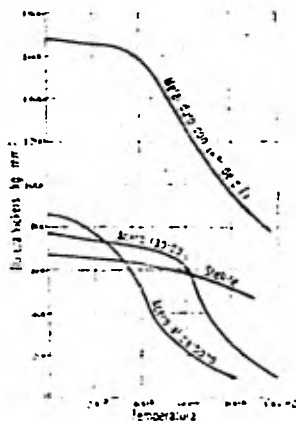


Figura 83 : Variación de la dureza con la temperatura para varios materiales de herramienta

6.2.3 Proceso de fabricación.

Los metales duros se fabrican según un método muy diferente del empleado para obtener los demás aceros de corte. Dicho método se llama de la polvometalurgia, conocido en un principio por fritado, y actualmente, por sinterizado.

Las materias primas son: tungsteno en polvo o sus combinaciones oxídicas; cobalto en polvo o sus óxidos, y óxido de titanio. El óxido de tungsteno y el óxido de cobalto son reducidos a sus metales por una corriente de hidrógeno, mientras que el óxido de titanio se transforma en carburo del mismo nombre por reducción con carbono sólido.

A continuación, el tungsteno metálico se mezcla con el carbono en polvo y se transforma en carburo de tungsteno a una temperatura de 1200° a 1500°C.

Los carburos de tungsteno y de titanio, (actualmente se utilizan también carburos de tantalio y de vanadio) se mezclan con polvo de cobalto en cierta proporción de acuerdo con la subdivisión de calidades, moliéndose el todo en molino de bolas hasta obtener un polvo finísimo. Este polvo es moldeado y prensado en prensas hidráulicas, dándole la forma de la plaquita deseada. Para poder mecanizar dichas plaquitas hay que darles cierta consistencia, que se logra sometiéndolas a un tratamiento térmico previo, a 800° ó 1000°C, en un horno especial.

El cuerpo así obtenido aguantará los procesos de elaboración mecánica, como son esmerilar y cortar.

Cuando se da forma a las plaquitas se tiene en cuenta la contracción aproximada del 25% que sufrirán al efectuar el sinterizado final, la cual se produce a 1350° ó 1650°C.

Las plaquitas así obtenidas se someten a varias operaciones de verificación antes de ser entregadas para la venta.

5.2.4 Consideraciones preliminares.

El metal duro permite alcanzar grandes velocidades de corte y atacar materiales de mayor dureza que el acero rápido, siempre que se aplique con arreglo al objetivo perseguido; pero es causa de fracasos cuando se procede sin cautela, sin un análisis previo de las condiciones particulares en cada caso, como, por ejemplo, al trabajar piezas no apropiadas, o bien emplear máquinas útiles poco adecuadas o anticuadas.

Por tanto, debe considerarse primero, si las piezas pueden ser trabajadas económicamente con metal duro, y luego, si la máquina tiene potencia suficiente para soportar el esfuerzo de corte producido, porque, como se verá más adelante, se presentan casos en que resulta más económico utilizar el acero rápido.

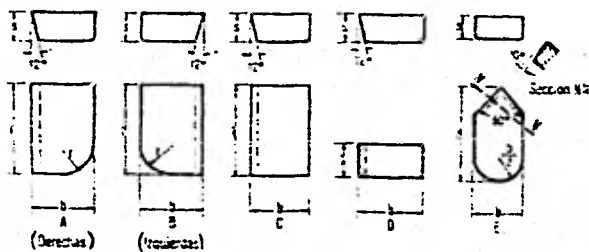
6.2.5. Dimensiones de las plaquitas.

La herramienta consta de tres partes: mango, la plaquita y un medio de fijación (soldadura o brida).

La fabricación de las plaquitas está normalizada, y la norma más antigua (año 1941), cuyo símbolo es DIN-E 4966 (tabla 6.1), ha sido la más usada hasta la fecha por casi todos los países, aunque hoy se tiende a abandonarla.

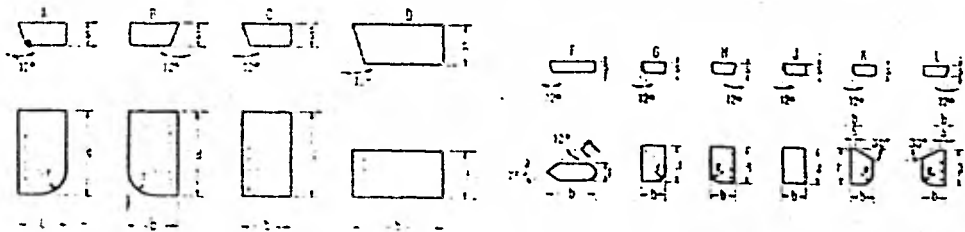
Para economizar el tungsteno se redujeron las dimensiones de las plaquitas, y en 1943 apareció la norma DIN 4966, representada en la tabla 6.2; pero la experiencia vino a demostrar que dicha norma no era la más acertada. En consecuencia, en 1952, y a propuesta de Alemania, el grupo de trabajo 9, en el seno de la Comisión ISO-TC 29 (ISO = International Standard Organization), elaboró un proyecto de normalización de plaquitas que fue aprobado en 1955, en sesión plenaria, con la asistencia de más de treinta países. Esta normalización conocida por Norma ISO, ha recibido el número DIN 4950 de la Comisión Alemana de Normas (tabla 6.3), y se caracteriza por un mayor espesor de las plaquitas, que les permite absorber mejor las tensiones de soldadura y los esfuerzos de corte.

Además, los fabricantes lanzan al mercado otros tamaños y tipos que la experiencia les aconseja fabricar, cuya diversidad se irá restringiendo, ya que hoy se puede obtener cualquier forma gracias a la electroerosión, basada en la acción de descargas eléctricas polarizadas a alta frecuencia, que provocan el arranque local de material, en el orden de fracciones de micra, lo cual permitirá fabricar herramientas de forma diversa en metal duro, a medida que se vaya perfeccionando el procedimiento.



Formas A y B				Forma C		Forma D		Forma E				
l	s	r	Sección de los mangos	s	r	Sección de los mangos	b	r	Sección de los mangos			
1							6	3	10 x 16			
5							8	4	12 x 20			
6							10	5	16 x 25			
8	5	3	3 10 x 10	5	3	10 x 10	12	6	20 x 32	4	3	10 x 10
10	6	4	3 12 x 12 10 x 16	6	4	12 x 12 10 x 16	16	8	25 x 40	5	3	12 x 12 10 x 16
12	8	4	4 16 x 16 12 x 20	8	4	16 x 16 12 x 20	20	10	32 x 50	6	3	16 x 16 12 x 20
16	10	5	4 20 x 20 16 x 25	10	5	20 x 20 16 x 25	25	12	40 x 63	8	4	20 x 20 16 x 25
20	12	6	8 25 x 25 20 x 32	12	6	25 x 25 20 x 32				10	5	25 x 25 20 x 32
25	16	8	8 32 x 32 25 x 40	16	8	32 x 32 25 x 40				12	6	32 x 32 25 x 40
32	20	10	10 40 x 40 32 x 50	20	10	40 x 40 32 x 50				16	8	40 x 40 32 x 50
40	25	12	10 50 x 50 40 x 63	25	12	50 x 50 40 x 63						
50	32	16	12 63 x 63 50 x 80	32	16	63 x 63 50 x 80						

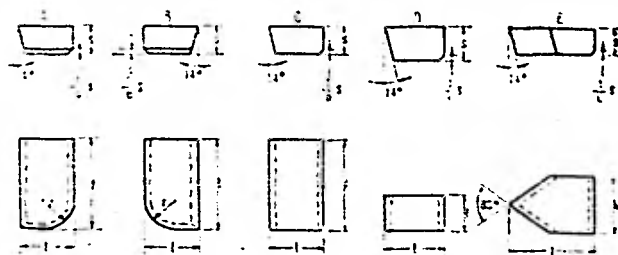
Tabla 6.1. Plaquetas según norma DIN-E 4966 y secciones de los mangos de las herramientas



Formas A y B				Forma C			Forma D			Forma E			Formas G y H				Forma J			Formas K y L			
l	k	s	r	l	b	s	l	b	s	l	b	s	r	l	k	s	r	l	b	s	r		
20	12	6	8	20	12	6	3	7	2	1	12	2	6	1	2	2	6	1	2	8	1	2	3
25	11	7	8	25	11	7	4	8	3	3	14	2,5	8	3	2	2	8	3	2	10	3	2,5	3
32	16	8	10	32	16	8	5	10	4	6	16	3	10	6	2,5	4	10	6	2,5	12	6	3	4
40	18	10	10	40	18	10	6	12	5	8	18	4	12	8	3	5	12	8	3	16	8	4	5
50	20	12	12	50	20	12	8	14	6	10	20	5	16	10	4	6	16	10	4	20	10	5	6
							10	17	8	12	25												
							12	20	10														

Tabla 6.2. Izquierda : Plaquetas para corte pesado
DIN 4966-1

Derecha : Plaquetas para corte liviano
DIN 4966-2



Dimensiones, en milímetros

t	A-B-C			D		E	
	t	s	r	t	s	t	s
3				8	3		
4				10	4	10	2,5
5	3	2	2	12	5	12	3
6	4	2,5	2,5	14	6	14	3,5
8	5	3	3	16	8	16	4
10	6	4	4	18	10	18	5
12	8	5	5	20	12	20	6
16	10	6	6			22	7
20	12	7	7			25	8
25	14	8	8			28	9
32	18	10	10			32	10
40	22	12	12				
50	25	14	14				

Todas las dimensiones son medidas mínimas, y en lugar del bisel de 45° pueden emplearse redondeados, así como matarse las restantes aristas. Las plaquitas de espesor inferior a 4 mm serán sin bisel redondeado y carecerán del ángulo de 14° .

Tabla 6.3. Plaquetas según DIN 4950

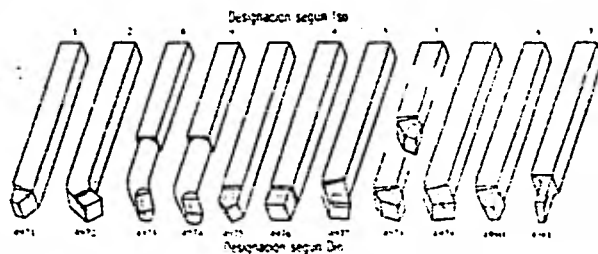


Figura 84

6.2.6 Mangos o soportes.

Las plaquitas van soldadas a unos mangos o soportes, definidos por las normas DIN e ISO, como puede verse en la figura 84, y las secciones de los mismos normalizados por el DIN 770 (tabla 6.4), han sido definitivamente revisados por ISO, habiendo quedado aceptada en su nueva normalización en abril de 1958. En las tablas 6.5 a 6.15 se han representado los diferentes tipos de herramientas donde se ha intentado fundir la normalización DIN con la ISO. En dichas tablas están indicadas las tres series de plaquitas correspondientes a las normas DIN-E 4966, DIN 4956 y DIN 4950.

6.2.7 Calidades.

Para mecanizar los diferentes materiales se han creado diversas calidades de metal duro, llamadas también grados. Se distinguen entre sí por su composición química, que se traduce prácticamente de un grado al otro por variaciones de su tenacidad y de su resistencia al desgaste (dureza). Resulta difícil distinguirlas, pues sólo queda el recurso de comprobar sus respectivas durezas y pesos específicos (tabla 6.16). Para no confundirlas, se les ha dado a cada una un símbolo

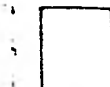
Sección de los mangos redondos



Sección de los mangos cuadrados



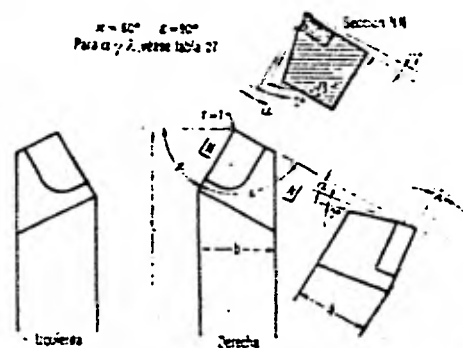
Sección de los mangos rectangulares



d	a	Relación b : h		
		< 1 : 1,6	≈ 1 : 2	≈ 1 : 4
1	1	1 × 6	4 × 8	1 × 16
5	5	5 × 8	5 × 10	5 × 20
6	6	6 × 10	6 × 12	6 × 25
8	8	8 × 12	8 × 16	8 × 32
10	10	10 × 16	10 × 20	10 × 40
12	12	12 × 20	12 × 25	12 × 50
(14)	(14)			
16	16	16 × 25	16 × 32	16 × 63
(18)	(18)			
20	20	20 × 32	20 × 40	20 × 80
25	25	25 × 40	25 × 50	25 × 100
32	32	32 × 50	32 × 63	
40	40	40 × 63	40 × 80	
50	50	50 × 80	50 × 100	
63	63			
80	80			

Notas : Se recomiendan los valores del recuadro.
 Los valores en negritas son preferidos.
 Los valores entre paréntesis se deben evitar.

Tabla 6.4. Dimensiones normalizadas de las secciones de mangos según DIN 770



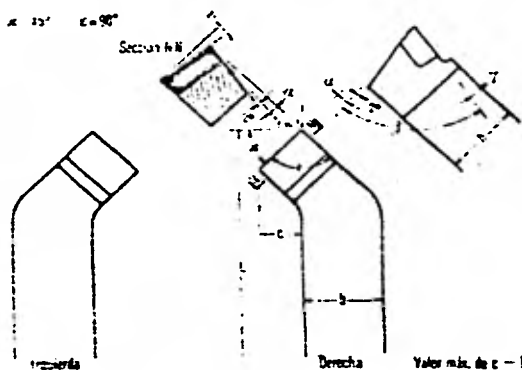
La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0,1 de su espesor, desde A 10 (B 10)

Dimensiones, en milímetros

Cua- drado	Rectangular				Tipos de plaquitas			
	a	b	c	L	DIN 4950 1943 (1941)		DIN 4950	
					Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
				90	G 8 (A 8)	H 8 (B 8)	A 8	B 8
12	10	16	100	G 10 (A 10)	H 10 (B 10)	A 10	B 10	
16	12	20	110	G 12 (A 12)	H 12 (B 12)	A 12	B 12	
20	16	25	125	G 16 (A 16)	H 16 (B 16)	A 16	B 16	
25	20	32	140	A 20 (A 20)	H 20 (B 20)	A 20	B 20	
32	25	40	170	A 25 (A 25)	H 25 (B 25)	A 25	B 25	
40	32	50	200	A 32 (A 32)	H 32 (B 32)	A 32	B 32	
50	40	63	240	A 40 (A 40)	H 40 (B 40)	A 40	B 40	
63			280	A 50 (A 50)	H 50 (B 50)	A 50	B 50	

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.5. Herramienta de desbaste, tipo recto
DIN 4971, ISO 1



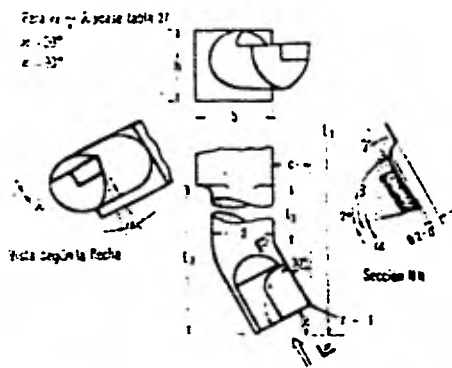
La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0,6 de su espesor, desde C 12

Dimensiones, en milímetros.

Circunferencia	Rectangular		Tipos de plaquitas					
			DIN 1966 1943 (1911)		DIN 1350			
			Derecha		Izquierda			
h	a	b	h	L	J 8 (C 8)	J 8 (C 8)	C 8	C 8
10			90	J 8 (C 8)	J 8 (C 8)	C 8	C 8	
12	10	16	100	J 10 (C 10)	J 10 (C 10)	C 10	C 10	
16	12	20	110	J 12 (C 12)	J 12 (C 12)	C 12	C 12	
20	16	25	125	J 16 (C 16)	J 16 (C 16)	C 16	C 16	
25	20	32	140	C 20 (C 20)	C 20 (C 20)	C 20	C 20	
32	25	40	170	C 25 (C 25)	C 25 (C 25)	C 25	C 25	
40	32	50	200	C 32 (C 32)	C 32 (C 32)	C 32	C 32	
50	40	63	240	C 40 (C 40)	C 40 (C 40)	C 40	C 40	
63			280	C 50 (C 50)	C 50 (C 50)	C 50	C 50	

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.6. Herramienta de desbaste. Tipo acodado
DIN 4972, ISO 2



La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0,1 de su espesor, desde A 12

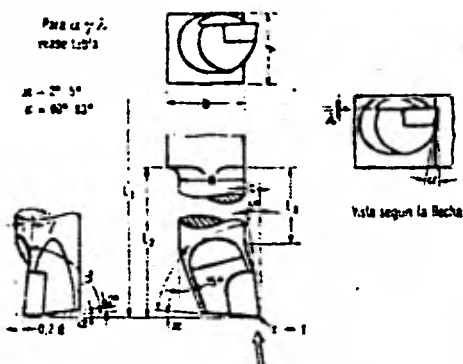
Dimensiones, en milímetros

b x h	Cavidad				Herramienta				Tipos de plaquita		
	L ₁	L ₂	L ₃	d (1)	r	d	L ₁	DIN 4966			
								1941	1943	1946	
8	125	40			3	8	125				A 5
10	150	50	20	8	4	10	150		G 6		A 6
12	180	63	25	10	5	12	180	A 8	G 8		A 8
16	210	80	32	12	6	16	210	A 10	G 10		A 10
20	250	100	50	16	8	20	250	A 12	G 12		A 12
25	300	110	70	20	10	25	300	A 16	G 16		A 16
32	355	125		25	12	32	355	A 20	A 20		A 20

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

(1) En la norma ISO, d = b = h.

Tabla 6.7. Herramienta de mandrilar agujeros pasantes
 DIN 4973, ISO 8



La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0.4 de su espesor, desde A 12

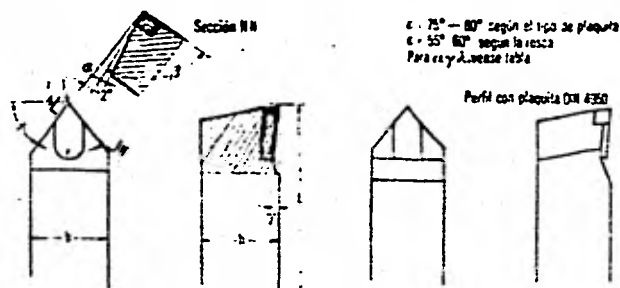
Dimensiones en milímetros

b - h	Cuadradas				Redondas			Tipos de plaquitas		
	l ₁	l ₂	l ₃	d (°)	c mm	d	l ₁	DIN 4964		DIN 4974
								1941	1943	1954
8	125	40			3	8	125			A 8
10	150	50	12	8	4	10	150		G 6	A 6
12	180	63	16	10	5	12	180	A 8	G 8	A 8
16	210	80	20	12	6	16	210	A 10	G 10	A 10
20	260	100	40	16	8	20	260	A 12	G 12	A 12
25	300	110	50	20	10	25	300	A 16	G 16	A 16
32	355	125		25	12	32	355	A 20	G 20	A 20

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

(1) En la norma ISO, $d = b = h$.

Tabla 6.8. Herramienta de mandrilar agujeros ciegos
DIN 4974, ISO 9



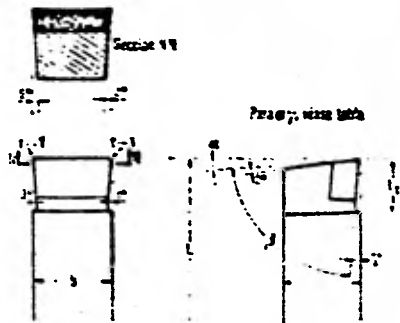
A partir del tipo E 20 se permite insertar 0.4 del espesor de plaquita. No está incluida en la normalización ISO 1958.

