



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE ALTO DESEMPEÑO TIPO  
*KENNA-PERFECT*, PARA LA MANUFACTURA DEL ACERO CUYA  
DUREZA SEA MENOR A LOS 48 HRC EN EL TORNO  
CONVENCIONAL**

**RAUL EDUARDO LOARCA VELASQUEZ**

**Asesorado por Ing. Carlos Eduardo Rodríguez Pazos**

**Guatemala, octubre de 2004**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE DE ALTO  
DESEMPEÑO TIPO *KENNA-PERFECT*, PARA LA MANUFACTURA  
DEL ACERO CUYA DUREZA SEA MENOR A  
LOS 48 HRC EN EL TORNO CONVENCIONAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**RAUL EDUARDO LOARCA VELASQUEZ**  
ASESORADO POR ING. CARLOS EDUARDO RODRÍGUEZ PAZOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco.

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Edward Azumanché Morales Manchamé
EXAMINADOR	Ing. Lilian Eugenia López Valenzuela
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado

**SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE DE ALTO  
DESEMPEÑO TIPO *KENNA-PERFECT*, PARA LA MANUFACTURA  
DEL ACERO CUYA DUREZA SEA MENOR A  
LOS 48 HRC EN EL TORNO CONVENCIONAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 6 de octubre de 2004

Raul Eduardo Loarca Velasquez





## ACTO QUE DEDICO

A DIOS	Fuente de sabiduría y fortaleza.
A MI ESPOSA	Lidia Elizabeth, con mucho amor. por tu apoyo y comprensión.
A MIS HIJOS	Raúl Eduardo y Flor de María, con amor y felicidad.
A MI MADRE	Eluvia Elena Velásquez Morales (Q.E.P.D.), por su sencillez, humildad, ejemplo y comprensión.
A MI SUEGRA	Adelita Girón, por su cariño y nobleza. (Q.E.P.D).
A MI ASESOR	Por su amistad, consejos y motivación.
A LA FAMILIA	Hernández Girón, por su amistad.
A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS	Por su amistad.
A LA FACULTAD DE INGENIERÍA	Fuente de sabiduría.
A LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	Por darme la oportunidad de formarme.



## **AGRADECIMIENTOS**

A:

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por haberme formado.

Ing. Carlos Eduardo Rodríguez Pasos, por haberme asesorado desinteresado y profesionalmente durante el desarrollo de este trabajo.

Ing. Jorge Raúl Soto Obediente, por haberme brindado la oportunidad de conocer su trabajo y amistad. (Q.E.P.D).

Ing. Jorge Mario González Lainfiesta, por brindarme su amistad y orientación.

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por su apoyo, orientación y ayuda para la culminación de este trabajo.

Ing. Carlos Enrique Chicó Cabrera, por su apoyo y motivación.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>IX</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIII</b>
<b>1. HERRAMIENTAS DE CORTE PARA TORNO MODERNAS</b>	<b>1</b>
1.1 Condiciones ideales que debe reunir una herramienta de corte de torno convencional.	1
1.1.1 Primera condición: Eficiencia cortante.	1
1.1.2 Segunda condición: Capacidad de corte	1
1.1.3 Tercera condición: Resistencia al desgaste.	2
1.1.4 Cuarta condición: Adaptabilidad operativa.	3
1.2 Nomenclatura de las herramientas de corte.	4
1.3 Terminología técnica relacionada con las herramientas de corte.	12
1.4 Desgaste de la herramienta de corte.	21
1.4.1 Manifestación del desgaste sobre la superficie torneada.	22
1.4.2 Manifestación del desgaste sobre la herramienta.	23
1.4.3 Causas del desgaste.	24
1.4.3.1 Causas de abrasión excesiva del plano incidente.	24
1.4.3.2 Causas de erosión excesiva del plano atacante.	24
1.4.3.3 Causas del desmenuzamiento del filo.	25
1.4.3.4 Causas de rotura del filo.	25
1.5 Metales convencionales para herramientas de corte.	25
1.5.1 Aceros para herramientas de torno	28
1.6 Herramientas cortantes de alto desempeño.	33

1.6.1	Tipos de grados	33
1.6.1.1	Carburo revestido tipo PVD.	33
1.6.1.2	Carburo revestido tipo CVD.	34
1.6.1.3	Grados cerámicos.	34
1.6.1.4	Grados cermet.	35
1.6.1.5	Grados tipo policristalino	35
<b>2.</b>	<b>ELECCIÓN DE INSERTOS CORTANTES KENNA-PERFECT, PARA ACEROS QUE REPRESENTAN UNA DUREZA MENOR DE 48 HRC.</b>	<b>37</b>
2.1	Que es el proceso <i>Kenna-perfect</i> .	37
2.2	Selección de un inserto cortante para el corte de acero cuya dureza no rebase los 48hrc.	37
2.2.1	Paso uno. Condiciones iniciales.	37
2.2.2	Paso dos. Selección del grado del inserto cortante.	43
2.2.2.1	Características de los grados de las herramientas de corte	45
2.2.3	Paso tres. Selección de la velocidad de corte.	49
2.2.4	Consideraciones importantes al aplicar las herramientas de corte al torno convencional.	50
2.3	Diagrama del proceso de selección.	52
2.4	Aplicación práctica de una herramienta de corte de alto desempeño	53
<b>3.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PARTE PRÁCTICA</b>	<b>57</b>
3.1	Análisis del costo de herramientas cortantes de alto desempeño contra herramientas convencionales	57
3.1.1	Análisis de la herramienta convencional.	58
3.1.2	Análisis de la herramienta de alto desempeño.	59
3.1.3	Análisis de costos.	61
3.2	Ventajas y desventajas.	62
3.2.1	Resumen comparativo.	65

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>73</b>





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Nomenclatura de las herramientas cortantes utilizadas en torno	4
2.	Perfiles comunes de barras y hojas para herramientas	5
3.	Distintas formas de nariz	7
4.	Distintas formas de garganta	7
5.	Distintos tipos de cuellos	7
6.	Filos continuos y discontinuos	8
7.	Filos activos, auxiliares e inactivos	9
8.	Herramientas rectas curvas y acodadas	11
9.	Planos de referencia en la herramienta y en la pieza	17
10.	Terminología técnica relacionada con la herramienta de torno.	19
11.	Metales para herramientas de corte	27
12.	Insertos cortantes de geometría negativa	38
13.	Insertos cortantes de corte positivo	39
14.	Gráfica de avance vrs profundidad de corte negativa	40
15.	Gráfica de avance vrs profundidad de corte positiva	41
16.	Representación de corte interrumpido	43
17.	Representación de corte medianamente irregular	43
18.	Representación de corte que varía en profundidad	43
19.	Representación de corte cilíndrico	44
20.	Gráfica de grados de corte negativo	44
21.	Gráfica de grados de corte positivo	45
22.	Herramienta KC-5010	45
23.	Herramienta KC-9040	46

24.	Herramienta KC-9110	47
25.	Herramienta KC-9125	48
26.	Herramienta KT-315	48
27	Gráfica de velocidad de corte para geometría negativa.	49
28	Gráfica de velocidad de corte para geometría positiva.	50
29.	Diagrama de proceso de selección	52
30.	Gráfica de avance vrs profundidad de corte, negativa	54
31.	Gráfica de geometría del inserto	55
32.	Gráfica de velocidad de corte	55

## **TABLAS**

I.	Propiedades físico-mecánicas fundamentales de los metales cortantes	28
II.	Resumen comparativo.	65
III	Equivalencia para aceros	73
IV	Equivalencias para aceros	74
V	Profundidades de corte según geometría	75
VI	Avance y profundidad de corte según geometría	76

## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	Efecto causado sobre el filo cortante debido al rozamiento con el material de trabajo
<b>Acabado</b>	Operación de maquinar una superficie, cuya rugosidad es mínima.
<b>Bancada</b>	Soporte principal del torno, en esta parte de la máquina se desplaza el carro principal.
<b>Cerámicos</b>	Herramienta de corte a base de óxido de aluminio y nitrato de silicio.
<b><i>Cermet</i></b>	Herramienta de corte a base de nitrocarburo de titanio.
<b>Cilindrado</b>	Operación de maquinar piezas, cuya superficie generada es un cilindro
<b>CVD</b>	Proceso utilizado en herramientas de alto desempeño, significa deposición química de vapor metálico.
<b>Desbaste</b>	Operación de remover la máxima cantidad de material en una operación de corte.
<b>Embotamiento</b>	Término que indica que una herramienta esta desafilada.
<b>HRC</b>	Abreviaturas del sistema de medición de dureza Rockwell escala C
<b><i>Kenna-perfect</i></b>	Proceso diseñado para seleccionar una herramienta de corte
<b>Policristalino</b>	Herramienta de corte a base de diamantes y de nitrato cúbico de boro

<b>Portaherramienta</b>	Accesorio que soporta la herramienta cortante
<b>PVD</b>	Proceso utilizado en herramientas de alto desempeño, significa deposición física de vapor metálico
<b>Refrentado</b>	Operación de maquinar piezas cuya superficie generada es plana
<b>Tiedro</b>	Superficie compuesta de tres planos concurrentes
<b>Trepidación</b>	Efecto vibratorio en una máquina
<b>Virutas</b>	Material removido por la acción de una herramienta de corte
<b>Volteo</b>	Dimensión que determina el máximo diámetro que puede tornearse un torno

## **RESUMEN**

Es de suma importancia para la ingeniería de la fabricación de piezas establecer métodos y sistemas económicos para la elaboración de éstas.

En este estudio, se realizó un análisis de la aplicación de las herramientas de corte de alto desempeño, éstas están diseñadas para operar en tornos de control numérico computarizado, pero no para aplicarse en tornos convencionales.

El costo de las herramientas de alto desempeño es más alto que las herramientas convencionales, su vida útil es más corta por problemas de enfriamiento el cual es deficiente en los tornos convencionales, pero el aumento en la productividad es evidente al reducir el tiempo de maquinado.

Esta razón es suficiente para recomendar su utilización, ya que el costo al evaluar los resultados es considerablemente más bajo y no impacta en los resultados finales.

Las herramientas de alto desempeño vienen diseñadas para operar a altas velocidades, pero resultan subempleadas en el torno convencional. Al hacer mejoras en el sistema de enfriamiento, estas rendirán más.



## OBJETIVOS

### General

Determinar la metodología para la selección de herramientas de corte de alto desempeño tipo *kenna-perfect*, para la manufactura de piezas de acero cuya dureza no sobrepase los 48 HRC en el torno convencional.

### Específicos

1. Escoger adecuadamente las herramientas de corte, con criterio técnico y científico, para no depender del punto de vista de los proveedores.
2. Reducir el tiempo de corte, en los diversos procesos del maquinado.
3. Lograr mejorar la adaptabilidad con las herramientas estandarizadas.
4. Lograr la mejora económica, al utilizar las herramientas cortantes de alto desempeño.
5. Buscar la mejora continua con las herramientas de corte estandarizados, para mejorar la productividad en los pequeños talleres.





## INTRODUCCIÓN

El ingeniero mecánico tiene la necesidad de estar informado sobre el tema del corte de metales, ya que normalmente, al estar desempeñando sus funciones en el área de mantenimiento de una planta productiva, tarde o temprano se verá ante la situación de reponer algún repuesto para una máquina en el menor tiempo posible.

De esta situación nace la necesidad de tener el conocimiento de las herramientas de corte de alto desempeño para el maquinado de piezas en el torno convencional. Este estudio, nació de la necesidad de hacer el torno convencional más productivo ante el costo de poseer tornos de control numérico computarizado que justifican su uso para el maquinado de altas series.

El estudio, presenta los conocimientos básicos de las herramientas de corte de tipo convencional en la primera parte. En la segunda parte, analiza la selección de una herramienta de corte de alto desempeño para la cual es necesario conocer ciertos parámetros de inicio y propiedades metalúrgicas del metal a cortar.

En la tercera parte, se analizan los resultados de la parte práctica con un ejemplo de maquinado.