Dimensiones en milímetros

Cuadrado		Rectángulo		J.	Tipos de plaquitas		
A = a	a	b	b		DIN-E 1966 1911	DIN 1966 1913	DIN 1958 1958
10				100		F 1	
12	10	16		110	E 10	F 5	E 5
16	12	20		125	E 12	F 6	E 6
20	16	25		140	E 16	F 8	E 8
25	20	32		170	E 20	F 10	E 10
32	25	40		210	E 25	F 12	E 12
40				240	E 32		

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.9. Herramienta de alisar recta, o de roscar
DIN 4975



La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0.4 de su espesor, desde C 16

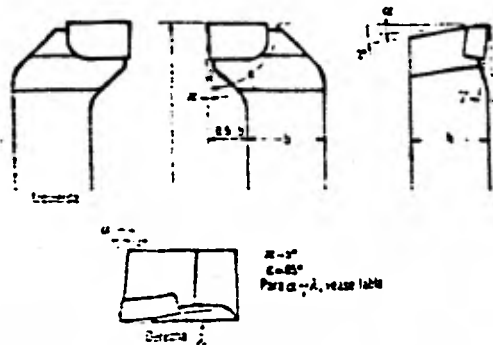
Dimensiones en milímetros

Cuadrada		Rectangular				Tipos de plaquitas		
a	b	h	a	L	L ₁	DIN 4976		DIN 4976
						1941	1943	1953
10				90	10	C 10	J 10	C 10
12	12	20		125	12	C 12	J 12	C 12
16	16	25		160	16	C 16	J 16	C 16
20	20	32		170	20	C 20	C 20	C 20
25	25	40		200	25	C 25	C 25	C 25
32	32	50		240	32	C 32	C 32	C 32
40	40	63		280	40	C 40	C 40	C 40
50				315	50	C 50	C 50	C 50

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.10. Herramienta de torneado frontalmente
DIN 4976, ISO 4

Tipo creado por ISO para sustituir al DIN 4979



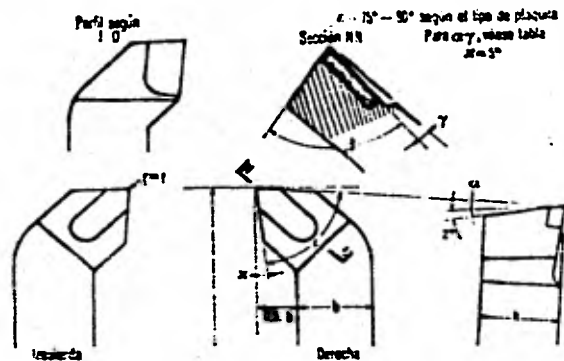
La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0.4 de su espesor, desde A 16 (B 16)

Dimensiones en milímetros

Construcción	Rectangular			Tipos de plaquitas	
	b - a	a	b	DIN 4979	
				Derecha	Izquierda
16			110	A 12	B 12
20			125	A 16	B 16
25			140	A 20	B 20
32			170	A 25	B 25
40			200	A 32	B 32
50			240	A 40	B 40

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.11. Herramienta frontal acodada
DIN 4977, ISO 5



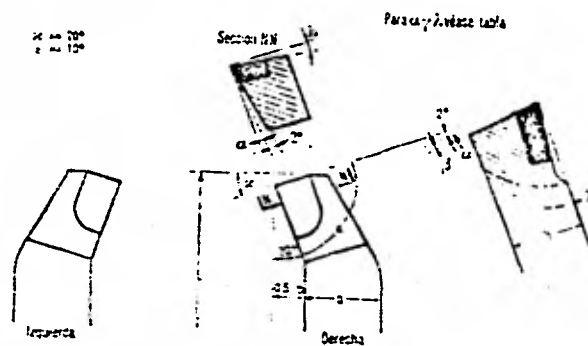
La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0.4 de su espesor, desde A 12 (B 12)

Dimensiones en milímetros

Características		Rectangular		Tipos de plaquitas			
A	B	A	L	DIN 4966 1943 (1941)		DIN 4978	
				Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
10	10	16	110	F 4 (E 8)	F 1 (E 8)	A 8	B 8
12	12	20	125	F 5 (E 10)	F 5 (E 10)	A 10	B 10
16	16	25	140	F 6 (E 12)	F 6 (E 12)	A 12	B 12
20	20	32	170	F 8 (E 16)	F 8 (E 16)	A 16	B 16
25	25	40	200	F 10 (E 20)	F 10 (E 20)	A 20	B 20
32	32	50	240	F 12 (E 25)	F 12 (E 25)	A 25	B 25
40			280	(E 32)	(E 32)		

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.12. Herramienta para alisar, tipo acodado
DIN 4978, ISO 3

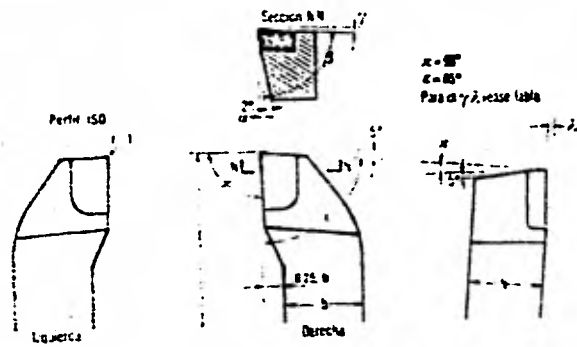


No está prevista en la normalización ISO, año 1958

Dimensiones en milímetros

Cua- drado	Rectangular		L	Tipos de plaquitas			
				DIN 4966 (1941)		DIN 4966 (1943)	
				Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
10			90	A 8	B 8	G 8	H 8
12	10	16	100	A 10	B 10	G 10	H 10
16	12	20	110	A 12	B 12	G 12	H 12
20	16	25	125	A 16	B 16	G 16	H 16
25	20	32	140	A 20	B 20	A 20	H 20
32	25	40	170	A 25	B 25	A 25	H 25

Tabla 6.13. Herramienta de refrentar, tipo acodado
DIN 4979



La profundidad mínima de alojamiento de la plaquita puede ser de 0.4 de su espesor, desde A 16 (B 16)

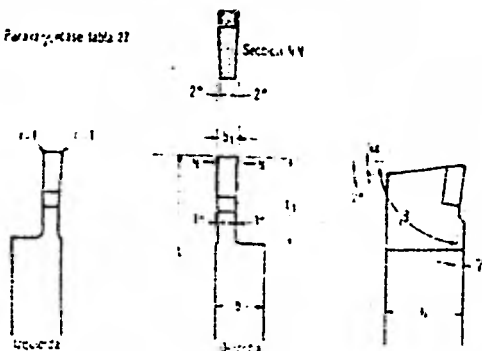
Dimensiones en milímetros

Cala- brado	Rectangular			Tipos de plaquetas			
	h	b	h	DIN 4966 1913 (1911)		DIN 4954	
				Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
10			90	G 8 (A 8)	H 8 (B 8)	A 8	B 8
12	10	16	100	G 10 (A 10)	H 10 (B 10)	A 10	B 10
16	12	20	110	G 12 (A 12)	H 12 (B 12)	A 12	B 12
20	16	25	125	G 16 (A 16)	H 16 (B 16)	A 16	B 16
25	20	32	140	A 20 (A 20)	B 20 (B 20)	A 20	B 20
32	25	40	170	A 25 (A 25)	B 25 (B 25)	A 25	B 25
40	32	50	200	A 32 (A 32)	B 32 (B 32)	A 32	B 32
50	40	63	240	A 40 (A 40)	B 40 (B 40)	A 40	B 40
63			280	A 50 (A 50)	B 50 (B 50)	A 50	B 50

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.14. Herramienta de refrentar, tipo recto
DIN 4980, ISO 6

Verse en la tabla 27



Dimensiones en milímetros

Rectangular			Tipos de plaquetas				
b	a	b ₁	L	L ₁	DIN 4981		DIN 4981
					1941	1943	1958
6	10	3	100	111		D 3	
9	12	3	103	12		D 3	D 3
10	16	4	110	14	D 4	D 1	D 4
12	20	5	125	18	D 5	D 5	D 5
16	25	6	140	20	D 6	D 6	D 6
20	32	8	170	25	D 8	D 8	D 8
25	40	10	200	32	D 10	D 10	D 10
32	50	12	240	40	D 12	D 12	D 12
40	63	16			D 16		

Las notaciones en negritas pertenecen también a la ISO.

Tabla 6.15. Herramienta para tronzar o ranurar
DIN 4981, ISO 7

Cantidad	Composición aproximada en %					Peso específico, gr/cm ³	Dureza Vickers aproximada, kg/mm ²	Dureza Rockwell A (HRA) diámetro	Resistencia a la flexión, kg/mm ²	Resistencia a la compresión aproximada, kg/mm ²	Módulo de elasticidad, kg/mm ²	Color distintivo, según DIN 4990, edición de 1942
	WC	TiC	Co	Ta C	VC							
F ₁	68	25	6			9,90	1750/1800	93,5	110	540	52 000	Gris
N ₁	78	16	6			11,15	1700	93,0	125/140	520	54 000	Negro
N ₂	78	14	8			11,25	1650	92,5	140/160	510	58 000	Blanco
S ₁	88	5	7			13,30	1500	92,0	150/180	495	59 000	Rojo
S ₂	84	5	11			13,10	1150/1500	91,5	180/200	460	61 000	Anaranjado
S ₃						12,60	1100	89,5	220			Rojo, blanco, rojo
AZ ₁	87	6	7			13,00	1550/1650	92,0	150/180	190	59 000	Azul, blanco, amarillo
AZ ₂						13,60	1400	92,5	170			Azul, blanco, azul
H ₁ (HS)	91,5		7	Ta C-VC	(1,5%)	11,40/15	1700/1750	93,0	115/150	620		Amarillo, negro, amarillo
H ₂ (HE)	94		6			11,60	1600	92,5	150/160	590	63 000	Amarillo
G ₁	94		6			14,70	1500	90,5	140/170	580	62 000	Azul
G ₂						14,50	1450	90,0	200			Azul, rojo, azul
G ₃	89		11			14,20	1300	89,0	210/230	465	58 000	Castaño
G ₄	85		15			13,80	1200	88,2	240/250	415	51 000	Castaño, blanco y castaño
I ₁	80		20			13,30	1100	87,0	260	370	50 000	Castaño, rojo, castaño
G ₅	75		25			13,00	1000/1050	85,5	270	390	47 000	Castaño, amarillo, castaño
G ₆	70		30			12,6	900/950	84,0	280	300	41 000	Castaño, negro, castaño

El peso específico varía según la marca y depende de la proporción de carburos.

Tabla 6.16. Composición y propiedades de los metales duros, con sus símbolos y colores distintivos, según DIN 4990

y color respectivo. El símbolo viene marcado en la plaquita por la fábrica de origen, y el color distintivo respectivo se pinta en el extremo del mango o soporte de la plaquita en la parte opuesta a ésta y según la normalización DIN 4990, en una longitud de 30 mm (fi. 85). La indicación de la marca y cifras características se graban en la cara izquierda junto al pintado, y a veces dentro de esta misma zona.

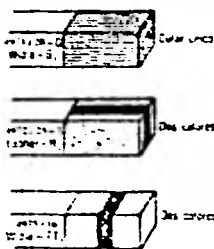


Figura 85 : Indicaciones pintadas y grabadas en los mangos, según la norma DIN 4990

Para efectuar una acertada elección del metal duro que se ha de emplear según los materiales que han de mecanizarse y el tipo de trabajo que se debe ejecutar, se han creado las tablas 6.17 a 6.20. Con la ayuda de dichas tablas se puede iniciar cualquier estudio de mecanizado con metal duro, y corregir las deficiencias que vayan apareciendo durante la ejecución del trabajo.

Tanto los símbolos como los colores no son universalmente aceptados. Ciertos fabricantes tienen su nomenclatura propia, y en este caso, para la utilización de cada calidad, deberán seguirse las indicaciones del proveedor. Por otro lado, el práctico de taller ha de ser cauto en la utilización de una misma calidad pero de procedencia distinta, porque puede presentar ciertas diferencias. Por ejemplo, la calidad S_2 de una marca se aproximará más a la calidad S_1 que a la S_3 de otra fabricación, dando origen a diferencias en el comportamiento de la herramienta.

A PARTIR
DE ESTA
PAGINA

FALLA
DE
ORIGEN.

Tabla 6.17. Calidades, colores y empleo de los grados de metal duro izquierda : grupo G-H derecha : grupo F-S

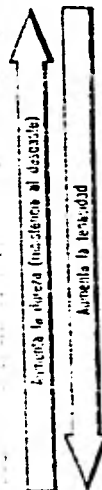
	Calidad	Color	Empleo		Calidad	Color	Empleo
<p>La dureza aumenta desde S₅ hasta F₁ La longitud aumenta desde F₁ hasta S₅</p>	F ₁	Gris	Turneado y taladrado finos de aceros, es decir, para trabajos con muy pequeña sección de viruta y poco esfuerzo, y gran velocidad.	<p>La dureza aumenta desde G₁ hasta H₄ La longitud aumenta desde H₄ hasta G₁</p>	H ₁	Amarillo franja negra	Fundición dura especial, de dureza superior a 85 Shore. Acabado fino de fundición y taladrado de fundición gris de más de 200 finell. Aleaciones de aluminio con gran cantidad de silicio. Maletas sintéticas. Papel prensado, goma dura.
	S ₅	Negro	Para trabajar aceros hasta de 100 kg/mm ² de carga de rotura a altas velocidades de corte y avance hasta 0,6 mm por vuelta.		H ₂	Amarillo	Para trabajar fundición dura y fundición de más de 200 finell, fundición con partes templadas, vidrio, plásticos, porcelanas, papel duro y aleaciones ligeras al silicio. Para taladrar, penetrar y escarlar.
	S ₄	Blanco	Para trabajos corrientes de aceros a velocidades medias y avances hasta 1,2 mm vuelta. Las velocidades de corte pueden ser hasta un 5% inferiores a las del S ₅ . Puede sustituir a ésta en máquinas viejas antiguas. Apropiado para el fresado de neos corrientes.		G ₁	Azul	Para trabajar hierro fundido hasta 200 finell, cobre, aleaciones de cobre, metales ligeros, materias sintéticas y similares. Para puntos de torno, cables, herramientas de medición, piezas expuestas a intenso desgaste, piezas blandas, casquillos-gula, bitas de tréfil, barrenas para tubería.
	S ₃	Rojo	Para trabajar acero a velocidades de corte muy bajas y avances muy grandes, hasta 2 mm vuelta. Para variaciones de profundidad de corte. Apropiado para el fresado de acero moldurado. Para cortes interrumpidos. Su velocidad de corte puede llegar a ser el 10% menos que la S ₅ . Es el más indicado para vueltas de fresas. Para todas las operaciones de desbaste (primera pasada).		G ₂	Castaño	Para maderas duras, materias sintéticas, materiales fibrosos o prensados, así como para herramientas perforantes a choque, herramientas de tréfil.
	S ₂	Verde o naranja	Para cortes interrumpidos con choque. Variaciones muy grandes de sección de pasada. Para aceros moldurados. Para el desbaste de grandes piezas con gruesa capa de escoria u tierra de molde. Para el cepillado de aceros. Para velocidades reducidas.		G ₃	Castaño franja blanca	Para trabajar carbón de electrodos. Para herramientas de tréfil, de grandes dimensiones. Herramientas de perfilar, punzones. Mordazas de tronques, herramientas de laminar y forjar con prensa. Herramientas de choque.
	S ₁	Rojo con franja blanca	Es la calidad más tenaz para materiales de viruta larga. Suficiente se emplea si las otras calidades se encuentran. La velocidad máxima de su empleo será de 18 m/min. La calidad favorable para ser afilada y soldada.		G ₄	Castaño franja roja	Herramientas de forjar comprimidas. Herramientas de forja en frío. Herramientas de prensa. Asientos de válvulas. Piezas resistentes al desgaste.
				G ₅	Castaño franja amarilla	Para herramientas de forjar en frío y en caliente para la industria de tornillos y remaches. Piezas sometidas al desgaste en la operación de precisión.	
				G ₆	Castaño franja negra	Para piezas expuestas al desgaste y sometidas a los mayores esfuerzos, para piezas perfiladas que necesitan cierta tenacidad, como los moldes.	

Tabla 6.18. Elección del material duro, según el material que se ha de trabajar, por orden de prioridad. Las calidades entre paréntesis deben admitirse con reserva

Material que se ha de trabajar con su resistencia o dureza	Clase de mecanizado	Calidad por el orden más conveniente	Consideraciones y puntos de vista para la elección
Aceros de construcción hasta $R = 100 \text{ kg/mm}^2$ (aceros al carbono)	Tornear Fresar Cepillar	$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, (F_1)$ S_1, S_2, S_3 S_1, S_2	F_1 sólo para torneados finos (tabla 24, hoja 2). Siguiendo el orden indicado de calidades, disminuye la tenacidad y aumenta la dureza.
Aceros de construcción al Cr, Ni e inoxidable hasta $R = 180 \text{ kg}$ por milímetro cuadrado	Tornear Fresar Cepillar	$S_1, S_2, S_3, (S_4), (F_1), (H_1)$ $S_1, S_2, (S_3)$ S_1, S_2	F_1 sólo para torneados finos (tabla 24, hoja 2). Siguiendo el orden indicado de calidades, disminuye la tenacidad y aumenta la dureza.
Aceros aleados y aceros de herramientas $R = 180 \text{ kg/mm}^2$	Tornear Fresar Cepillar	$S_1, (H_1)$ $S_1, (H_1)$ $S_1, (H_1)$	
Aceros al Mn (duras)	Tornear Fresar Cepillar	H_1, S_1 S_1 S_1, S_2	El S_1 para piezas forjadas.
Acero maldeado	Tornear Fresar Cepillar	$S_1, S_2, S_3, (S_4), (F_1)$ S_1, S_2, S_3 $S_1, S_2, (H_1)$	F_1 y S_1 para acabados finos (torno). H_1 para capas duras (resaca).
Fundición hasta 200 Br	Tornear Fresar Cepillar	$G_1, H_1, (S_1)$ H_1 $G_1, S_1, (S_2)$	H_1 para capas duras. S_1 para fuertes desgastes en cráter. S_1 para fuertes desgastes en cráter.
Fundición a más de 200 Br	Tornear Fresar Cepillar	H_1, H_2 H_1 $G_1, (S_1), (S_2)$	H_1 para acabados finos (torno). S_1 y S_2 para intensos desgastes en cráter.
Fundición en coquilla con dureza hasta 85 Shore	Tornear Fresar	H_1 H_1	
Fundición en coquilla con dureza mayor de 85 Shore	Tornear Fresar	H_1 H_1	
Fundición maleable	Todas las clases	H_1 S_1	H_1 para estructura de fundición. S_1 para estructura de acero.
Cobre y sus aleaciones	Todas clases	G_1, H_1	H_1 para capas superficiales duras, capas de fundición o laminado, para acabados finos (torno), para valores grandes de β .
Aluminio y sus aleaciones hasta 50 Brinell. Aleaciones de magnesio	Todas clases	G_1	
Aleaciones de aluminio con alto contenido de silicio con más de 50 Br	Todas clases	H_1, H_2	H_1 para acabados finos (torno).
Goma dura	Todas clases	H_1, H_2	H_1 para acabados finos (torno).
Materiales prensados Materiales sintéticos	Todas clases	G_1, H_1, H_2	G_1 para grandes efectos de desgaste. H_1 para muy grandes efectos de desgaste. H_2 para acabados finos (torno).
Papel duro	Todas clases	H_1, H_2	H_1 para acabados finos.
Vidrio	Todas clases	H_1	
Porcelana	Todas clases	H_1, H_2	H_1 para grandes durezas.
Roca	Todas clases	G_1, H_1	H_1 para grandes durezas.
Madera	Todas clases	G_1, G_2, H_1	Para disminuciones del desgaste, seguir este orden: H_1, G_1, G_2, G_1 . Para aumentos de S_1 , seguir el siguiente: G_1, G_2, G_1, H_1 .

Tabla 6.19. Grupos principales de metal duro para el arranque de viruta, según la ISO-TC 29. Norma DIN 4990

Símbolo del grupo	Designación de las calidades	Materiales mecanizables	Color distintivo
P	P 01 (1)		
	P 10		AZUL
	P 20	Aceros, fundición acerada, fundición maleable de viruta larga.	DIN 6161
	P 30		o RAL 5012 (2)
	P 40		
	P 50		
M	M 10	Acero, acero duro al manganeso, acero austenítico, acero para máquinas automáticas, acero moldeado, fundición gris, fundición gris alcaída, fundición gris esferoidal, fundición maleable y materiales no ferrosos.	VERDE
	M 20		DIN 6161
	M 30		o RAL 6007 (2)
	M 40		
K	K 01	Fundición gris, fundición maleable de viruta corta, fundición dura de coquilla, metales no ferrosos, acero de poca resistencia, acero templado, materiales sintéticos, madera.	ROJO
	K 10		DIN 6161
	K 20		o RAL 3011 (2)
	K 30		
	K 40		



(1) En este subgrupo se permite la división decimal. Ejemplo : P 01₁, P 01₂.