# **1. HERRAMIENTAS DE CORTE PARA TORNO**

## **1.1 Condiciones ideales que debe reunir una herramienta de corte de torno convencional**

### **1.1.1 Eficiencia cortante**

Es la condición o propiedad más deseable en una buena herramienta, en lo que a comportamiento durante el corte se refiere. La eficiencia cortante puede definirse como la capacidad que posee una herramienta para cortar un determinado metal o material en las mejores condiciones técnico-económicas.

Los factores principales que determina la eficiencia cortante de una herramienta dada son: la magnitud de los ángulos que constituyen su filo y la forma como es aplicada a su misión específica.

El personal que labora en los tornos convencionales conocen por experiencia propia la importancia de los ángulos del filo y saben también cómo una herramienta se deteriora prematuramente, sin demostrar su verdadera eficiencia cortante, cuando se aplica mal a su labor, o bien, a una labor para la cual no ha sido diseñada y construida.

### **1.1.2 Capacidad de corte**

En otros términos puede definirse como la resistencia mecánica que una herramienta debe poseer, para soportar perfectamente los esfuerzos originados por su aplicación al torneado.

La observancia de esta condición es indispensable, para que la herramienta sea por lo menos tan robusta como lo exija el mayor corte permitido por el torno. Debe entonces estar de acuerdo a la capacidad de corte de la herramienta con la capacidad de trabajo de la máquina.

Por las causas señaladas anteriormente se deduce la importancia que reviste el conocer las dimensiones mínimas que la herramienta debe poseer, para que el corte con ella se realice a las mayores velocidades posibles de corte y alimentación, libre en todo momento de trepidaciones perniciosas o roturas inesperadas.

La herramienta desvastadora que limite el caudal específico de virutas que puede arrancarse en un torno dado, no es una buena herramienta. Ese caudal debe conocer como único límite la potencia del torno y nunca la capacidad de corte de la herramienta.

Varias herramientas del mismo tipo operativo y aplicativo, pero distinto diseño, puestas a hacer el mismo trabajo en igualdad de condiciones, suele causar distintos consumos específicos de energía. De ellas será la mejor, la que ocasione el menor consumo a igualdad de virutas arrancadas.

De tal manera, la capacidad cortante de una herramienta es consecuencia directa de su eficiencia cortante.

### **1.1.3 Resistencia al desgaste**

A fin de que pueda cumplir la primera y segunda condición, es indispensable construir las herramientas con elementos adecuados, que puedan imponer sus propiedades físicas a las del metal o material que han de cortar.

La dureza y la tenacidad son dos de las propiedades fundamentales más deseables en un metal para herramientas de corte. La persistencia de esas propiedades bajo los efectos del calor generado durante el corte es más deseable todavía. Y si a la dureza, la tenacidad y la resistencia al calor, se le suma la propiedad de poder soportar los impactos producidos por las irregularidades en la superficie torneada, puede tenerse una idea aproximada de lo que se entiende por resistencia al desgaste, en un metal para herramientas de torno.

Si varias herramientas de distintas características son puestas a hacer el mismo trabajo en idénticas condiciones de operación, será mejor la que dure sin desafilarse en el mayor tiempo posible.

La destrucción del filo determina el período productivo de la herramienta, cumplido el cual se impone la necesidad de su reemplazo, para poderla afilar. La producción en un torno es directamente proporcional a los períodos productivos que permiten sus herramientas e inversamente proporcional a los tiempos muertos ocasionados por el recambio o reafilado de las mismas.

La resistencia al desgaste del filo es entonces uno de los factores que más gravitan sobre el rendimiento del conjunto máquina-herramienta.

#### **1.1.4 Adaptabilidad operativa y aplicativa**

No basta la eficiencia, ni la capacidad, ni la resistencia de una herramienta, para asegurar su adaptabilidad a cualquier exigencia operativa o aplicativa.

Aún cuando así fuera lo deseable, no es posible adaptar una herramienta a todos los trabajos sin modificar su diseño.

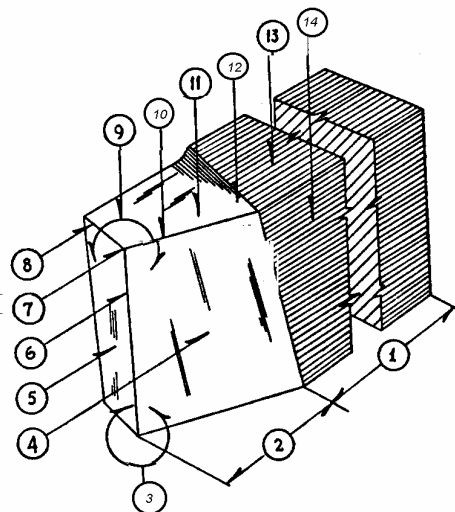
Si la operación que se realiza en la pieza torneada es interna o externa, de desbastar o alisar, ya sea en el proceso de cilindrado, refrentado o roscado de las superficies, en cada caso deberá emplearse una herramienta adecuada, o específica, pues solamente con ella se podrán cumplir las demás condiciones exigibles. (1ª., 2ª. Y 3ª.).

Por consiguiente, la cuarta condición exige la posesión por parte del personal que opera los tornos, de un número más o menos grande de herramientas cortantes, a fin de que puedan llevarse a cabo en su torno la mayor cantidad posible de operaciones, individuales o múltiples, consecutivas o simultáneas, que permiten aprovechar al máximo sus cualidades mecánicas y su potencia.

## 1.2 Nomenclatura de las herramientas de torno

Las herramientas de torno pueden considerarse constituidas por dos partes perfectamente definidas: el cuerpo y la cabeza, separadas a veces entre sí por una garganta o un cuello de forma apropiada (Figura 1). No siempre el cuerpo y la cabeza forman un todo entero y continuo.

**Figura 1. Nomenclatura de las herramientas cortantes utilizadas en el torno**



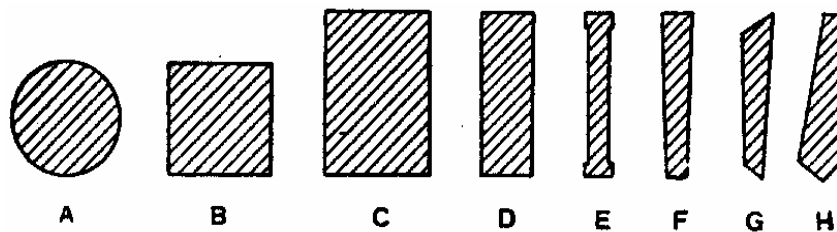
- |                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| 1. Cuerpo                   | 9. Nariz            |
| 2. Cabeza                   | 10. Filo activo     |
| 3. Talón                    | 11. Plano de ataque |
| 4. Plano incidente activo   | 12. Garganta        |
| 5. Plano incidente auxiliar | 13. Lomo            |
| 6. Arista vertical          | 14. Flanco          |
| 7. Punta                    |                     |
| 8. Filo auxiliar            |                     |

Hay herramientas donde estas partes son individuales, con la particularidad de poderse ensamblar perfectamente. En el primer caso las herramientas se denominan simples y en el segundo compuestas o combinadas.

El cuerpo de la herramienta es la parte que se aferra al portaherramientas o al soporte del torno, sirviendo a veces de material de reserva a medida que la cabeza se desgasta por los sucesivos forjados o amolados.

Las barras de acero que se emplean para construir el cuerpo son generalmente de sección cuadrada o rectangular, pero también pueden ser de sección cilíndrica o especial si así fuera recomendable por razones de adaptabilidad o economía. (Figura 2)

**Figura 2. Perfiles comunes de barras y hojas para herramientas**



- A. Perfil circular
- B. Perfil cuadrado
- C. Perfil rectangular
- D. Perfil rectangular angosto
- E. Perfil especial para hojas cortantes
- F. perfil especial para hojas cortantes
- G-H. Perfiles especiales para hojas cortantes

Cualquiera sea su sección es perfectamente recto y exactamente adaptable al dispositivo de montaje. Para ese fin es indispensable que la base, o plano inferior del cuerpo haga buen contacto con el apoyo del soporte, o la guía del portaherramientas.