(2) RAL : Registro de tintes en el Comité de Normas Alemanas

Tabla 6.20. Grupos de empleo del metal duro, según el DIN 4990 acuerdo con la ISO-TC 29

Designación Edic. 1942; Edic. 1958	Materiales que se usan de mecanizar	Condiciones de trabajo
P ₁ P ₁	Acero, acero mol- deado	Acabado fino en el torneado y taladrado; altas velocidades de corte; pequeños avances. Cuando se exigen exactitud en la medida y calidad de superficies. Trabajos sin vibraciones
S ₁	Acero, acero mol- deado	Torneado, torneado en copiador, (deitado y fresado); altas velocidades de corte; avances medianos y pequeños
S ₂	Acero, acero mol- deado, fundición ma- leable de viruta larga	Torneado en copiador y fresado, torneado normal. Velocidades de corte y avances medianos. Cepillados con pequeños avances
S ₃	Acero, acero mol- deado, fundición ma- leable de viruta larga	Torneado, cepillado, fresado. Velocidades de corte medianas y bajas. Avances medianos y grandes. Cuando las condiciones de corte previstas son más desfavorables de lo previsto; irregularidades de la superficie; cortes interrumpidos; vibraciones; piezas ovaladas; durezas de fundición o forja; durezas variables
S ₄	Acero, acero mol- deado con inclusiones de arena y potasio	Torneado, cepillado, mortaja- do. Para algunos casos de tra- bajos en máquinas automáti- cas, velocidades de corte bajas, grandes avances, posibilidad de aumentar el valor del ángulo. Cuando las condiciones de corte previstas son más desfavora- bles; irregularidades de la su- perficie; cortes interrumpidos; vibraciones; piezas ovaladas; grandes durezas de fundición o forja; durezas variables
P ₂₀	Acero, acero mol- deado de mediana y baja resistencia con inclusiones de arena y potos	Torneado, cepillado, mortaja- do. Trabajos en máquina auto- mática. Velocidades de corte bajas, grandes avances, posi- bilidad de que y tenga valores elevados, condiciones de tra- bajo más desfavorables que las previstas con el P ₂₀ . Máxima exigencia de tenacidad en el metal duro

Nota. La equivalencia entre las designaciones de 1942 y 1958 resulta aproximada, y es posible que sea creado el subgrupo P₂₅. Algunos fabricantes producen una cantidad que se puede designar con el símbolo P₀₁.

Tabla 6.20. Continuación

Designación		Materias que se han de mecanizar	Condiciones de trabajo	Designación Edición de 1958	Materiales que se han de mecanizar	Condiciones de trabajo	
Edición 1942	Edición 1958						
	K 01	Acero templado, fundición dura de ligaduras con dureza Br > 220, fundición gris de elevada dureza, aleaciones de aluminio con gran contenido de silicio, materiales sintéticos muy abrasivos, papel prensado, materiales cerámicos	Acabado fino en el torneado y taladrado, fresado fino y raspado fino		M 10	Acero, acero duro al Mn, acero moldeado, fundición gris aleada	Torneado a mediana y elevadas velocidades de corte y pequeños o medianos avances
	K 02	Acero templado, fundición gris Br > 220, fundición maleable de hierro, aleaciones de aluminio con Si, materiales sintéticos, caucho, papel prensado, vidrio, porcelana, cera	Torneado, taladrado, avellanado, escariado, fresado, raspado		M 20	Acero, aceros austeníticos, acero duro al Mn, acero moldeado, fundición gris, fundición gris esferoidal, fundición maleable	Torneado y fresado a medianas velocidades de corte y medianos avances
H ₁	K 03	Fundición gris Br > 220, cobre, latón, aluminio, otros metales no ferrosos, maderas prensadas, contrachapados muy abrasivos	Torneado, cepillado, avellanado, escariado, fresado, cuando se exige elevadas velocidades de corte		M 30	Acero, aceros austeníticos, aleaciones de elevada resistencia al calor, acero moldeado, fundición gris	Torneado, cepillado y fresado a medianas velocidades de corte y avances medianos y grandes
	K 04	Acero de baja resistencia, fundición gris de poca dureza, madera contrachapada	Torneado, cepillado, avellanado, fresado. Cuando las condiciones de trabajo son desfavorables. Cuando el ángulo de desprendimiento puede ser muy agudo		M 40	Acero de baja resistencia, aceros blandos para máquinas automáticas, metales no ferrosos	Torneado, torneado con herramientas de latón, corte en máquina automática (tronzado)
	K 05	Metales no ferrosos, metales duros en estado natural	Torneado, cepillado, avellanado. En condiciones de trabajo muy desfavorables. Cuando el ángulo puede ser muy agudo		Nota. Este grupo no existe en la designación de calidades del año 1942.		

Nota. La equivalencia entre ambas designaciones no es rigurosa y la calidad H₁ (ed. 1942) corresponde al K 05 no señalado aquí. Tal vez sea necesaria la creación del subgrupo K 15.

El gráfico de la figura 86 permite hacerse una idea de lo que se acaba de explicar.

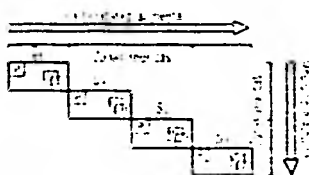


Figura 86 : Cooperación relativa de las calidades

Ejemplo : La calidad S_2 de la marca I tiende a ser más próxima a la S_1 de la marca T que a la S_2 del fabricante K. Por analogía, la S_2 de K es más semejante a la S_3 que a la S_2 de I

Ante esta diversidad de hechos, la Comisión Técnica ISO-TC 29 (grupo de trabajo 9) ha intentado unificar los criterios y ha elaborado unas nuevas normas. De ellas se han mencionado ya los tamaños y formas en la tabla 6.3; pero, además, las citadas normas clasifican y delimitan de manera diferente el campo de empleo del metal duro destinado al arranque de viruta. Esta delimitación viene expresada por tres grupos principales, según el material que se ha de trabajar. Dentro de cada grupo se constituyen subdivisiones (calidades), según el empleo o condiciones de trabajo (tabla 6.19).

Asimismo, la nueva normalización admite sólo tres colores de contraste: uno para cada grupo principal antes citado. Las herramientas irán pintadas en dichos colores, y cada fabricante designará las calidades por dos letras y un número, clasificándolas en el esquema de grupos de empleo. Las letras distintivas de grupo no podrán ir solas, ni se podrán aparejar con otra letra que sirva de distintivo de calidad. Esta vendrá especificada por un número de dos cifras. Sólo en el subgrupo 01 del grupo P se autoriza la numeración decimal.

A título de orientación, se ha establecido la tabla 6.20 hojas 1, 2 y 3, con los materiales mecanizables y las condiciones de trabajo.

Como ha de transcurrir cierto tiempo antes que las nuevas normas ISO sean del dominio general, en este libro se hará referencia únicamente a las tablas 6.16 y 6.17.

6.2.8 Angulos de corte.

Las consideraciones de carácter general hechas sobre los ángulos de corte para herramientas de acero rápido sirven también para las herramientas de metal duro. En las tablas 6.4 a 6.15 no se mencionan los ángulos α , γ y λ porque dependen de la clase de metal que se ha de trabajar y en ellas, al referirse a estos ángulos, se menciona la tabla 6.21, la cual da condensados los datos prácticos de taller para los tres ángulos, y se dan algunos ángulos negativos para los materiales de menor resistencia. El empleo de los ángulos de corte negativos no ha quedado definido aún, a pesar de los estudios que se han realizado sobre los mismos. Los profesores alemanes H. Opitz y J. Kob han publicado sus investigaciones, sin llegar a definir la utilidad práctica de los mismos. Parece que el ángulo negativo daría resultado empleado en grandes pasadas y con mucho avance, sobre todo con fundiciones y aceros moldeados de gran dureza, que exigiría un elevado consumo de energía y máquinas muy sólidas.

6.2.9 Velocidades de corte.

Los principios fundamentales de la velocidad de corte expuestos al tratar de las herramientas de acero rápido no sufren alteración para el metal duro. Las condiciones mencionadas seguirán siendo válidas, adaptándolas al metal duro tal como se indica a continuación:

a) Calidades de metal duro. La composición química y propiedades de las distintas calidades de los metales duros se describieron en las páginas anteriores y en la tabla 6.15.

Tabla 6.21. Angulos de corte para herramienta de torneear con plaqueta de metal duro

Material que se ha de trabajar	Dureza 1111 = Brinell 115 = Shore	Corte de tornea R - legimino	α en grados	γ en grados	λ en grados
Acero al C hasta 50 kg ...		50	5	14-11	5-4
• semiduro		50-75	5	11-12	5-3
• duro		75-85	5	12-10	5-3
• de más de 85 kg.		85-110	5	8-6	5-3
• fundido 14 % de Mn.			6	4-2	4
Aceros al CrNi hasta 80 kg		80	5	10-7	5-3
• al CrNi hasta 110 kg.		85-110	5	7	5-3
• al CrNi hasta 110 kg.		120-140	7	3	4
• al 12 % Mn			6-1	6-3	5-1
• inoxidables			5	10-8	4
• tratados		180	3	6	
• fundidos con capa arenosa endurecida			3	0	4
• fundidos		18 - 70	5	10-6	5
• fundidos		11 - 70	5	6	5
Fundición	1111 = 200		5	8-1	3
•	1111 = 200-300		5	3	4
•	1111 = 300-100		1	0	2
Fundición en coquilla	115 = 85		1	2	5
• mateable	115 > 85		1	0	1
Cobre			5-4	5-3	5-3
Latón duro			8	24-18	7-5
• blando			5	3	3
Hierro	1111 = 10-45		5	12-9	3
• semiduro			5	7-4	
• duro			5	6-1	
• fosforoso	1111 = 50-70		6-4	10-6	5-3
Aluminio puro	1111 = 15-25	7-11	10-8	35-20	12-5
Aleación de Al (13 % Si)	1111 < 60		8-6	10	8-6
• de Al (22 % Si)	1111 = 60-105		8-6	6	6-1
• de magnesio			6	6	6
Aluminio fundido			11	11	4
Ebonita			8-6	28-25	10-5
Blaquella			8-6	28-25	10-5
Vidrio			6	3-8	7
Porcelana			10-1	5-4	5
Marmol			10-1	8-6	5
Granito			6-1	8-5	6
Papel duro			8	25	5
Goma dura			8	30	7

Nota : Esta tabla es una referencia. En cada caso pueden hacerse modificaciones, según las calidades del material. Para cada material, cuando se dan al ángulo dos valores, uno corresponde al mínimo y el otro al máximo de la dureza o de la resistencia.

Para la acertada elección en la calidad del metal pueden consultarse las tablas 6.16 a 6.19.

b) Material que se ha de mecanizar. Cada material requiere su respectiva velocidad de corte, que se encontrará en la tabla 6.21 hojas 1 a 3. Las diferentes calidades de metal duro que pueden emplearse con un mismo material obligan a señalar las velocidades correspondientes, de lo cual resulta una tabla de mayor amplitud que la correspondiente para acero rápido.

c) Avance y sección de viruta. La tabla 6.21 mantiene los mismos avances básicos que las tablas generales. Como sus efectos se manifiestan a través de la presión de corte, se volverá a insistir sobre este punto al tratar de potencia.

d) Duración del filo. El filo del metal duro tiene más duración que el de la herramienta de acero rápido, y depende de la velocidad de corte y del avance. Por tanto, la velocidad de corte queda definida según el avance y la duración escogidos. En la tabla 6.21 se señalan los tiempos-norma correspondientes a los avances indicados para determinar las velocidades de corte de cada material, según la calidad de metal duro escogido.

e) Angulo de posición α . Su influencia y las correcciones que se han de aplicar se indicaron anteriormente.

f) Rigidez y estado superficial de la pieza. La rigidez de la pieza tiene mucha importancia con las herramientas de metal duro, porque éstas son muy frágiles. Si bien quedó claramente expuesto anteriormente que las soluciones correctas que permiten suprimir vibraciones son de orden práctico, deberá insistirse siempre, al mecanizar con metal duro, acerca de la necesidad de obtener una fijación de la pieza mucho más rígida aún, debido a las velocidades de corte elevadas, si no se quiere fracturar la plaquita.

Con el acero rápido se prescinde del estado superficial de la pieza antes de su mecanizado. A causa de su fragilidad, el metal duro obliga a considerar esta condición a cada momento.

La tabla 6.22 da, clasificados, los siete casos que pueden presentarse. Para la aplicación de los valores máximos o mínimos debe prevalecer la experiencia adquirida con la práctica diaria del taller.

g) Calidad de la máquina. Conviene insistir de nuevo sobre la necesidad de utilizar buenas máquinas para el metal duro. Estas han de cumplir las condiciones siguientes:

1. Fuerza motriz suficiente y excelente transmisión mecánica de la misma.

2. Engranajes tratados y rectificadas y buen rendimiento de la parte mecánica.

3. Posibilidad de comprobar constantemente el límite máximo de energía consumida mediante un amperímetro.

4. Rigidez de bancada o bastidor y sólida fijación de las herramientas.

5. El movimiento de avance ha de ser accionado por un motor independiente del principal. Esto es muy esencial en las fresadoras y mandriladoras, y su aplicación se va extendiendo a los tornos, donde también deben quedar muy desligados los mecanismos antes citados.

6. Regulación progresiva y sin saltos bruscos de las velocidades y avances, de manera independiente. Gracias al perfeccionamiento cada día mayor de las transmisiones y cambios de velocidades hidráulicas, es es posible en toda máquina moderna.

7. La entrada y salida de pasada de la herramienta ha de poder hacerse en marcha sin paro de máquina. Retrocesos rápidos.

8. Protecciones suficientes contra las proyecciones de viruta y facilidad de evacuación de la misma.

Tabla 6.22. Velocidades de corte (V) en metros por minuto en función de la duración del filo en minutos y del avance en milímetros por vuelta, según la clase del material que se ha de trabajar para herramientas de metal duro. Angulo $\chi = 45^\circ$

Categoría	Materiales	Resistencia a la rotura R kg/mm ²	Duración del filo (t) en minutos																								
			Avance (a) en milímetros por vuelta																								
			0,1					0,2					0,4					0,8					1,6				
			Velocidades de corte (V) en metros por minuto																								
V1111	Acero al carbono	50 - 60	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			275	250	230	210	190	160	142	134	125	110	135	120	112	105	95	110	100	94	87	80	75				
V1111	Acero al carbono	60 - 70	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			292	272	248	212	192	165	150	142	134	125	110	135	120	112	105	95	110	100	94	87	80	75			
V1111	Acero al carbono	70 - 85	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			225	200	180	160	150	130	120	112	105	95	110	100	94	87	80	75	70	65	60	55	50	45			
V1111	Acero al carbono	85 - 100	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			190	170	160	150	145	141	134	131	125	116	128	115	109	102	99	92	86	81	76	71	66	61			
S1	Aceros al Mn	70 - 85	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			225	202	180	160	150	130	120	112	105	95	110	100	94	87	80	75	70	65	60	55	50	45			
S1	Aceros al CrNi	70 - 85	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			110	100	95	90	80	80	80	75	70	65	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15			
S1	Aceros aleados en general	70 - 85	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1			
S1	Aceros al Mn	85 - 100	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			170	152	142	135	129	125	120	119	105	95	105	95	86	85	74	86	75	66	65	60	55	50			
S1	Aceros al CrNi	85 - 100	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			80	74	68	65	55	65	58	53	50	45	50	45	42	40	35	40	35	30	26	21	21	19			
S1	Aceros aleados	85 - 100	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			32	28	26	24	21	24	21	24	21	19	25	21	19	17	19	17	19	17	16	15,5	14,5	13,5			
S1	Aceros al Mn	100 - 140	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			105	97	90	85	75	85	75	69	65	60	65	60	57	55	50	45	40	35	30	25	24	24			
S1	Aceros al CrNi	100 - 140	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			50	45	42	40	35	40	35	30	25	30	25	22	20	19	20	18	16	14	16,5	15	14	13			
S1	Aceros aleados	100 - 140	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			18	17,5	16	15,5	13,5	20	18	14,5	12,5	20	18	14,5	12,5	11	12,5	11,5	10,5	10	9	9	9	9			
S11	Aceros al Mn	110 - 150	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			65	60	57	55	50	55	51	48	45	40	45	40	37	35	30	35	30	27	25	20	20	20			
S1	Aceros al CrNi	110 - 150	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			35	32	31	30	25	30	28	26,5	25	20	25	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13			
S1	Aceros al CrNi	110 - 150	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300	60	120	180	240	300					
			18	16	14	12,5	10,5	10	8	7,5	7	6	6	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2			

Tabla 6.22. Continuación

Cálculos	Materiales	Resistencia a la rotura R kg/mm ²	Duración del filo en minutos																													
			Avances tal en milímetros por vuelta																													
			0.1						0.2						0.3						0.5						1.0					
			Velocidades de corte (V _c) en metros por minuto																													
G ₁	Aceros inoxidables	150-180	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
			20	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1						
G ₂	Coque	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃	Latón (H. Laminado)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄	Aluminio (Al 99.5)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅	Aluminio (Al 90)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₆	Aluminio (Al 80)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₇	Aluminio (Al 70)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₈	Aluminio (Al 60)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₉	Aluminio (Al 50)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₀	Aluminio (Al 40)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₁	Aluminio (Al 30)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₂	Aluminio (Al 20)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₃	Aluminio (Al 10)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₄	Aluminio (Al 5)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₅	Aluminio (Al 0)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₆	Aluminio (Al -5)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₇	Aluminio (Al -10)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₈	Aluminio (Al -15)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₁₉	Aluminio (Al -20)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₀	Aluminio (Al -25)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₁	Aluminio (Al -30)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₂	Aluminio (Al -35)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₃	Aluminio (Al -40)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₄	Aluminio (Al -45)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₅	Aluminio (Al -50)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₆	Aluminio (Al -55)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₇	Aluminio (Al -60)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₈	Aluminio (Al -65)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₂₉	Aluminio (Al -70)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₀	Aluminio (Al -75)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₁	Aluminio (Al -80)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₂	Aluminio (Al -85)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₃	Aluminio (Al -90)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₄	Aluminio (Al -95)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₅	Aluminio (Al -100)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₆	Aluminio (Al -105)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₇	Aluminio (Al -110)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₈	Aluminio (Al -115)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₃₉	Aluminio (Al -120)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₀	Aluminio (Al -125)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₁	Aluminio (Al -130)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₂	Aluminio (Al -135)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₃	Aluminio (Al -140)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₄	Aluminio (Al -145)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₅	Aluminio (Al -150)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₆	Aluminio (Al -155)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₇	Aluminio (Al -160)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₈	Aluminio (Al -165)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₄₉	Aluminio (Al -170)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₀	Aluminio (Al -175)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₁	Aluminio (Al -180)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₂	Aluminio (Al -185)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₃	Aluminio (Al -190)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₄	Aluminio (Al -195)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₅	Aluminio (Al -200)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₆	Aluminio (Al -205)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₇	Aluminio (Al -210)	50-120	100	92	85	81	78	74	71	68	65	62	59	56	53	50	47	44	41	38	35	32	29	26	23							
G ₅₈	Aluminio (Al -215)	50-120	100	92																												

Tabla 6. 23. Correcciones de la velocidad de corte, según el estado y condiciones superficiales de la pieza antes de la primera pasada

Casos	Condiciones de presentación de la superficie	Coefficientes
1	Corte irregular debido a variaciones del diámetro	0.95 a 0.91
2	Corte interrumpido debido a un hueco en la pieza	0.90
3	Corte irregular e interrumpido a la vez (casos 1 y 2)	0.86 a 0.81
4	Corte con gruesa capa de forja (escamas). Corte con gruesa capa arenosa de fundición	0.96 a 0.88
5	Corte con capa arenosa o escata de forja y, además, irregular (casos 1 y 4)	0.90 a 0.80
6	Corte con capa arenosa o escata de forja y, además, interrumpido (casos 2 y 4)	0.87 a 0.82
7	Cuando se presentan los tres casos : irregular, interrumpido, con capa arenosa o escata (casos 3 y 4)	0.80 a 0.72

h) Calidad de acabado. El metal duro permite obtener superficies mejor acabadas que el acero rápido, pues la relación avance-velocidad es todavía más notable con la widia gracias a las grandes velocidades que permite alcanzar, y a los menores avances (inferiores a los de acero rápido), que se emplean de preferencia.

i) Lubricación. El metal duro permite trabajar en seco o en húmedo. En este último caso, la refrigeración ha de ser abundante. La refrigeración debe iniciarse antes del ataque de la herramienta para evitar el calentamiento del corte, pues de lo contrario se fracturaría la widia. En caso de duda, lo mejor es trabajar en seco. Los lubricantes suelen ser los mismos que los empleados con el acero rápido.

6.2.10 Potencia.

Para el cálculo de la potencia, cuando se emplea metal duro, se utilizan las mismas fórmulas ya estudiadas con el acero rápido. La determinación de la presión principal de corte, que es uno de los factores que intervienen en dichas fórmulas, se hace como si se tratara de acero rápido. Por tanto, todas las tablas de presiones principales de corte y determinación de potencias son utilizables para el metal duro, incluida la de rendimientos. Antes de pasar a la resolución de problemas hay que mencionar dos nuevas condiciones que influyen en el cálculo de potencia al emplear metal duro: la existencia de rompevirutas y el espesor de la plaquita de widia.

Rompevirutas.

No se menciona aquí la construcción de rompevirutas obligará a una pequeña reducción de velocidad, que quedará multiplicada por un coeficiente que oscila entre 0,97 y 0,98, dejándola ligeramente reducida de valor.

Espesor de la plaquita.

Este ha de ser suficiente para resistir toda la presión principal de corte. Si se quiere absorber toda la potencia disponible, es imprescindible que la plaquita tenga el espesor necesario; y como plaquitas y mangos dependen de las normas de herramientas, el espesor de la plaquita definirá el mango, o sea, el tamaño de la herramienta que se ha de emplear.

Rompevirutas.

El rompevirutas es, en realidad, una modificación de las condiciones de corte de la herramienta para doblar la viruta de manera que se rompa en pequeñas longitudes. Por dicha razón, en ciertas técnicas extranjeras se denomina formador de viruta. Cuando se tornean materiales de gran tenacidad, capaces de producir una viruta larga y resistente con velocidades elevadas, la formación de viruta puede presentar serios trastornos, sobre todo si es de sección gruesa. Entonces, es necesario que la fluidaz de la viruta sea entorpecida mediante un cambio brusco de dirección, que consiste en obligarla a efectuar un radio de curvatura menor que el que le corresponde normalmente. Este radio de curvatura es diferente para cada material y depende de ciertos factores, como son la velocidad de corte, el avance, la sección de la viruta, el ángulo de posición y, en última instancia, el diámetro de la pieza.

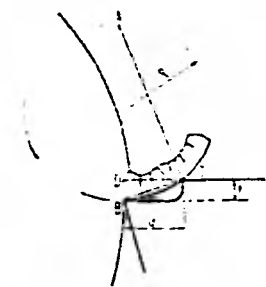


Figura 87

No está bien definida aún la técnica del rompevirutas, ya que la mayoría de autores tratan muy superficialmente este tema. Existe, desde luego, una relación bastante exacta entre el radio de curvatura de la viruta (R) (fig. 87) y las dimensiones del rompevirutas. En efecto, de la figura 87 se deduce:

$$\operatorname{tg} \hat{A} = \frac{u}{AD} = \frac{t}{u}$$

$$\text{y} \quad AD = \frac{u}{\operatorname{tg} \hat{A}} = \frac{u}{\frac{t}{u}} = \frac{u^2}{t}$$

Como resulta que:

$$2R = AD + t,$$

al sustituir se tiene:

$$2R = \frac{u^2}{t} + t$$

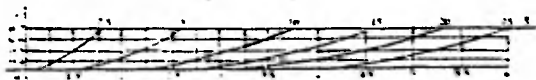


Figura 88 : Relación gráfica entre las cotas u , t y el radio de curvatura R

El gráfico de la figura 88 permite hallar, por tanteo experimental, el radio óptimo basándose en las dimensiones del rompevirutas.

Si la viruta fluye sin romperse, es que el valor de R resulta demasiado grande para el avance escogido. Es recomendable en tal

caso disminuir el valor de u . Puede tantearse un aumento de avance, pero a veces no resultará ventajoso desde otros puntos de vista técnicos, como son la calidad del mecanizado, la presión de corte, etc. Cuando la cota u es demasiado pequeña, la fuerte presión de la viruta contra la cara de desprendimiento provocará un desgaste prematuro del útil. En tal caso, debe aumentarse el valor de u .

Tabla 6.23 Valores de u y l , según el avance a

Avance a en milímetros por vuelta		0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
$\alpha = 45^\circ$	u	2,6	3,4	3,9	4,3	5,3	5,6	6,5
	l	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,3
$\alpha = 60^\circ$	u	2,7	4,1	5,2	6,1	6,8	7,4	8,4
	l	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,5	1,6

La tabla 6.23 da, para dos ángulos de posición α , las dimensiones del rompevirutas en función del avance.

El tipo de rompevirutas puede ser con inclinación positiva (Fig. 89 a) o negativa (Fig. 89 b), siendo menos frecuente la posición paralela (Fig. 89 c). En dicha figura se indica también con una flecha la dirección de salida de la viruta y dónde debe medirse la cota u .

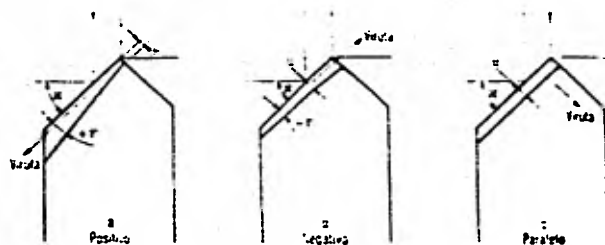


Figura 89 : Inclinaciones del rompevirutas

El valor de τ es generalmente de 6° a 8°, pero en ciertos casos llega a valer hasta 15°, cuando x es inferior a 45°.

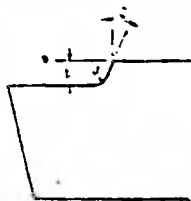


Figura 90

Para conservar cierta fluidez de salida de viruta es recomendable terminar el fondo del rompevirutas mediante un radio (figura 90), cuyo valor se calcula por la fórmula:

$$r = \frac{t}{1 - \operatorname{sen} \xi}$$

El valor de ξ puede variar desde 35° para valores grandes de t , hasta 50° cuando dicha cota es mínima.

Moderadamente ha sido ideado un rompevirutas graduable, el cual permite tantear sobre la marcha cuál es su mejor posición para obtener un arco de viruta aceptable y que produzca la rotura de ésta. Este tipo de herramientas presta excelentes servicios en los tornos copiadores (Fig. 91).

Existe otra modalidad de herramienta, llamada chpstream, cuya creación es una exclusiva de la casa Ardoloy para tornos con trabajo continuo en grandes series. Las herramientas de esta clase están montadas con un tipo de plaquita especial, de calidad S_1 únicamente, y sólo es

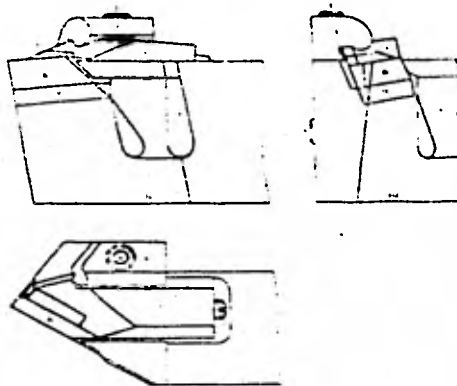


Figura 91 : Modelo de herramienta con rompevirutas graduable para torno copiadore. 1. rompevirutas; 2. plaquita de metal duro del rompevirutas; 3. brida de fijación del mismo; 4. tornillo; 5. tornillo tope; 6. plaquita de corte (metal duro); 7. brida de fijación de la misma; 8. tornillo; 9. apoyo de la plaquita (soldado al mango); 10. mango de la herramienta

recomendable su empleo con velocidades muy elevadas y materiales de constitución muy uniforme, debido a la fragilidad del filo. Con este tipo de herramienta se tiende a obtener una viruta dirigida muy arrollada y compacta, de poca longitud, para que no ocupe mucho espacio. Esto se logra gracias al hundimiento en V de la cara de desprendimiento (Fig. 92). La viruta se dobla rápidamente en espiral, y al cnocar con un tope se rompe (Fig. 93). El entretenimiento de tales herramientas es bastante delicado, porque es fácil que se rompa la plaquita, debido a su forma especial.



Figura 92 : Junta de una herramienta con plaqueta especial chipstream

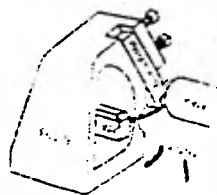


Figura 93 : Soporte trasero de un tor-
no revolver cilindrando con una
herramienta con plaqueta espe-
cial chipstream

6.2.11. Normas prácticas para el empleo del metal duro.

Deben recordarse siempre los seis puntos siguientes:

1. Fijación sólida de la herramienta.
2. Evitar huelgos entre la herramienta y su soporte. A tal efecto se quitarán las rebabas y se redondearán las aristas.
3. La herramienta cortará al centro de la pieza. Nunca por debajo. Con el acero se permite un realce máximo de 1% del diámetro de la pieza.
4. Antes de poner en marcha, comprobar si la máquina tiene puesta la debida velocidad de corte.
5. No poner el avance hasta que se haya alcanzado la velocidad de corte, y entrar en pasada con el avance automático.
6. Nunca se parará la máquina estando la herramienta con pasada puesta.

6.2.12 Causas de fallos en el metal duro.

Durante la fabricación del útil.

Su único fallo son las grietas, y éstas pueden ser debidas a las siguientes causas:

1. Material inadecuado del mango, pues el coeficiente de dilatación del mismo ha de ser adecuado al de la plaquita de metal duro.
2. Calentamiento demasiado rápido de la plaquita al soldarla.
3. Material no apropiado de la soldadura.
4. Enfriamiento demasiado rápido después de soldar.
5. Recalentamiento de la herramienta por la excesiva presión durante el afilado.

6. Recalentamiento al afilar en seco, seguido de enfriamiento brusco en agua o aire a presión.
7. Poca refrigeración durante el afilado húmedo.
8. El útil tiene poca capacidad de eliminación de calor.
9. Suspender un afilado en seco para seguir en húmedo sin dejar enfriar el útil.
10. Muela afiladora muy dura o con elevada velocidad de corte.
11. Muela embotada con material del mango.

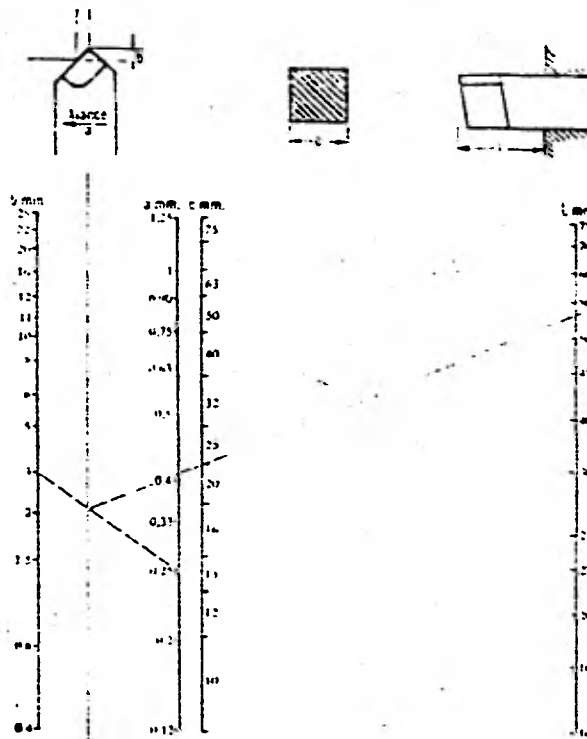


Figura 94 : Gráfico para determinar la cota L máxima admisible en la fijación de la herramienta.

Ejemplo : $a = 0.25$, $b = 3$, $c = 20$, $L = 54$ máximo

Durante el trabajo útil.

1. Herramienta con filo poco pulido.
2. La herramienta se calentó demasiado por haberse retrasado.
3. El líquido sólo tocaba parte del útil.
4. Filo del corte descentrado.
5. Interrupción periódica del corte.
6. Angulo α muy grande.
7. Distancia muy grande entre el filo y el apoyo de la herramienta (véase gráfico de la figura 34).
8. Sección del mango pequeña.
9. Angulos de corte incorrectos, en particular α .
10. Forma del extremo del útil, inadecuada.
11. Radio de punta inadecuado.
12. Fijación poco rígida de la pieza.
13. Falta de corte en el útil. Había que reafilar antes.
14. Sobrecarga imprevista por disminución de la velocidad de corte o paro de la máquina sin quitar pasada.
15. Rompevirutas inadecuado.

6.3 Herramienta de cerámica.

Las herramientas de cerámica son útiles formadas por un mango o soporte y una plaquita de cerámica. Tienen aceptación como herramientas de corte cuando se exige una elevadísima resistencia al desgaste.

El mango es de acero (0,55% de C), y la plaquita va fijada al mismo con soldadura, pero con más frecuencia mediante una brida, que la retiene sólidamente (Fig. 95).

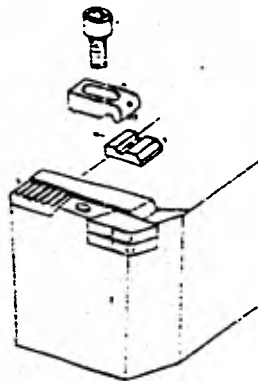


Figura 95 : Herramienta con plaquita de cerámica :

1. mango; 2. apoyo de la plaquita; 3. plaquita de cerámica; 4. estriado de graduación; 5. rompevirutas de metal duro; 6. brida; 7. tornillo; 8. pasador; 9. agujero del pasador

El agujero coliso de la brida permite adelantarla o retrasarla, situándola por su estriado posterior, y así se puede correr el rompevirutas, para variar el arco de viruta, hasta alcanzar la fractura de ésta. Cuando no interesa el rompevirutas, se le quita, como se hace con la fundición o con los materiales no ferrosos, y la brida aprieta directamente sobre la plaquita cerámica. Ciertas herramientas para interiores son enteramente de cerámica.

La plaquita se fabrica en piezas de dimensiones normalizadas, y es un compuesto a base de óxido de aluminio (Al_2O_3 - α), de gran resistencia y compacidad.

En estado natural, el óxido de aluminio es conocido por

el mineral llamado corindón y en especial en estado puro y transparente constituye las gemas llamadas zafiro o rubí, que se caracterizan por su gran dureza, y ocupan el segundo lugar después del diamante, en la escala de durezas de los cuerpos naturales. En su estado natural se presentan como cristales simples, cuya tenacidad y resistencia son inadecuados para ser empleados como útil de corte.

La plaquita de cerámica está compuesta de diminutos cristales, compactos y sinterizados, dando lugar a un material ampliamente más tenaz que la cerámica ordinaria, pero con todas las características de los minerales naturales. Para obtener esta fina estructura cristalina y otras propiedades superiores, se añade, una pequeña cantidad de óxidos secundarios, resultando un producto final de 99% de Al_2O_3 (a). Este proporciona la dureza al compuesto. Los demás óxidos (de Mn y de To) le comunican su resistencia a elevadas temperaturas. El óxido de titanio le da un poder inductor específico elevado. Se trata de un material de grandes propiedades resistentes, de mayor dureza que los demás productos cerámicos y que se mantiene inalterable hasta más allá de los $1090^{\circ}C$. Siendo un óxido, permanece estable al contacto del aire hasta $1980^{\circ}C$. En presencia de ácidos y otros elementos químicos activos, su resistencia a la corrosión es elevada. Es muy mal conductor de la electricidad y antimagnético. Sus características más interesantes son:

Peso específico	3,95
Conductividad térmica	0,04 unidades C.G.S.
Coefficiente de dilatación	$7 \times 10^{-6}/^{\circ}C$
Resistencia a la rotura (aproximada)	7,000 kg/cm ²
Resistencia a la flexión	4,000 -5,000 kg/cm ²
Resistencia a la compresión20,000-25,000 kg/cm ²
Dureza Rockwell A.	91,5

La plaquita de cerámica ofrece varias ventajas, porque realiza operaciones de mecanizado más rápidamente, con mayor producción horaria y la correspondiente reducción de costo. Da mejores acabados y reduce los gastos de reafilado porque puede amolarse más fácilmente

que los otros materiales de herramientas, con un bajo consumo de muelas porque las desgasta menos.

El almacenado se simplifica porque la plaquita cerámica se fabrica en un sólo grado o calidad, aplicable al mecanizado de cualquier material, bien sea plástico, férreo o no férreo.

Al no estar fabricada a base de materias primas "estratégicas", su adquisición no ofrece problemas.

La cerámica suele utilizarse también para puntos de torno, así como para los palpadores de medición (galgas), en los instrumentos de medición donde el calor es un factor importante, y donde se requiere gran resistencia a la oxidación o corrosión a elevadas temperaturas. Se tendrá en cuenta el empleo de la cerámica en cualquier aplicación que requiera dureza extrema, rigidez y elevada resistencia a la compresión.

Para el afilado de la cerámica se utilizan las mismas muelas diamantadas que para el metal duro. En primer lugar se afila siempre la cara de desprendimiento, luego las caras laterales de incidencia, y por último, la cara frontal. La última operación de afilado son los radios. Lo mismo que se hace con el metal duro, se debastan los mangos con muela de corindón para preservar la muela de diamante. Siempre se hará un amolado de desbaste, seguido del de acabado. Este se limitará a dejar de 1° a 2° menos de inclinación angular que la cara desbastada, siendo beneficioso un radio o chaflán en las aristas no superior a los 0,1 mm. La longitud del chaflán abarcará toda la zona de corte, incluida la capa de forja o fundición si se trata de un desbaste. Estas últimas recomendaciones son aplicables también a las plaquitas fijadas con bridas.

Para ser la cerámica un material muy frágil, deberá afilarse tomando las máximas precauciones para evitar la formación de muescas y rayas en el filo, que siempre son el origen de fracturas durante su trabajo, y es muy recomendable efectuar un lapeado a mano como operación final.

La Carborundum Company recomienda las siguientes muelas para el afilado de la cerámica:

Desbaste corriente: Carborundum D-100-N-100 B R.
 Acabado fino: Carborundum D-200-N-100 B 7.
 Super acabado: Carborundum D-400-N-200 B 7.

Las muelas resinosas dan un amolado más rápido y una perfecta arista de corte. Se utilizará una abundante refrigeración.

Los ángulos más interesantes son: γ y λ , y tendrán los valores siguientes, siendo recomendables los valores positivos de λ para las bajas velocidades de corte:

Materiales	Ángulos	
	γ	λ
Aceros al C y aleados, recocidos o tratados...	-7° a -2°	2° a 7°
Fundición blanca y gris :.....	-2° a 7°	0° a 7°
Materiales no férreos.....	-2° a 7°	0° a 7°
Papel, madera, fibra, amianto, goma, carbón grafitado	6° a 18°	0° a 10°

Deberá prestarse gran atención a la fijación del útil y de la pieza, porque es necesaria una gran rigidez. Si la fijación de la pieza permite su flexión bajo la presión de corte, resultará una menor duración del filo, pudiendo producirse la fractura del útil, e idénticas consecuencias traerá una fijación defectuosa de la herramienta. Los mangos deberán tener una gran sección y presentarán un mínimo de proyección o extremo libre, que para fuertes pasadas será de 1/2 a 1 1/2 la altura del mango. La altura de la punta del útil se logrará suplementando con gruesos de longitud igual al mango, y se evitarán los trocitos de plancha para "levantar" la herramienta. También deben evitarse las cuñas con base curva, y si el torno tiene esta disposición de la torre, se qui

tará la cuña y se sustituirá por suplementos planos para lograr la altura del útil. El tamaño de la herramienta puede resultar débil, y raramente demasiado grande; por tanto, será mejor pecar por exceso de tamaño. Es una falsa economía utilizar una herramienta para cierto trabajo si fue proyectada para otra índole de operación.

Lo más difícil de hallar es una máquina adecuada, porque las herramientas con plaquita de cerámica requieren velocidades muy elevadas y grandes potencias.

Se conectará el avance antes de que el útil toque la pieza, y se retirará la herramienta antes de quitar el avance. La refrigeración será abundante y actuará con fuerza sobre la herramienta, sin repartirla entre pieza y útil. Es muy importante refrigerar por debajo y por los lados, lo mismo que por arriba, y aplicar la refrigeración antes que el útil entre en contacto con la pieza, y cortarla después de quitarla la pasada.

En lo posible, se empleará siempre la máxima velocidad con el mayor avance y la máxima profundidad de corte que permita la máquina.

No debe apurarse el filo del útil, porque una herramienta con el filo desgastado consume más potencia, y la superficie de la pieza queda defectuosa. Para evitar todo esto puede hacerse una faja de 0,75 mm en la cara de desprendimiento.

Además de ser empleada como herramienta de torno, la cerámica ha sido ensayada también como útil para cabezales de fresar.

Hasta la fecha, el uso de herramienta de cerámica no se ha extendido demasiado, y debe considerarse su situación dentro de la industria, en período de adaptación. Como ya hemos dicho anteriormente, una de las mayores dificultades es la falta de potencia de las máquinas, debido a las elevadas velocidades de corte que requiere.

Velocidades de corte y avances apropiados para el torneado, con herramientas de cerámica

Tipo de operación	Quitar la capa superficial		Pasada de desbaste		Pasada de acabado	
	Velocidad m/seg.	Avance mm/vuelta	Velocidad m/seg.	Avance mm/vuelta	Velocidad m/seg.	Avance mm/vuelta
Acero al carbono: R ≤ 55 kg	150-200	0,1-0,5	300-400	0,1-0,5	100-500	0,1-0,2
" " " R = 65/70 kg	100-200	0,1-0,5	200-400	0,3-0,5	400-500	0,15
" " " R = 75/100 kg	100-200	0,3-0,4	200-300	0,3-0,4	300-400	0,1-0,15
Acero tratado R ~ 110/150 kg	50-100	0,3-0,4	50-150	0,3	100-200	0,1-0,15
Acero especial R ~ 160/250 kg			25-80	0,2-0,3	25-80	0,1-0,15
Acero fundido R ~ 50/55 kg	100-150	0,1	150-300	0,3-0,4	250-300	0,15
Acero fundido 13 % Mn	30-50	0,3-0,4	50-80	0,3-0,4	50-100	0,15
Acero fundido 13 % Cr			150-250	0,3-0,4	200-300	0,2
Acero nitrurado			200-250	0,3	200-300	0,2
Acero para estampas W + Co			150-250	0,3	200-300	0,2
Acero remolado (tratado)			200-300	0,3-0,4	300-400	0,15
Fundición 180/250 Hr	100-200	0,4-0,6	200-300	0,4	300-400	0,15
Fundición 250/400 Hr	80-100	0,4-0,5	100-250	0,3-0,4	200-300	0,15
Fundición 400-500 Hr	20-40	0,2-0,3	30-60	0,2-0,3	40-100	0,15
Bronce			400-600	0,3-0,4	600-800	0,2
Grafita (electrodos)			200-400	0,3-0,4	300-500	0,2-0,3

Capítulo 7. Parámetros

7.1 Introducción

A través de los capítulos antes estudiados, se han visto con buen grado de detalle los diferentes factores que constituyen el proceso de maquinado o corte de metales por desprendimiento de viruta. La intención de tratar el tema en forma aislada tiene como fin el recapitular lo antes visto y permitir la observación del proceso desde un punto de vista general, con objeto de desarrollar la habilidad del analista en la detección de los diferentes elementos, su ponderación e influencia en el proceso y las interrelaciones entre ellos. Una manera adecuada de introducirse en cada caso particular, es originalmente haciendo una diferenciación entre los elementos restrictivos ó determinados y los elementos variables ó a determinar.

7.2 Elementos Restrictivos o Determinados.

Cuando se trata de realizar un proceso de mecanizado, existen ciertas circunstancias ya dadas, las cuales pueden considerarse como parámetros fijos o definidos; estos parámetros deben por lo tanto considerarse constantes y en función de ellos modificar o ajustar los variables a fin de lograr los resultados esperados del proceso. Dentro de estos elementos se encuentran: La máquina a emplear, el material de la pieza, el tipo de operación a realizar y el acabado superficial.

La máquina. El pensar en alternativas en la selección de la máquina a emplear es una situación que en algunos casos se presenta; sin embargo, en el mejor de los casos siempre nos encontraremos con sus características, como son: Potencia, Rango de avance, Rango de velocidades, condiciones de rigidez en sus elementos portaherramientas y sistemas de fijación de la parte a trabajar.

La pieza a trabajar. La forma de la pieza antes y sobre todo después de maquinada, obedece a la función que la pieza vaya a tener, de otra manera, responde a una determinada necesidad que descarta la posibilidad de adaptar esta forma a la conveniencia del proceso y en definitiva la forma es una restricción para el proceso. Dentro de la forma geométrica de la pieza, puede ser determinante la resistencia mecánica que ésta pueda presentar a los esfuerzos generados del corte y las posibilidades de sujeción en función de la capacidad para soportar los esfuerzos del corte.

El tipo de operación es algo también definido - por la forma de la pieza a maquinar y habrá que considerarla al definir las variables; al tipo de operación nos referimos cuando - hablamos de un cilindrado, refrentado, brochado, barrenado, etc..

El material de la pieza a maquinar tiene una - gran importancia en la determinación de las variables del proceso, entre las características de influencia tenemos, dureza, tenacidad, ductilidad y propiedades abrasivas.

El acabado superficial determinará también ciertas condiciones en el proceso como son avance y geometría de la herramienta; existirán diferentes condiciones para operaciones finales ó operaciones de desbaste.

7.3 Elementos a Determinar.

La manera en que los factores mencionados en - la sección anterior deben considerarse, ha sido ampliamente desa--rrollado en los capítulos correspondientes, reiterando nuevamente, la intención de mencionarlos en este capítulo tiene como fin el con--templarlos todos ellos en forma general para tenerlos presentes en el análisis de un caso particular. Los elementos o factores a es--tablecer en función de los mencionados en la sección anterior son - la geometría de la herramienta, el material de la herramienta, la profundidad de corte, la velocidad de corte, el número de cortes y el avance ó profundidad de material removido.

Capítulo 8: Fluidos de Corte

8.1 Generalidades.

La pérdida de dureza que experimentan los filos con el calor originado por el corte de los metales, indujo a los técnicos a buscar unos procedimientos para conservar la capacidad de corte de las herramientas, refrigerando sus filos.

Los primeros ensayos son relativamente recientes. Se realizaron mediante líquidos y particularmente con agua.

Hasta el año 1880 no se empleó la refrigeración de las herramientas.

En su memoria sobre el corte de los metales, F. W. Taylor menciona, que hacia el año 1890, en algunas fábricas americanas existían unas instalaciones que permitían enviar sobre las herramientas grandes chorros de agua saturada con sosa para evitar la oxidación de las piezas y facilitar el corte.

Durante la misma época se empezaba en Francia a refrigerar las herramientas con agua jabonosa mezclada con carbonato de sosa.

En la Exposición Universal de 1900 se dió a conocer a los técnicos de todo el mundo, el empleo de los aceros de corte rápido y los dispositivos de refrigeración, que produjeron una verdadera revolución en la técnica del corte de los metales.

En esta época, debido a la facultad que tenían los aceros rápidos de conservar su dureza hasta la temperatura del rojo sombra, se consideró inútil el refrigerar tales herramientas, de las cuales se creía obtener el máximo rendimiento al hacerlas producir bonitas virutas azules.

En la actualidad nadie tiene ninguna duda sobre la necesidad de enfriar los filos. El empleo en las construcciones mecánicas de metales cada vez más difíciles de trabajar, de piezas más preci

sas y con buen acabado superficial y el deseo constante de rebajar los precios de costo, han contribuido a esta evolución.

No obstante, desde que se emplean los carburos duros, el aumento de las velocidades de corte hace que la refrigeración mediante líquidos sea dificultosa. Por esta razón se ha ensayado refrigerar con gases, habiéndose registrado unos resultados muy esperanzadores.

Aunque los carburos duros sean menos sensibles a la pérdida de dureza por el aumento de temperatura debido al corte, el trabajo sin refrigeración disminuye a la capacidad de corte de estas herramientas.

8.2 Inconvenientes del Corte sin Refrigeración.

Los inconvenientes del trabajo realizado sin refrigeración se deben al calentamiento simultáneo de la herramienta, de las virutas y de la pieza.

Cuando la cuchilla es de acero rápido, puede llegar a alcanzar durante el trabajo, una temperatura a partir de la cual su dureza disminuye rápidamente.

También el calentamiento de la pieza es muy perjudicial: la dilatación falsea las dimensiones y hace imposible una comprobación precisa. En el caso de tornejar entre puntos, el alargamiento de la pieza puede agarrotar el contrapunto. Además, cuando la pieza es larga, el calentamiento puede ocasionar una deformación permanente de la misma.

Por último, la temperatura a que salen las virutas en trabajos de desbaste, puede representar un serio peligro, para el obrero si no se adoptan unas precauciones especiales para dirigir las virutas y asegurar que los órganos de maniobra de la máquina queden expeditos en todo momento.

8.3 Ventajas de la refrigeración.

La refrigeración determina siempre una mayor producción por unidad de tiempo, cualquiera que sea la calidad y tipo de herramienta empleada, puesto que proporciona las siguientes ventajas:

1) Enfría simultáneamente la herramienta y la pieza.

Con ello se evitan los inconvenientes ya relatados y se mantiene el filo a una temperatura inferior a la que corresponde a la pérdida de sus cualidades de corte.

2) Disminuye el trabajo de rozamiento, pues la lubricación facilita el deslizamiento de la herramienta sobre la pieza y el de la viruta sobre la cuchilla.

3) Reduce la potencia consumida por la máquina para la producción de un determinado peso de virutas.

4) Permite aumentar, ya sea la velocidad de corte, ya la sección de viruta, o ambas cosas a la vez.

En todos los casos, el precio de costo por kilogramo de virutas disminuye notablemente.

5) Aumenta la producción de virutas entre dos afilados de la cuchilla, y de una manera general, reduce su desgaste, por lo que su afilado es más sencillo que si trabaja en seco. Prolonga, pues, la duración de las herramientas y, por consiguiente, puede ser menor el capital invertido en las mismas.

8.3.1 Aumento de la velocidad de corte al trabajar con lubricación.

La Producción o gasto de una herramienta (cantidad de metal arrancado entre dos afilados) varía proporcionalmente con la velocidad de corte. Se deduce de muchas experiencias que si para una --

herramienta determinada (calidad de acero rápido, tratamiento térmico, ángulos de afilado), se construye primeramente la curva de producción al tornearse en seco y después la correspondiente al torneado con lubricación, en las mismas condiciones de corte, se obtienen dos curvas de forma muy parecida, pudiendo deducirse la segunda de la primera, multiplicando las velocidades de corte por un coeficiente que --- para los lubricantes generalmente empleados vale 1.5 aproximadamente, pero cuyo valor crece con la untuosidad y el poder refrigerante del líquido empleado.

La consecuencia inmediata del hecho de trabajar con refrigeración resulta ser desplazar la curva de producción hacia la derecha, es decir, que para obtener con una herramienta la misma cantidad de viruta entre dos afilados, debe aumentarse la velocidad de corte, permaneciendo constantes las restantes condiciones de trabajo.

Este desplazamiento hacia la derecha de la curva de producción será tanto más importante y por consiguiente, tanto mayor la velocidad de corte correspondiente a una producción determinada, cuando mejor sea la calidad del refrigerante empleado, permitiendo un enfriamiento enérgico de la herramienta y facilitando por su untuosidad el corte del material y el desprendimiento de las virutas.

De aquí se deduce la siguiente regla:

"Cuando se pasa a trabajar en seco a trabajar con lubricación, se debe aumentar la velocidad de corte y este aumento debe ser tanto mayor, cuanto mejor sea la calidad del lubricante".

8.3.2 Aumento de la sección de viruta al trabajar con lubricación.

Existen algunos casos en que la concepción y construcción de la máquina no permiten emplear la velocidad de corte que corresponde al aprovechamiento óptimo de la herramienta. Puede sacarse sin embargo un buen partido de esta última aumentando la sección de -

viruta (aumento de la profundidad de corte o del avance).

8.3.3 Influencia del lubricante sobre la temperatura de corte.

Veamos una gráfica con la que se puede estudiar la influencia del lubricante sobre la temperatura de corte.

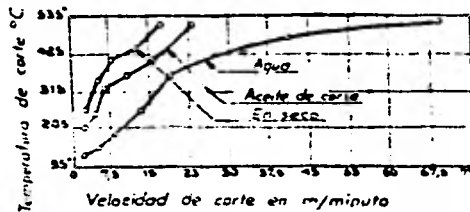


Figura 96

Esta gráfica proporciona las distintas temperaturas registradas al tornearse un acero semiduro con una cuchilla de estilita, durante unos ensayos realizados en seco, refrigerando con agua.

Puede observarse, por ejemplo, que en las condiciones de corte con que se realizaron los ensayos, el filo se pone a 400°C a la velocidad de 7.5 metros por minuto trabajando en seco.

Debido a la refrigeración por agua, se ha podido trabajar a una velocidad de 24 metros por minuto sin alcanzar aquella temperatura.

8.4 Estudio de los distintos refrigerantes.

El estudio de los "líquidos de corte" resulta siempre delicado y complejo, porque los experimentadores no están de acuerdo sobre la preparación de los mismos.

Sin embargo, no deben exagerarse estas diferencias - de apreciación que provienen principalmente de problemas económicos de los distintos países.

Y así ocurre, que para países diferentes, la facilidad de aprovisionamiento y precio de adquisición de determinados productos son muy distintos. Por esta razón, los estudios sobre líquidos de corte realizados en naciones distintas, algunas veces difieren y aparentemente resultan contradictorios.

8.4.1 Influencia del empleo de un líquido de refrigeración sobre las condiciones de corte.

Los fluidos de corte tienen cinco funciones principales:

- El enfriamiento
- La Lubricación
- La Protección contra la oxidación.
- La limpieza.
- El arrastre de las virutas.

a) Enfriamiento.

En el caso del acero rápido debe evitarse el calentamiento de la plaquita, que conduce inevitablemente a su ablandamiento y reduce su duración.

El enfriamiento también es muy conveniente para la pieza, puesto que disminuye las deformaciones debidas al calor desarrollado por el corte. Además, facilita la formación de la viruta al reducir el rozamiento entre éste y la cuchilla.

b) Lubricación.

La adherencia de la película de lubricante y su ac-

tividad química impiden la formación del filo recreado y facilitan el mecanizado.

c) Protección contra la oxidación.

Está generalmente asegurada con el empleo de líquidos apropiados.

d) Limpieza.

La limpieza se realiza con eficacia y principalmente los óxidos y las partículas metálicas son arrastradas por el refrigerante.

e) El Arrastre de las virutas.

En algunos casos, los fluidos de corte facilitan la evacuación de las virutas, particularmente en los trabajos donde se -- desprenden con dificultad y resultan un peligro para la herramienta.

8.4.2 Tipos de aceites de corte.

Actualmente se emplean numerosos fluidos de corte. Se clasifican en tres grandes categorías:

- Aceites de Corte.
- Aceites solubles.
- Gases refrigerantes.

Generalmente los aceites de corte se subdividen en:

- Aceites minerales puros.
- Mezclas de aceites minerales.
- Mezclas de aceites animales y aceites minerales, o Aceites Mixtos.
- Aceites sulfurados, animales o minerales.

- Aceites solubles.

a) Aceites minerales puros.

Empleados en el mecanizado de aceros, bronce y metal antifricción.

Se emplean principalmente en las máquinas automáticas puesto que poseen cualidades de enfriamiento y engrase simultáneamente.

Los aceites grasos casi no se emplean en la actualidad a consecuencia de su mal olor; los sustituyen los aceites sintéticos.

b) Mezclas de aceites minerales

Las mezclas de aceites minerales, tienen numerosas aplicaciones, siendo más corriente su empleo que el de las mezclas de aceites minerales y animales, llamados aceites mixtos.

c) Aceites Mixtos.

Son mezclas, en proporciones, variables, de aceites minerales y aceites animales.

Se emplean en las máquinas automáticas de roscar y facilitan la separación y el deslizamiento de las virutas.

Desgraciadamente su empleo está limitado por las afecciones de la piel que pueden originar:

d) Aceites sulfurados.

Una adición de azufre, en cantidad conveniente, aumenta el poder refrigerante del aceite, así como sus propiedades lubri-

cantes y de corte.

También impide el recrecimiento del filo, por lo que con el empleo de los aceites sulfurados se ha conseguido un gran progreso en el corte de los metales.

Los aceites sulfurados se dividen en tres grupos:

- a) Aceites minerales o vegetales, con adición de azufre.
- b) Aceites minerales con contenido de azufre activo al 3%.
- c) Aceites básicos sulfurados, compuestos de una grasa animal con un 10% a 20% de azufre activo, diluído en un aceite mineral.

Estos aceites se emplean para cortar aceros dulces y aceros especiales, particularmente los aceros inoxidables y los aceros con alto contenido de níquel. El azufre como se sabe, favorece el trabajo de las cuchillas.

Los aceros dulces requieren un contenido alto de azufre, los aceros más duros precisan menos cantidad.

Los aceites sulfurados son muy convenientes para las cuchillas que deben sufrir un gran rozamiento, además del propio de la viruta, como es el caso de las brocas, fresas, machos, etc.

No deben emplearse para cortar los metales no férreos, puesto que los manchan.

- e) Aceites transparentes de corte.

La tendencia actual es sustituir los aceites de corte, que generalmente son opacos, por unos aceites transparentes. Estos últimos son muy convenientes cuando el obrero debe observar la cuchilla y la pieza durante el trabajo. Cuando las tolerancias del méca-

nizador son rigurosas y debe medirse la pieza sin parar la máquina, el empleo de un líquido de esta clase no interrumpe el trabajo de comprobación.

Este es el caso, por ejemplo, de los tornos automáticos, donde el obrero puede comprobar las piezas trabajadas en el mínimo de tiempo.

Los aceites transparentes de corte contienen un porcentaje relativamente elevado de elementos especiales, que dan a la emulsión una determinada transparencia.

Desde hace algunos años el empleo de los aceites transparentes de corte está muy extendido en los trabajos de rectificado, especialmente en el rectificado de filetes y perfiles de dientes, pues permiten al obrero vigilar debidamente su trabajo, al mismo tiempo que disminuye el desgaste de las ruedas.

Además, estos aceites disminuyen la oxidación de las piezas trabajadas.

No obstante tienen dos efectos, puesto que no disipan el calor tan rápidamente como las emulsiones de aceites solubles y son susceptibles de formar una niebla con peligro de ocasionar un incendio.

Por este motivo la utilización de los aceites transparentes requiere de máquinas con un equipo apropiado.

f) Aceites Solubles.

Los llamados aceites solubles se emplean muchísimo en el corte de los metales.

Aunque corrientemente se les llama aceites solubles, debe indicarse que raramente son solubles en agua. Sin embargo, se combinan con el agua formando una emulsión por cuya causa algunos téc-

nicos prefieren llamarles aceites emulsionables.

Son unos excelentes refrigerantes, puesto que generalmente llevan del 70 al 90% de agua, por lo que se procura emplearlos siempre que sea posible.

Generalmente se emplean en las operaciones de mecanizado a gran velocidad, pues la función principal en este caso es refrigerar la cuchilla, más que la de lubricar.

Por otra parte, cuando las secciones de viruta son importantes, no ejercen ninguna acción contra la formación del filo recrecido.

Entre Los aceites solubles pueden distinguirse:

- Los Aceites Solubles opacos.
- Los Aceites Solubles transparentes.
- Los aceites solubles para trabajos duros.

8.5 Como debe refrigerarse una cuchilla.

Por lo general cuando se refrigera una cuchilla, especialmente en el torneado, el filo queda sin refrigerar ni lubricar, o bien lo es de una manera intermitente, lo que constituye una dificultad para su conservación.

De un tiempo para acá se ha intentado refrigerar la herramienta, no precisamente por encima, sino por debajo.

De esta manera se obtiene una lubricación eficaz y se elimina bastante mejor el calor.

Por este procedimiento se dirige el líquido a gran velocidad desde la parte inferior hasta el filo, como se indica en -- la figura.

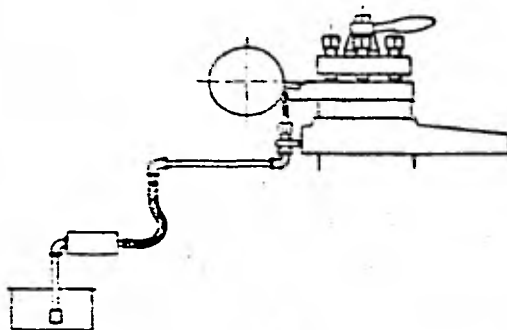


Figura 97

Los chorros del líquido refrigerante ascienden a través del hueco en forma de cuña, que existen entre la pieza y la cara de incidencia de la cuchilla, y se dirigen hacia el filo. Una parte del aceite pasa a la zona superior del filo, entre la viruta y la cuchilla, lubricando así muy eficazmente a esta última y mejorando la dispersión del calor.

La prueba de que realmente pasa el aceite a la parte superior del filo consiste en el aspecto de las virutas desprendidas, que están recubiertas de aceite.

Por sí sola la presión del aceite, que es de algunas decenas de kg./cm^2 , no es suficiente para hacer pasar el líquido a la parte superior del filo, es decir, a una región donde existe una presión de corte muy elevada.

Sin embargo, puesto que la temperatura de filo es muy superior a la temperatura de ebullición del líquido, este último se

vaporiza y puede atravesar los minúsculos huecos existentes entre el filo y la superficie de la pieza.

Para su vaporización, el líquido refrigerante absorbe una cantidad de calor considerable de la región donde la temperatura es más elevada, es decir, del filo.

El equipo de refrigeración consiste en una tobera o una serie de ellas, un tubo flexible y un grupo motobomba de pequeño caudal que puede proporcionar una presión de 30 kg/cm^2 .

Los ensayos practicados han permitido comprobar que la naturaleza del líquido empleado para refrigerar la cuchilla ejercía una influencia considerable sobre los resultados obtenidos.

Para establecer una clasificación correcta de los resultados, se miden rigurosamente las temperaturas alcanzadas por el filo de la cuchilla, utilizando la pieza y la herramienta como par termoeléctrico. Se emplean herramientas afiladas cuidadosamente en montajes apropiados, según sean las condiciones de acabado superficial. En todos los casos, las dimensiones de las cuchillas son las recomendadas para la clase de acero que se trabaja.

De unos 600 ensayos efectuados, la mayor parte se referían a los aceros al carbono y al cromo níquel, trabajados con herramientas de acero rápido. Los valores medios obtenidos se indican en la tabla 3.1.

Se hicieron otros ensayos complementarios, por una parte sobre aceros al carbono y aceros al cromo níquel con cuchillas de acero rápido y por otra sobre aceros al cromo níquel con 0.8% de Mn y 0.5% de C, con cuchillas de carburo duro.

También se han comprobado muy buenos resultados en el mecanizado de las aleaciones de titanio. Una de las características

Tabla 8. Resultados medios de los ensayos efectuados torneando distintos aceros con diversos aceites de corte

Acero trabajado	Condiciones de trabajo			Herramienta empleada Cuchilla de cilindrar							Duración de la herramienta		
	Velocidad tangencial por minuto	Avance por vuelta	Profundidad de pasada	Angulo total de incidencia frontal	Angulo total de incidencia lateral	Angulo de incidencia frontal	Angulo de incidencia lateral	Angulo de posición frontal	Angulo de posición lateral	Radio de la punta	Refrigeración convencional		Refrige- ración de abajo hacia arriba
											Acero de corte empleado	Dura- ción min.	
Ni = 1.25 % Cr = 0.65 % Mn = 0.80 % C = 0.40 %	33 m	0.28 mm	3.8 mm	10°	12°	8°	10°	6°	6°	1.2 mm	Acete mineral y acete animal	10.02	117
											Acete mineral sulfurado	12.60	
Ni = 1.25 % Cr = 0.70 % Mn = 0.80 % C = 0.50 %	42 m	0.28 mm	3.8 mm	10°	12°	8°	10°	6°	6°	1.2 mm	Acete mineral sulfurado	9.3	339.5
											Acete mineral sulfurado y acete animal	21.0	
											Acete animal sulfurado	16.0	
											Acete mineral y acete animal	23.0	
Acero con 0.20 % de C	64 m	0.84 mm	3.2 mm	0°	8°	8°	8°	8°	5°	0.8 mm	Acete soluble	1.27	19.5
Inoxidable	19 m	0.28 mm	3.8 mm	10°	12°	8°	10°	6°	6°	1.2 mm	Acete mineral	9.4	163.4

Todas las herramientas empleadas eran de acero rápido 18-4-1.

más sorprendentes de estos ensayos fue la constancia de los resultados con el nuevo procedimiento. Las variaciones en la duración de las cuchillas nunca fueron superiores a $\pm 25\%$. En general eran inferiores o iguales a un $\pm 10\%$.

8.5.1 Aplicaciones a Diversas máquinas Herramientas.

Si se reconoce la importancia, no solamente de la lubricación, sino también de la manera de refrigerar el filo de las cuchillas en los trabajos de mecanizado y en particular en el torneado, es preciso sin embargo confesar que por lo general se refrigeraba mal.

No es cuestión de criticar los antiguos sistemas, en los que el líquido caía gota a gota, como lamentando el tener que hacerlo, sino las realizaciones actuales, que no siempre están bien concebidas.

En las siguientes páginas se muestran algunas aplicaciones sobre diversas máquinas herramientas que representan claramente las distintas concepciones ideadas en este terreno.

8.5.2 Depuración.

Para los trabajos delicados se recomienda intercalar un depurador en el circuito de refrigeración; de lo contrario, las partículas metálicas que son arrastradas por el líquido de refrigeración, volverían a caer sobre las piezas y perjudicarían el acabado superficial.

Con los filtros magnéticos puede realizarse la captación de las partículas férricas de tamaño coloidal que escaparían a la decantación, todo ello gracias a unos imanes permanentes de gran potencia.

La intensidad, la velocidad y la fuerza con que son -

atraídas las partículas metálicas son tales, que también las impurezas no magnéticas son arrastradas mecánicamente en el movimiento de los coloides metálicos hacia los imanes.

Es evidente que el aparato no tiene utilidad alguna - para la depuración de líquidos cargados únicamente de partículas no magnéticas.

La práctica demuestra que la eficacia de un filtro -- magnético moderno es como mínimo del 95%.

8.5.3 Dificultades encontradas en los trabajos a gran velocidad.

El aumento considerable de las velocidades de corte obtenido con el empleo de las cuchillas con plaquita de carburo duro hace cada vez más difícil la refrigeración de las herramientas.

En la mayoría de las máquinas herramientas, los medios de protección contra las proyecciones del líquido son generalmente poco eficaces; incluso puede decirse que no existen. Por eso, el lubricante se proyecta en todas direcciones, salpicando obreros, piezas, -- máquinas, aparatos de verificación, en fin, todo lo que se halla en -- las proximidades de la máquina; además se mancha el suelo del taller.

En algunos casos, el problema se ha solucionado suprimiendo al refrigeración y trabajando en seco, pero esta medida reduce la duración de las cuchillas y trae consigo todos los inconvenientes - citados anteriormente a consecuencia del calor producido por el corte, que se refleja en la herramienta y en la pieza trabajada.

Para suprimir las proyecciones del líquido de refrigeración, algunos investigadores han intentado retenerlas mediante unos cepillos convenientemente situados en las proximidades del filo, pero tales remedios no son practicables en la mayoría de los trabajos. Por eso, la tendencia actual consiste en sustituir los líquidos de refrigeración por gases a presión.

8.6 Gases Refrigerantes.

Las molestias ocasionadas por las proyecciones del líquido indujeron a los investigadores a buscar una manera de sustituir los líquidos lubricantes y emplear el aire comprimido, u otros gases, como medios de refrigeración de los filos.

Numerosos ensayos realizados con nitrógeno, y el anhídrido carbónico debían abandonarse a consecuencia del elevado costo de la operación.

Por el contrario, el aire comprimido ha dado excelentes resultados, sobre todo cuando en el flujo gaseoso se introduce una ligera cantidad de aceite para formar una niebla lubricante.

8.6.1 Refrigeración de las cuchillas mediante aire comprimido con aceite en suspensión.

La lubricación de las cuchillas por niebla de aceite se hace mediante un aparato que distribuye el aceite gota a gota en una corriente de aire a presión, transformándolo en neblina.

Delante del depósito de llegada del aceite se coloca un regulador, para graduar exactamente la presión del aire introducido. Con el fin de purificar y desecar el aire, en el conducto del lubricador se monta un filtro.

Este procedimiento se emplea actualmente con éxito en los trabajos a gran velocidad y siempre que es difícil llegar al filo.

8.6.2 Incóvenientes de la refrigeración por gases a presión.

Mientras esperamos la época dichosa en la que el empleo de elevadísimas velocidades de corte reducirá la potencia absorbida, gracias a la fluidez de las virutas cortadas por cuchillas in-

sensibles a la temperatura del corte, la cual no tendrá influencia sobre la precisión de las medidas en piezas auto-refrigeradas, los líquidos o gases refrigerantes no deben abandonarse.

Aunque el aire comprimido ha dado excelentes resultados al cortar a grandes velocidades, ofrece, sin embargo, dos pequeños inconvenientes que no pueden pasarse por alto, aunque no -- constituyen un obstáculo para su empleo como refrigerador en el -- corte de metales.

El primero es el silbido que produce el aire al ser enviado a presión contra la cuchilla; este ruido se nota, especialmente, cuando al encontrar el aire un obstáculo retrocede violentamente, como en el caso de un agujero ciego, por ejemplo.

El segundo inconveniente está en el hecho de que la refrigeración por aire comprimido favorece la proyección de las virutas al espacio. En el caso de piezas oxidadas, proyecta la cascarrilla sobre las guías de la máquina. Por esta razón se recomienda el empleo de protectores eficaces, cuando la proyección de las virutas llega a representar un peligro para el obrero.

Sin embargo, es preciso indicar que el inconveniente citado es una ventaja cuando las virutas tienen tendencia a apelmazarse.

Capítulo 9: Maquinabilidad.

9.1 La Medición de la Maquinabilidad.

El término "maquinabilidad" tiene un significado diferente para diferentes personas. Puede definirse la maquinabilidad como la capacidad de un metal para un procesado rápido en una máquina del taller por procedimientos de rutina. La persona encargada de producción juzga la maquinabilidad de un metal por las limitaciones de la rapidez de producción, la vida de la herramienta, el acabado superficial y las necesidades de potencia en una operación particular. Para un metalurgista, la maquinabilidad es una propiedad compleja que controla el comportamiento del metal en el corte. Como otras Propiedades, está controlada por la composición y la microestructura del metal.

La maquinabilidad de un metal se mide por medio de una operación de corte. Como ya se mencionó anteriormente el grado de maquinabilidad no se puede obtener de las pruebas de dureza y de tensión. Hay muchas razones por las que no debería esperarse que las pruebas mecánicas convencionales indiquen cualidades de maquinado. Aunque las propiedades de un material están controladas por la composición y la microestructura, la correlación entre las propiedades es usualmente demasiado general para ser útil.

La dureza se ha usado frecuentemente como una indicación de maquinabilidad. Desafortunadamente, como siempre, las diferencias en composición, que tienen una influencia muy marcada sobre la calidad del corte, no afectan la dureza o la resistencia. Inversamente, algunos cambios que aumentan la resistencia del metal permiten que se maquinen a velocidades más altas.

La maquinabilidad es una propiedad muy elusiva para medirla. Como otras propiedades de los metales, la calidad del maqui

nado no es neteramente independiente del medio ambiente. De hecho, la maquinabilidad relativa de las diferentes aleaciones puede variar con la operación de corte.

Existen diversos métodos para medir la maquinabilidad de los cuales los dos más usuales son:

a) La prueba en un torno de presión constante desarrollando por Battelle en conjunto con Ussteel y que consiste en aplicar una fuerza constante por medio de poleas sobre el mecanismo de avance de la herramienta.

La prueba consiste en cortar un acero estandar y varias muestras desconocidas por una distancia de dos pulgadas, con la misma herramienta. Los cortes se hacen en el estandar al principio, en medio y al final de los cortes del grupo de muestras. Ordinariamente una muestra de acero S1112 se usa como el estandar para comparar. Las calibraciones de maquinabilidad se basan en los resultados obtenidos con seis herramientas para compensar por las variaciones no-intencionales en las condiciones de la herramienta. Las gradaciones se basan en la suposición que los aceros con mejor maquinabilidad cortan mejor en la prueba.

El índice de maquinabilidad de una muestra es igual a:

$$\frac{\text{Alimentación de corte promedio en la muestra} \times 100}{\text{Alimentación de corte promedio en el estandar}}$$

Para asegurar los resultados reproductibles son necesarias varias precauciones. La forma y acabado de la herramienta, la presión de corte y la velocidad superficial de la pieza deben ser controladas. Las condiciones que se encontraron adecuadas para las pruebas de aceros Bessemer de corte fácil incluyen lo siguiente:

Velocidad: 75 a 85 pies (de la superficie) por minuto.

Empuje: 81 libras por corte de 1/8 de pulgada de profundidad en torneado.

Herramientas: Herramientas de aceros rápidos con ángulo de desahogue de 12 grados al igual que los ángulos de libramiento laterales. Las herramientas deben ser desbastadas y asentadas antes de cada prueba.

b) La prueba de corte en un torno múltiple.

Esta prueba consiste en maquinar en un torno múltiple una pieza estándar (p. ej. una cabeza de bujía). La medición del desgaste de la herramienta, el tiempo de corte o la calidad superficial de la pieza que se produce son mediciones de la maquinabilidad.

9.2 La influencia de los elementos de aleación en la maquinabilidad.

9.2.1 Acero al Carbono de Corte Libre (Free Cutting).

Los aceros al carbono de corte libre son aquéllos a los que se ha agregado azufre, fósforo o plomo por mejorar su maquinabilidad. Comprenden la serie 1100 y 1200. Estos aceros se pueden clasificar en tres categorías.

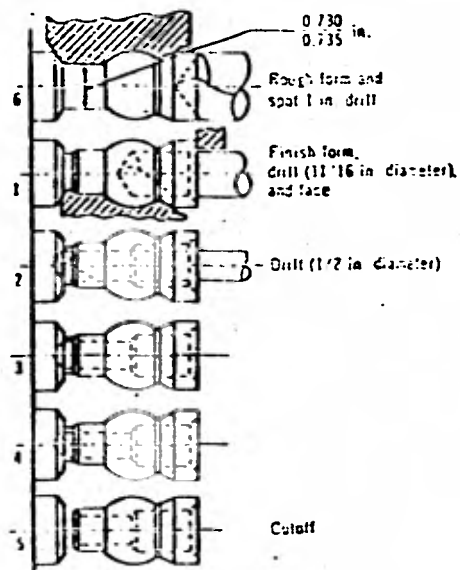
a) Resulfurados y refosforados. (p. ej. 1213).

b) Resulfurados con plomo (p. ej. 1244).

c) Resulfurados con plomo y bismuto o con otros aditivos
(no de fabricación nacional).

Figura 98

Posiciones de maquinado en una máquina automática utilizada para pruebas de maquinabilidad (En la posición 3 se utiliza usualmente una herramienta para pulido)



9.2.1.1 Aceros Resulfurados refosforados.

Contienen de 0.10 a 0.35 de azufre y de 0.07 a 0.12 de fósforo. Uno de los grados más comunes el 1213, puede llevar hasta 0.33 de azufre.

El azufre es el elemento de aleación más utilizado para impartir características de corte rápido a los aceros. En el acero aparece combinado con manganeso, como sulfuro de manganeso (MnS) que forma partículas secundarias en la estructura. Estas partículas actúan como fisuras internas, ayudando a la maquinabilidad.

En la U.S.S., pruebas de maquinabilidad en el torno a presión constante demostraron que la maquinabilidad disminuye a medida que el contenido de carbono aumenta. Por lo tanto, aunque esta especificación de aceros establece un contenido máximo de -- carbono de 0.13, los aceros se fabrican a niveles de carbono de - 0.10 o menos.

El efecto del silicio sobre la maquinabilidad ha - sido comprobado en numerosas ocasiones y es doble:

- a) Al estar presente como inclusiones de silicatos, que son abrasivos, reduce la vida de la herramienta.
- b) El efecto del silicio en el nivel de oxígeno del baño modifica la estructura de los sulfuros de manganeso, cambiándolas de partículas globulares a partículas finas alargadas.

Un efecto similar se observa al agregar otros deoxidantes como aluminio o en aceros deoxidados al vacío.

Por las razones anteriores en estos tipos de acero se cuida el contenido de Si y el efecto deoxidante de los elementos.

9.2.1.2 Aceros Resulfurizados con plomo.

El añadir plomo a los aceros resulfurados aumenta considerablemente la maquinabilidad.

Los aceros al plomo (p. ejm. 12L14) contienen entre .04/.09 de fósforo hasta 0.35 de azufre y entre 0.15/0.35 de plomo. El plomo tiene muy poca solubilidad en el acero y su peso específico es mucho mayor. Por lo tanto tiende a segregarse y debe tenerse

gran cuidado para añadirlo en el lingote. Normalmente esto se hace durante el colado de los lingotes, añadiendo al chorro de metal líquido "balas" de plomo a una velocidad predeterminada para lograr una buena distribución en el lingote solidificado.

El plomo se presenta en la microestructura asociado a las inclusiones de Mns. Durante el maquinado, estas inclusiones (que son blandas) actúan como un lubricante y reducen las fuerzas de fricción y la longitud de contacto entre la herramienta y la viruta. Esto mejora la vida de la herramienta y el acabado superficial de las partes maquinadas. Así mismo el plomo disminuye el tamaño de la viruta, lo que facilita el manejo de estas durante el maquinado, especialmente en máquinas de alta velocidad.

9.2.1.3 Aceros resulfurizados con otros aditivos.

Los efectos en la microestructura son los siguientes:

- a) Bismuto: Se combina con el plomo para formar una aleación Bi-Pb y se deposita asociado con la partícula de Mns.
- b) Cerio: Promueve la globulización del Mns y forma compuestos complejos asociados en estas inclusiones.
- c) Selenio y Telurio: Promueve la globulización del Mns y forma también compuestos complejos de Te/Se con S y O. Su efecto en la maquinabilidad es reducir la superficie de contacto entre la viruta y el metal, lo que mejora la superficie de la pieza maquinada y reduce el tamaño de la viruta.

En general estos elementos se añaden en aceros de aleación (4140, 4340) para mejorar la maquinabilidad. Estos aceros no son fabricados en México.

9.3 La influencia de la Microestructura en la maquinabilidad.

Como regla general se pueden establecer los siguientes criterios:

a) En aceros laminados en caliente con contenido de carbono menores a 0.3% la estructura blanda dificulta la maquinabilidad. En estos aceros, los tratamientos térmicos usuales de normalizado o recocido no tienen gran efecto en la maquinabilidad y lo óptimo es obtener una estructura endurecida. En estos aceros, generalmente se les da un tratamiento posterior de estirado que mejora considerablemente la maquinabilidad.

b) En acero con contenido de carbón superior a 0.30% la estructura metalográfica óptima es aquella que tenga una distribución gruesa de carburos, como la que se obtiene en un proceso de normalizado. En estos aceros el efecto al estirado en frío sobre la maquinabilidad es menos marcado.

c) En aceros con contenido de carbon superior a - - 0.50% la estructura metalográfica óptima es la esferoidizada. En estos aceros debe evitarse la formación de estructuras finas, (tales como las obtenidas de templeado y recocido) ya que esto reduce considerablemente la maquinabilidad.

9.4 Maquinabilidad de barra estirada en frío.

Como ya se mencionó anteriormente, la maquinabilidad de los aceros puede ser modificada por varios medios:

a) Por adición de elementos de aleación (S, Te, Se, Pb, etc.).

b) Por tratamiento térmico.

c) Por trabajo mecánico de estirado en frío.

El efecto del tercer tratamiento, trabajo mecánico por estirado, es más evidente en acero de bajo carbono, aunque también se manifiesta en materiales de contenido de carbono superior a 0.30%. Sin embargo, estos aceros, que generalmente presentan menor ductilidad después del estirado, pueden reducir su maquinabilidad, debido al excesivo aumento de dureza. Por esta razón se les da generalmente un tratamiento de relevado de esfuerzos.

Una de las consecuencias útiles del estirado en frío, es el efecto en el acabado superficial después del maquinado. Esto se debe a que debido al trabajo mecánico la viruta es más frágil -- y por lo tanto tiene menor tendencia a producir un contacto prolongado entre herramienta y metal.

9.5 Efecto de los Esfuerzos residuales sobre el maquinado.

Una de las consecuencias del estirado en frío es la generación de esfuerzos residuales, los cuales tienen los siguientes efectos:

a) En la pieza maquinada causan una reducción aparente de la resistencia mecánica de la pieza y en ciertos casos, - pueden dar lugar a fracturas.

b) Durante el maquinado (especialmente en operaciones de taladro, maquinado de cuñas o similares) puede producir distorsión y una reducción en la vida de la herramienta.

9.6 La maquinabilidad de las fundiciones en función de sus microconstituyentes.

Los Hierros y los Aceros tienen muchos microconstitu-

yentes comunes. Sin embargo, el hierro fundido contiene grafito libre, mientras que el Acero no lo tiene.

Los constituyentes del Hierro Fundido son:

- Grafito Laminar.

Vetas negras indican Grafito Laminar. Las láminas pueden ser largas o cortas, dependiendo del tipo de enfriamiento. Las láminas largas son asociadas con enfriamiento lento. El Grafito Libre es blando y actúa además como agente lubricante durante el maquinado.

- Grafito Nodular.

Cuando el Grafito Libre forma de nódulos, como en el Hierro Nodular, es Hierro dúctil, la vida de la Herramienta es eminentemente mejorada.

- Ferrita.

Las áreas blancas en la fundición representan a la Ferrita, que es prácticamente hierro libre de carbono. La Ferrita libre está presente en cantidades de hasta un 10% en Hierro Bruto de Fundición, y se incrementa a 50% ó más por Recocido de ferritización. La presencia de Ferrita libre es extremadamente beneficiosa para la vida de la herramienta, porque es el constituyente más blando del Hierro después del Grafito.

- Perlita.

Una estructura perlítica tiene apariencia de rayas alternadas negras y blancas, blancas por Ferrita y negras por Carburo de Hierro. Se forma Perlita gruesa cuando el tipo de enfriamiento es suficientemente lento y el Hierro no es muy aleado. La

Perlita fina está asociada con un tipo de enfriamiento rápido, bajo contenido de Carbono, bajo contenido de Silicio y presencia de constituyentes aleados. A causa de que la Perlita es 50% más dura que la Ferrita, produce una corta vida a la herramienta.

- Carburos libres.

Los carburos libres suelen ocurrir en hierro que ha tenido un enfriamiento rápido y esta formación es acelerada por el Cromo, azufre, vanadio, etc. La presencia de 3 a 5% Carburos libres es perjudicial para la vida de la herramienta.

- Estructura Acicular.

Se produce un hierro más resistente adicionando Cromo, Níquel y Molibdeno y es difícil de trabajar por el tipo de estructura resultante.

- Hierro Blanco. Fundición Blanca.

Bajo condiciones de enfriamiento extremadamente rápidas, como sucede en planchas fundidas finas, se forma una estructura de 50% de Perlita fina y 50% de Carburos sin Grafito libre. Esta estructura es muy dura y es virtualmente inmaquinable.

Si la microestructura es la única guía confiable para la maquinabilidad del Hierro Fundido, la estructura deberá ser conocida antes de ser maquinada, ya que influiría notablemente sobre la operación.

Capítulo 10 : Aspectos Económicos.

10.1 Introducción .

La economía en un proceso de mecanizado está íntimamente relacionada con el término maquinabilidad ampliamente visto en el capítulo correspondiente. La forma más clara de entender la economía en términos generales está dada por la comparación de la inversión de recursos contra los beneficios obtenidos. En el caso de un proceso de mecanizado, el beneficio obtenido está dado por el rango de remoción medido en unidades de volumen por unidad de tiempo. Los recursos invertidos están dados por la inversión de herramientas, la inversión en mano de obra, desgaste de la máquina empleada y gastos generales de fabricación. La inversión en herramientas a su vez puede ser subdividida en algunos conceptos, como son : el costo de la herramienta, el costo de reposición, cambio o afilado y finalmente el costo de la mano de obra involucrado en realizar la anterior tarea. La mano de obra es un factor a considerar en el costo total del mecanizado- sin embargo, pensando en condiciones constantes de costo de mano de obra, el costo respectivo será constante por unidad de tiempo. El desgaste de la máquina empleada es un factor que si bien resultaría algo --- compleja el determinar su costo, es importante tenerlo presente cuando se desea obtener un proceso de mecanizado económico ; teóricamente, todo bien de capital tiene una cierta vida útil desde el punto de vista financiero, en términos teóricos nuevamente, es supuesto que una vez que ese equipo - ha concluido su vida útil, sin ningún riesgo financiero podría desecharse y reemplazarse ; en la realidad, lo que suele ocurrir es por un lado que - por el trato dado a la máquina no llegue a su vida presupuestada o de llegar, lo logre con un elevado costo de mantenimiento y por otro lado, que debido a situaciones particulares de las empresas es necesario trabajar - con equipos viejos, en cuyo caso el inconveniente resulta ser que de no - considerarse el estado de la máquina en el establecimiento de parámetros, el equipo pasa más tiempo en reparaciones que disponible para la producción. Hablando de equipo en buen estado, es un hecho que cuidando factores como potencia demandada contra potencia disponible, empujes radial y

axial máximos permitidos por la maquina, fijación de pieza y herramientas, posicionamiento adecuado y rigidez de pieza y partes de máquina involucradas, el desgaste de la maquina será un término que no haya que considerarse en el costo del mecanizado. Finalmente los gastos generales de fabricación permanecen también constantes por unidad de tiempo.

De los factores antes mencionados, se aprecia claramente que la economía en un proceso de mecanizado está influida determinante por el uso adecuado de la herramienta, por lo que a continuación hablamos ampliamente a este respecto.

Lo que finalmente decide la productividad del proceso, es la duración del filo, ya que la finalización de éste, implica en la mayoría de los casos un reafilado o reposición del inserto, operación que relativamente toma mucho tiempo; desde luego el tratar de hacer durar mucho la herramienta no debe hacernos caer en el otro extremo - que sería gran vida pero bajísima remoción. De lo anterior se deduce la importancia de entender el fenómeno del desgaste de las herramientas y los factores involucrados.

10.2 El desgaste

El desgaste de una herramienta es un fenómeno que se presenta gradualmente en la herramienta a medida que ésta trabaja. El desgaste se presenta por diversas causas que finalmente ocasionan: - adhesión, abrasión y difusión.

La adhesión consiste en la fractura de asperezas formadas por los dos metales soldados entre sí. La unión de ambos materiales se forma como parte del mecanismo de la fricción; cuando estas uniones se fracturan, pequeños fragmentos del material de la herramienta pueden ser arrancados y arrastrados por la viruta o por la superficie nueva de la pieza. La abrasión ocurre cuando partículas endurecidas localizadas en la viruta pasan sobre la superficie de desprendimiento de la herramienta y remueven partículas de material de la he--

rramienta. El origen de las partículas endurecidas puede deberse a la existencia de un filo recrescido transportado por la viruta ; a partículas de la herramienta transportadas en la viruta por desgaste por adhesión o constituyentes duros del material trabajado. Finalmente la difusión consiste en el desplazamiento de los átomos de una red cristalina metálica de una red de concentración atómica alta a una baja. Esta es la difusión en estado sólido y depende de la temperatura existente, la relación entre difusión y temperatura es exponencial. La situación entre material y herramienta y las altas temperaturas generadas en el proceso de corte ofrecen las condiciones para que la difusión se presente, este proceso se da en una zona muy estrecha entre herramienta y material debilitando la estructura de la primera de estas.

Algunos autores mencionan también el desgaste por descomposición química y por deformación plástica. La primera de ellas consiste en la generación de reacciones químicas en la zona de contacto, la temperatura es también la principal causante ya que después de rebasar su valor crítico se origina la disolución del aglutinante, hablando de los carburos, en el material de la herramienta, debilitando la adhesión entre partículas de la herramienta y permitiendo su desprendimiento por medio de la viruta. La deformación plástica es el fenómeno que va modificando la forma original del filo, logrando redondear las aristas del corte, ocasionando con esto un incremento de temperatura en el proceso dado que es ligeramente alterado el mecanismo teórico de formación y desprendimiento de la viruta.

Los anteriores son los tipos de desgaste que pueden darse en el proceso; sin embargo, la forma física en que ellos desgastan a la herramienta o los lugares de la herramienta que se ven afectados por aquellos tipos de desgaste son ; en la superficie de desprendimiento, donde el desgaste se observa con la aparición del conocido cráter, el cual surge en la zona de fluencia de la viruta sobre esta superficie. Y en la superficie de incidencia, flanco o frente de la herramienta en la zona de rozamiento entre esta superficie y la superficie maquinada. La creación del cráter como consecuencia de una o varias de --

las causas originalmente explicadas, debe su existencia en buena parte a la temperatura; en el caso de los aceros rápidos, la creación será por ablandamiento térmico del material; en el caso de los carburos, si bien es cierto que sus propiedades, entre ellas dureza, son mantenidas a altas temperaturas, la difusión en estado sólido, sí se presenta y es la causa del desgaste. Una determinación del grado de desgaste consiste en las dimensiones de profundidad y ancho del cráter. Una indicación del uso óptimo de la herramienta podría ser el emplearla hasta que las dimensiones del crater fueran máximas; sin embargo, después de cierto grado de desgaste, éste se incrementa a una velocidad mucho más elevada, lo que origina inevitablemente la fractura de la herramienta. Sobre todo cuando se emplean insertos indexables, es de vital importancia el evitar la fractura de la herramienta, ya que traería consigo la pérdida de los filos aún aprovechables. La figura No. 99 muestra la formación del cráter.

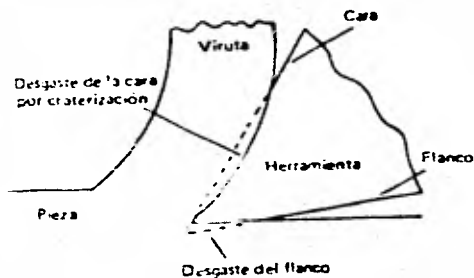


Figura 99 : Zonas de desgaste de la herramienta en el corte de metales

El desgaste en la superficie de incidencia es frecuentemente usado como una medida de desgaste cuya medición resulta prácticamente fácil, en la figura número 100 se muestra el comportamiento de este desgaste en función del tiempo de corte.

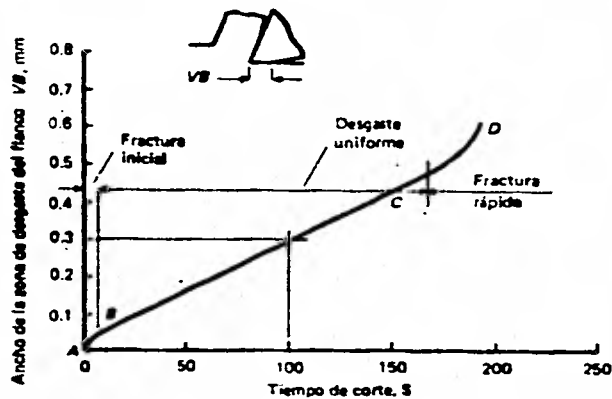


Figura 100 : Desgaste del flanco de una herramienta de carburo, a una velocidad de corte de 1 m/s en función del tiempo

La figura 101 muestra la presencia de ambos desgastes en una herramienta. Con base en la nomenclatura que aparece en esta última figura, se han desarrollado por la ISO ciertos criterios para la determinación de la duración de las herramientas, estos criterios fueron divididos en dos grupos dependiendo del material de herramienta. El primer grupo es para acero rápido y cerámicas; para estos los criterios establecidos son : cuando $VB=0.3$ mm si el flanco está desgastado regularmente en la zona B o $VB_{max}=0.6$ mm si el flanco está desgastado irregularmente, rayado, astillado o muy ranurado en la zona B.

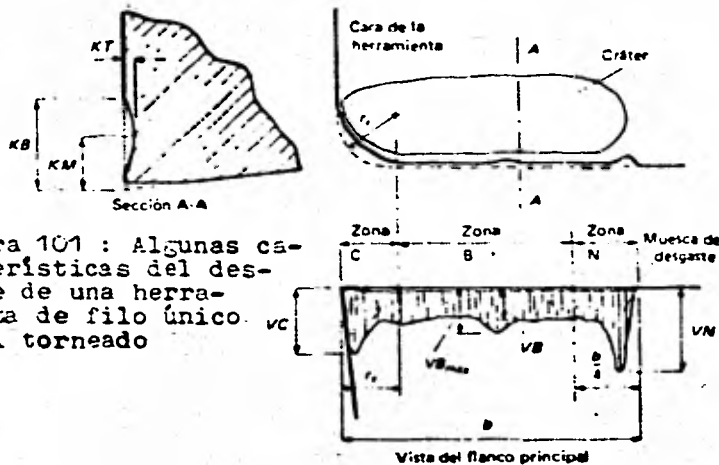


Figura 101 : Algunas características del desgaste de una herramienta de filo único en el torneado

El segundo grupo corresponde a los carburos sinterizados y sus criterios de duración están dados por : cuando $VB=0.3$ mm, o, cuando $VB_{max}=0.6$ mm, si el flanco está desgastado irregularmente o, - - - - $KT=0.06 + 0.3 f$, en donde f es el avance. Los criterios antes presentados son indicadores de que la herramienta ha llegado a su zona de consistencia crítica, por lo que podemos considerar como duración de la -- herramienta, al tiempo en el cual una herramienta logre un criterio de duración.

Tabla 102 : Velocidad de corte y duración de la cuchilla

Aumentos sucesivos de la velocidad	Velocidad de corte m/min	Duración de la cuchilla minutos
Velocidad de base	30	100
+ 10 % de 30	33	50 (50 % de 100)
+ 10 % de 33	36.3	25 (50 % de 50)
+ 10 % de 36.3	40	12.5 (50 % de 25)
+ 10 % de 40	44	6.2 (50 % de 12.5)
+ 10 % de 44	48.4	3.1 (50 % de 6.2)

10.3 Duración de la herramienta.

A través de un sinnúmero de investigaciones abocadas a los factores determinantes en la duración de las herramientas, en la actualidad se considera a la velocidad de corte como el de mayor influencia; este concepto es el mismo que ya detectara y desarrollara -- ampliamente Taylor a principios del siglo. Basadas precisamente en -- los experimentos de Taylor, se han establecido tablas como la que aparece en la figura 4. Esta tabla está concebida con incrementos sucesivos del 10 % y una velocidad básica de 30 metros por minuto en condiciones de corte tales que la duración para esta velocidad es de 100 -- minutos. Desde luego, esta relación velocidad-duración varía según el material de la herramienta para el resto de condiciones constantes. -- Así se comprueba, que si para el acero rápido ordinario, que es el caso de la tabla, se presenta una reducción del 50 % para un incremento en la velocidad del 10 %, para el caso del acero rápido 12 % cobalto

la reducción en duración es sólo el 40 %, para la estelita el 30 % y para los carburos sinterizados el 20 %. Las experiencias realizadas también permiten ver que arriba de cierto valor de velocidad, la temperatura alcanzada deteriora de tal manera las propiedades de la herramienta que el rango de remoción lejos de incrementarse como venía ocurriendo - hasta ese valor, empieza a disminuir, tal es el caso de la figura 103 donde se muestran los resultados de un proceso con fresa de carburo, inclinación radial positiva de 15°, ancho de corte de 150 mm, espesor de viruta de 4.7 mm y avance por diente de 1.25 mm. En esta gráfica se observa como a una velocidad mayor o menor a la crítica, 90 m/min., para este caso, las condiciones de remoción no son las óptimas. Los rangos de remoción mostrados son los logrados entre uno y otro afilado.

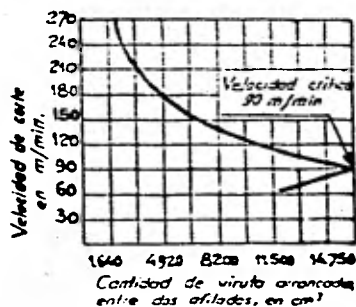


Figura 103

De lo anterior resulta evidente la importancia del conocimiento de la velocidad crítica. La velocidad crítica, sin embargo, depende también de las diferentes condiciones de corte y del material de la herramienta, por lo que en ocasiones, la única forma de determinarla - es empíricamente, que es incluso cómo los fabricantes determinan las velocidades de recomendación. Sabiendo ya la gran influencia de la velocidad de corte en la duración de la herramienta, es oportuno aquí mostrar - la relación empírica entre estas variables, también definidas por - - Taylor.

$$v t^n = K$$

(10.1)

donde V es la velocidad de corte, t es la duración de la herramienta, n es la constante de Taylor y K una constante. Más adelante veremos ampliamente la utilización de esta expresión. Para concluir lo concerniente al desgaste y duración de las herramientas, hacemos mención al trabajo realizado por Trent, el cual relaciona el avance y la velocidad de corte con la formación del filo recrescido inestable, en donde el cráter crece rápidamente y en donde, bajo condiciones muy severas, ocurre la mutilización extremadamente rápida de la herramienta a causa de la deformación en el filo como resultado de las temperaturas y esfuerzos elevados. Lo anterior se muestra en la figura 104 para herramientas de carburo de tungsteno y carburo de tungsteno-titanio; en esta figura se aprecia como la adición de titanio amplía la región de utilización de la herramienta. Este tipo de tablas resultan de gran utilidad para la comparación de diferentes materiales de herramientas.

10.4 Criterios de economía en la selección de la velocidad.

La determinación de la velocidad puede realizarse bajo dos diferentes criterios: costo de producción mínimo y tiempo de producción mínimo. En el caso de costo de producción mínimo y hablando de -- una cierta cantidad de piezas a fabricar N_b , el tiempo empleado en la producción de tales piezas puede dividirse en tres clasificaciones: 1) El tiempo no productivo $N_b t_l$ en donde t_l es el tiempo de carga y descarga de la parte. 2) El tiempo de maquinado dado por $N_b t_m$ donde t_m es el tiempo de maquinado por pieza. y 3) El tiempo total invertido - en cambio de herramientas $N_t t_{ct}$ en donde N_t es el número de herra---mientas empleadas y t_{ct} el tiempo de cambio por herramienta. Si por - otro lado determinamos el costo de nuestra unidad de tiempo que incluy gastos generales y mano de obra, que podemos definir M . El costo - de producción del lote N_b esta dado por

$$M (N_b t_l + N_b t_m + N_t t_{ct})$$

(10.2)

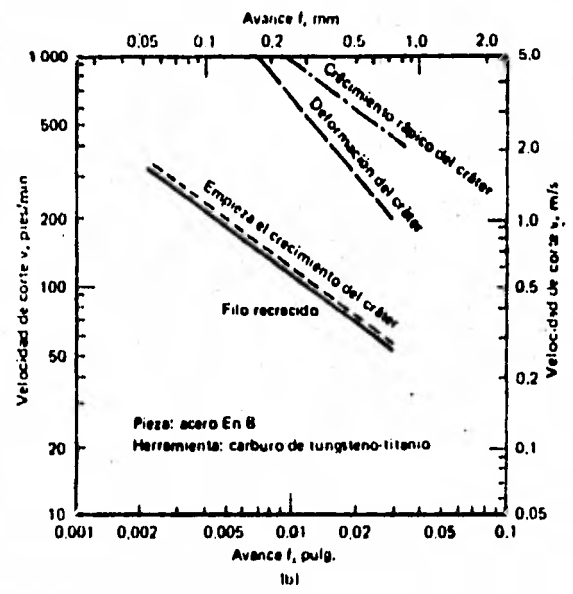
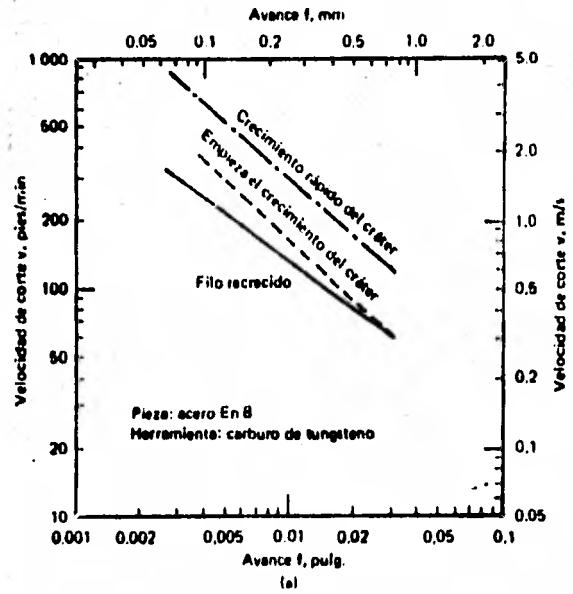


Figura 104 : (a) Desgaste-herramienta para una herramienta de carburo de tungsteno

(b) Desgaste-herramienta para una herramienta de carburo de tungsteno-titanio

Incluyendo además la inversión en herramientas nuevas - Nt C_t en donde Nt es el número de herramientas usadas y C_t es el costo por herramienta, el costo de producción por pieza queda dado por :

$$C_{pr} = M t_L + M t_m + M \frac{Nt}{N_b} t_{ct} + \frac{Nt}{N_b} C_t \quad (10.3)$$

Analizando los términos de la expresión anterior, observamos que ; el primero de ellos se refiere al tiempo de carga y descarga, este tiempo se mantiene constante e independiente a la velocidad de corte ; el segundo se refiere al tiempo de maquinado y es disminuido con un incremento de la velocidad ; los dos últimos términos se refieren al tiempo invertido en los cambios de herramientas y en la inversión económica en herramientas nuevas; estos términos se incrementan con el incremento de la velocidad. De lo anterior se desprende la necesidad de determinar el mínimo de herramientas para la producción de un lote N_b , para lo cual recurrimos nuevamente a la expresión de Taylor la cual es posible también expresar como :

$$\frac{v}{v_r} = \left(\frac{t}{t_r} \right)^n \quad (10.4)$$

en donde t = vida de la herramienta, n = constante y t_r vida de la herramienta para una velocidad v_r determinada.

El valor de n esta definido por el tipo de material de la herramienta de la siguiente manera : para acero rápido $n=0.125$, para carburos n fluctúa entre 0.25 y 0.03 ; y para cerámica n fluctúa entre 0.5 y 0.7. El valor t_r se puede determinar experimentalmente o bien ser consultado en tablas ya predefinidas para diferentes materiales de herramientas y materiales a cortar, tal es el caso de la que se muestra en la figura 105.

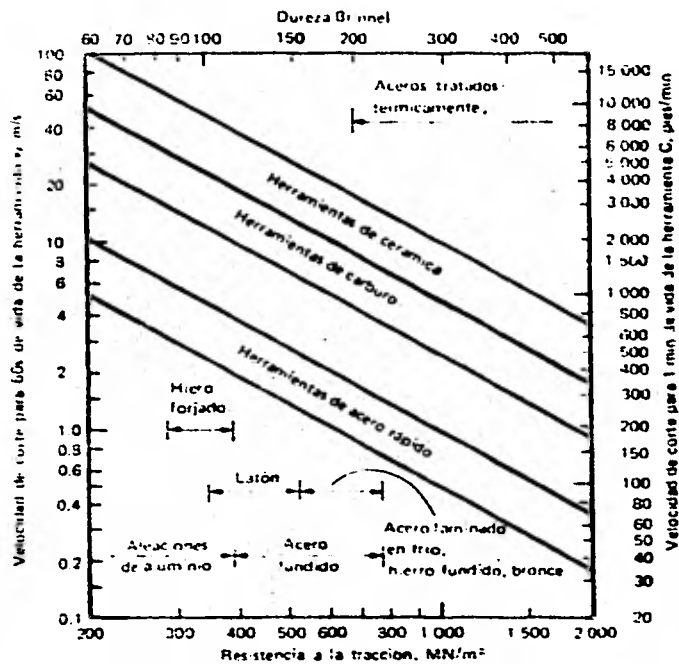


Figura 105 : Valores aproximados de la velocidad de corte v_c cuando la vida de la herramienta $t_T = 60$ s.

En esta grafica se ha considerado como t_r constante - - igual a 60 segundos. Despejando t de la expresión (104) obtenemos finalmente

$$t = t_r \left(\frac{v}{v_r} \right)^{1/n} \quad (10.5)$$

Por otro lado, el número de herramientas empleadas está dado por $N_b t_m / t$, suponiendo que la herramienta corta durante todo - el tiempo de mecanizado. El promedio de herramientas por pieza queda por :

$$\frac{N_t}{N_b} = \frac{t_m}{t} = \frac{t_m}{t_r} \left(\frac{v}{v_r} \right)^{1/n} \quad (10.6)$$

Por otro lado, el tiempo de maquinado t_m se calcula en función de la velocidad y de la geometría del proceso, siendo esta última constante para cada caso específico; t_m puede expresarse como

$$t_m = K/v \quad (10.7)$$

Haciendo uso de estas últimas expresiones en nuestra ecuación original (10.3) tenemos :

$$C_{pr} = M t_e + M K v^{-1} + \frac{K}{v^{1/n} t_r} (M t_{ct} + C_t) v^{\frac{(1-n)}{n}} \quad (10.8)$$

Expresión que derivándola con respecto a V e igualándola a cero, nos proporcionará el valor de V_c para costo mínimo quedándonos :

$$v_c = v_r \left(\frac{n}{1-n} \frac{M t_r}{M t_{ct} + C_t} \right)^n \quad (10.9)$$

En la figura 106 puede observarse en forma gráfica la influencia de la velocidad en el costo de producción. En esta figura aparecen los términos de la expresión 10.8, también se aprecia como existe una velocidad de corte óptima para un conjunto dado de condiciones.

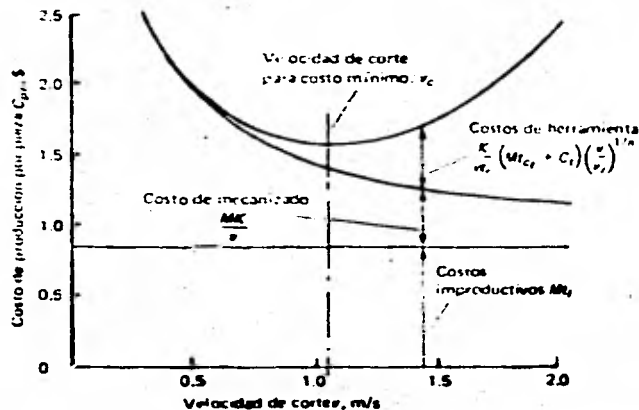


Figura 106

En la expresión (10.9) puede observarse que la velocidad óptima es independiente del número de piezas del lote N_b y de los tiempos improductivos t_l .

Trabajando ahora según el criterio tiempo mínimo de producción y mediante un desarrollo similar al anterior, considerando ahora que el tiempo promedio por pieza será

$$t_{pr} = t_l + t_m + \frac{N_t}{N_b} t_{ct} \quad (10.10)$$

obtendremos finalmente

$$v_p = v_r \left(\frac{n}{1-n} \frac{t_r}{t_{ct}} \right)^n \quad (10.11)$$

Observando la expresión 10.11 y la 10.9, es evidente -- que los resultados entre ambos criterios son diferentes. Para determinar la vida de la herramienta óptima para ambos criterios, se logra -- sustituyendo el valor de las respectivas velocidades (10.9) y (10.11) en la fórmula de Taylor (10.4) obteniéndose :

$$t_c = \frac{1-n}{n} \left(t_{ct} + \frac{C_t}{M} \right) \quad (10.12)$$

$$t_p = \left(\frac{1-n}{n} \right) t_{ct} \quad (10.13)$$

El factor $(1-n)/n$ se considera constante en la práctica e igual a 7 para acero rápido, 3 para carburos y 1 para cerámica. Con lo cual es posible expresar las igualdades (10.12) y (10.13) como:

Acero Rápido	$t_c = 7 \left(t_{ct} + \frac{C_t}{M} \right)$	$t_p = 7 t_{ct}$
--------------	---	------------------

Carburos	$t_c = 3 \left(t_{ct} + \frac{C_t}{M} \right)$	$t_p = 3 t_{ct}$
----------	---	------------------

Cerámica	$t_c = t_{ct} + \frac{C_t}{M}$	$t_p = t_{ct}$
----------	--------------------------------	----------------

Y las velocidades óptimas correspondientes se pueden determinar de

$$v_c = v_n \left(\frac{t_n}{t_c} \right)^n \quad \text{y} \quad v_p = v_n \left(\frac{t_n}{t_p} \right)^n$$

Para la determinación de las condiciones óptimas, es necesario determinar antes los valores de el tiempo de cambio de herramienta t_c , el costo de suministrar una herramienta afilada C_t , los costos de operario y maquina M y la velocidad de corte V_r para una duración t_r . Para lo anterior se hacen las siguientes propuestas, no obstante, que sobre todo el factor M "costos de operario y maquina" pueden ser determinados de multiples formas, y que incluso en algunas empresas tienen factores ya definidos.

Una expresión últi para el calculo de M es la siguiente

$$M = W_o + \left(\frac{\% \text{ gastos generales del operario}}{100} \right) W_o + M_t + \left(\frac{\% \text{ gastos generales de la máquina}}{100} \right) M_t$$

donde W_o =salario del operario y M_t =depreciación por unidad de tiempo; debido a que la determinación del factor M puede variar grandemente de empresa a empresa, dejaremos la expresión anterior a nivel de referencia sin mayor profundidad en el análisis de sus términos, por resultar infructuoso.

La estimación del factor C_t "costo de suministrar una herramienta afilada" depende del tipo. Para el caso de una herramienta afilable :

$$C_t = \text{costo de afilado} + \frac{\text{costo de la herramienta}}{\text{promedio de afilados posibles}}$$

Para el tipo de herramientas intercambiables desechables :

$$C_t = \frac{\text{costo de la pastilla}}{\text{promedio de filos usados por pastilla}} + \frac{\text{Costo del portaherramientas}}{\text{no. de filos usados durante la vida del portaherramientas}}$$

El tiempo de cambio de herramienta t_{ct} para herramientas intercambiables desechables puede calcularse con

$$t_{ct} = \frac{\text{tiempo de giro} \times (\text{prom. de filos usados} - 1) + \text{tiempo de reemplazo}}{\text{promedio de filos por pastilla}}$$

Y finalmente, como antes ya fue explicado, V_r se calcula haciendo uso de tabulaciones para condiciones específicas como material de herramienta, material a cortar, tipo de herramienta y para una duración t_r determinada, tal es el caso de la figura 105.

Como inicialmente fue expuesto, hemos venido trabajando con dos diferentes puntos de vista, costo mínimo de producción y tiempo mínimo de producción. También ha quedado claro que cuando el costo es mínimo, el tiempo no lo es y viceversa. La validez de ambos criterios es rotunda mientras no existiera alguna otra condicionante, si por ejemplo, trabajásemos bajo el criterio de costo mínimo, estaríamos logrando una baja inversión pero tardando en la producción -- más del tiempo mínimo posible y nuestra capacidad de producción por unidad de tiempo no sería la máxima, por lo que de alguna manera estaríamos dejando de recibir los ingresos y por tanto las utilidades correspondientes a la diferencia en volúmenes de producción. Si por otro lado, estuviésemos trabajando al tiempo mínimo de producción, estaríamos trabajando al máximo volumen de producción posible, sin embargo, no al menor costo, lo que significa que si bien es cierto que los ingresos son máximos, las utilidades no lo serían dado que el costo al cual se está operando no es el mínimo y disminuye el factor de utilidad. La manera de determinar el mejor criterio es definido por el término "máxima eficiencia", y su determinación se realiza involucrando en los cálculos el concepto utilidad por unidad de tiempo P_r la cual está definida por

$$P_n = \frac{S - C_{pr}}{t_{pr}} \quad (10.14)$$

donde S es la utilidad por pieza, C_{pr} el costo promedio por pieza y t_{pr} el tiempo promedio por pieza. Nuevamente, esta fórmula es mera referencia dado que puede cambiar según sean los sistemas de cada empresa. Si sustituimos en la expresión 10.14 los valores de C_{pr} y t_{pr} de las expresiones (10.8) y (10.10) llegamos a:

$$P_n = \frac{S - M t_e - M K v^{-1} - K v_n^{-1/n} t_n^{-1} (M t_{ct} + C_r) v^{(1-n)/n}}{t_e + K v^{-1} - K v_n^{-1/n} t_n^{-1} t_{ct} v^{(1-n)/n}} \quad (10.15)$$

Ecuación que derivada con respecto a v e igualada a --cero nos proporciona el valor de la velocidad para eficiencia máxima, el cual combinado con la expresión de Taylor (10.4) nos arroja la expresión de la duración para eficiencia máxima :

$$t_{ef} = \frac{1-n}{n} \left(t_{ct} + \frac{t_e C_r}{S} \right) + \frac{C_r K}{n S v_n} \left(\frac{t_{ef}}{t_e} \right)^n \quad (10.16)$$

La solución de la expresión no es tan simple y requiere de algún método numérico para su solución; se sugiere resolverla por iteraciones sucesivas dando a t_{ef}ⁿ el valor de 6.5 sⁿ para herramientas de carburo y 2.5 sⁿ para herramientas de acero rápido, como valor inicial hasta que se converga en una aproximación suficientemente cercana a la solución.

Resulta interesante observar que la duración para -- eficiencia máxima expresada en (10.16) no está en función del factor M, lo cual simplifica la determinación de las condiciones óptimas ya que a menudo la determinación del factor M no resulta fácil.

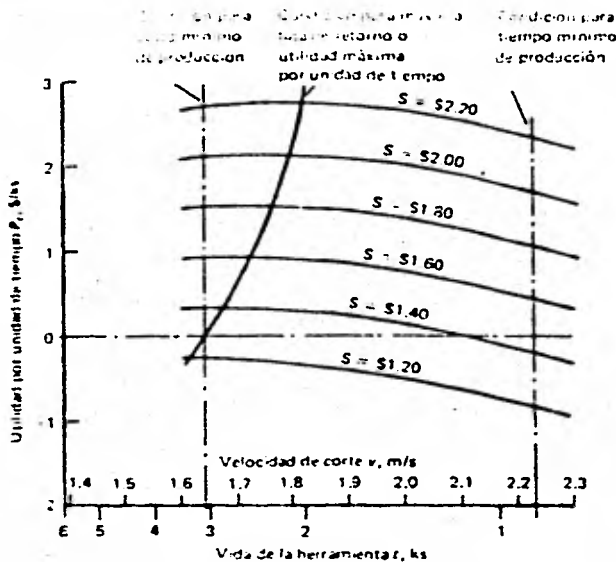


Figura 107

En la figura 107 se muestran los resultados de la duración de la herramienta con el criterio máxima eficiencia para diferentes valores del precio de la pieza mecanizada S . También aparecen en la figura las duraciones bajo los criterios de costo mínimo y tiempo mínimo de producción.

Basados en la terminología y simbología hasta aquí empleada, en la tabla 108 se muestran los resultados del empleo de una herramienta de carburo y una herramienta de acero rápido en una operación de desbaste en torno, casos ambos que las condiciones fueron establecidas por el criterio de mínimo costo. En la tabla 109 aparece una comparación de una operación de acabado empleando carburo soldado, carburo desechable y cerámica; las condiciones aquí fueron también establecidas bajo el criterio de costo mínimo. Los resultados observados en estas tablas comparativas, son de gran importancia en el conocimiento y formación de criterio en los empleos de diferentes herramientas; dejamos al lector la tarea de detectar en estos resultados las diferencias relevantes en los diferentes casos.

Tabla 108 Costos de producción mínimos y sus correspondientes tiempos de producción para una operación de desbaste en el torno usando herramientas de acero y pastilla de carburo soldada.

Costos y tiempos de producción	Tipo de herramienta	
	Carburo soldado	Acero soldado
Proporción del tiempo mecanizado cuando el filo está cortando Q	1.0	1.0
Costos de máquina y operario M , \$/s	0.00028	0.0028
Costo de herramienta afilada C_T , \$	0.30	2.10
Tiempo de cambio de herramienta t_{CP} , s	240	240
Índice de la vida de la herramienta n	0.125	0.25
Vida de la herra. para costo mín. $t_c = [(1/n) - 1] [t_{CP} + (C_T/M)]$, ks	2.43	2.97
Velocidad de corte para 1 min. de vida de la herramienta v_c , m/s	0.508	2.73
Velocidad de corte para costo mínimo $v_c = v_c(60/Q)t_c^n$, m/s	0.32	1.03
Distancia recorrida por el filo relativa a la pieza K , m	200	200
Tiempo de mecanizado $t_m = K/v_c$, s	625	194
Número de piezas producidas por herramienta = t_c/t_m	4	15
Tiempo improductivo por pieza t_i , s	300	300
Tiempo de cambio de herramienta por pieza = $(t_m/t_c)t_{CP}$, s	60	18
Costo improductivo por pieza, Mt_i , \$	0.84	0.84
Costo de herramienta por pieza = $(t_m/t_c)(C_T + Mt_{CP})$, \$	0.243	0.185
Costo de mecanizado por pieza, Mt_m , \$	1.75	0.543
Tiempo total de producción t_{pr} , s	985	510
Costo total por pieza C_{pr} , \$	2.83	1.57

Tabla 109 Costos de producción mínimos y sus correspondientes tiempos de producción para una operación de acabado en el torno usando herramientas de carburo soldado, carburo desechable y cerámica desechable.

Costos y tiempos de producción	Tipo de herramienta		
	Acero rápido	Carburo desechable	Cerámica desechable
Proporción del tiempo mecanizado cuando el filo está cortado Q	1.0	1.0	1.0
Costos de máquina y operario M , \$/s	0.003	0.003	0.003
Costos de herramienta afilada C_T , \$	2.00	0.25	0.40
Tiempo de cambio de herramienta t_{CP} , s	240	60	60
Índice de la vida de la herramienta n	0.25	0.25	0.50
Vida de la herra. para costo mín. $t_c = [(1/n) - 1] [t_{CP} + (C_T/M)]$, ks	2.72	0.43	0.193
Velocidad de corte para 1 min. de vida de la herramienta v_c , m/s	6	6	50
Velocidad de corte para costo mín. $v_c = v_c(60/Q)t_c^n$, m/s	2.35	3.73	28.3
Distancia recorrida por el filo relativa a la pieza K , m	1.000	1.000	1.000
Tiempo de mecanizado $t_m = K/v_c$, s	432	273	35.9
Número de piezas producidas por herramienta = t_c/t_m	6	1	5
Tiempo improductivo por pieza t_i , s	240	240	240
Tiempo de cambio de herra. por pieza = $(t_m/t_c)t_{CP}$, s	40	60	12
Costo improductivo por pieza Mt_i , \$	0.72	0.72	0.72
Costo de herramienta por pieza = $(t_m/t_c)(C_T + Mt_{CP})$, \$	0.453	0.43	0.116
Costo de mecanizado por pieza Mt_m , \$	1.296	0.819	0.108
Tiempo total de producción t_{pr} , s	712	573	288
Costo total por pieza C_{pr} , \$	2.47	1.97	0.94

F U E N T E S U T I L I Z A D A S

1. G. Boothroyd : " Fundamentos del Corte de Metales y de las Máquinas-Herramienta ", Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana S.A., Bogotá, Colombia, 1975
2. E. Blanpain : " Teoría y Práctica de las Herramientas de Corte " Editorial Gustavo Gil S.A., Barcelona, España, 1962
3. R. Forn Valls : " Herramientas de Corte, I. Diseño y Construcción " Editorial CEAC, Barcelona, España, 1967
4. S. Patkay : " L'Affutage des Outils " Revue Technique Belge, Couillet, Bélgica
5. ATISA : " Teoría y Evaluación del Maquinado " Apuntes México D.F., 1977
6. A. de Sy y J. Vidts : " Teoretische en Toegepaste Metaalkunde " Editorial NICI, Gent, Bélgica, 1966
7. Y. Houbaert : " Comportamiento Mecánico de los Materiales Metálicos " Bufete Metal-Mecánico, S.C., México, D.F., 1978