Cualquiera que sea el tipo de herramienta, es siempre deseable que el cuerpo sea más blando y tenaz que la cabeza; lo que se consigue por medio del tratamiento térmico del metal en las herramientas simples, o en la elección del metal constituyente del cuerpo en las herramientas compuestas o combinadas.

Esta precaución tiene por finalidad evitar roturas por flexión al apretar la herramienta en su montaje.

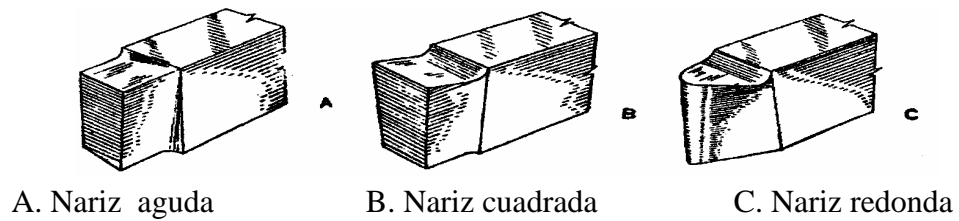
La cabeza de la herramienta es la parte efectiva de la misma, portadora del filo o los filos incisivos. Estos filos, lo mismo que la punta y la nariz se forman al amolar los planos cortantes e incidentes al ángulo conveniente que han de tener, para que el corte sea eficaz durante la aplicación de la herramienta.

La nariz con el mismo objeto adopta las más variadas formas, pudiendo ser redonda; aguda, formando una punta o cuadrada. (Figura 3.)

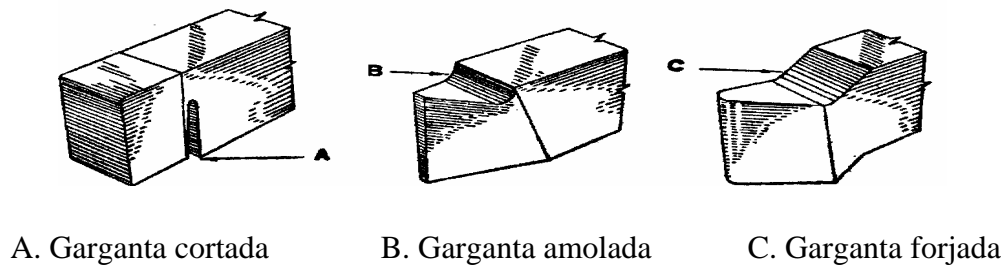
La garganta resulta en algunas herramientas por forjado, amolado o corte del lomo o la base, en la zona intermedia comprendida entre el cuerpo y la cabeza (figura 4).



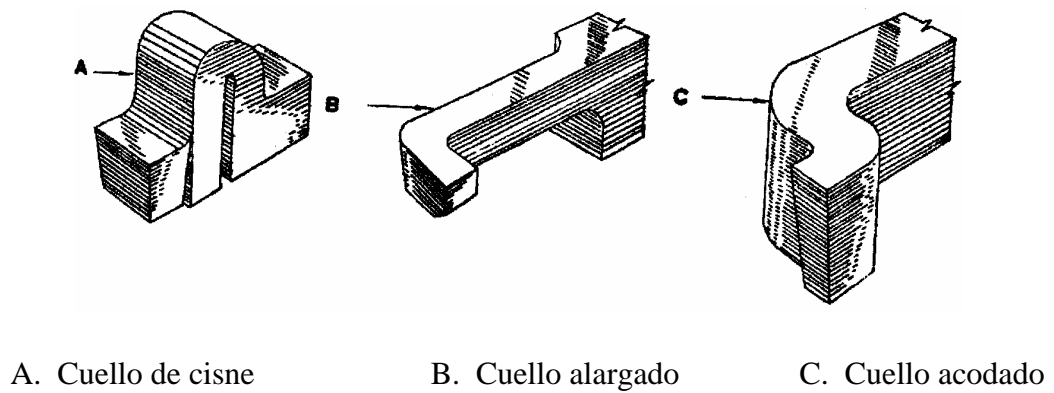
**Figura 3. Distintas formas de nariz**



**Figura 4. Distintas formas de garganta**



**Figura 5. Distintos tipos de cuellos**



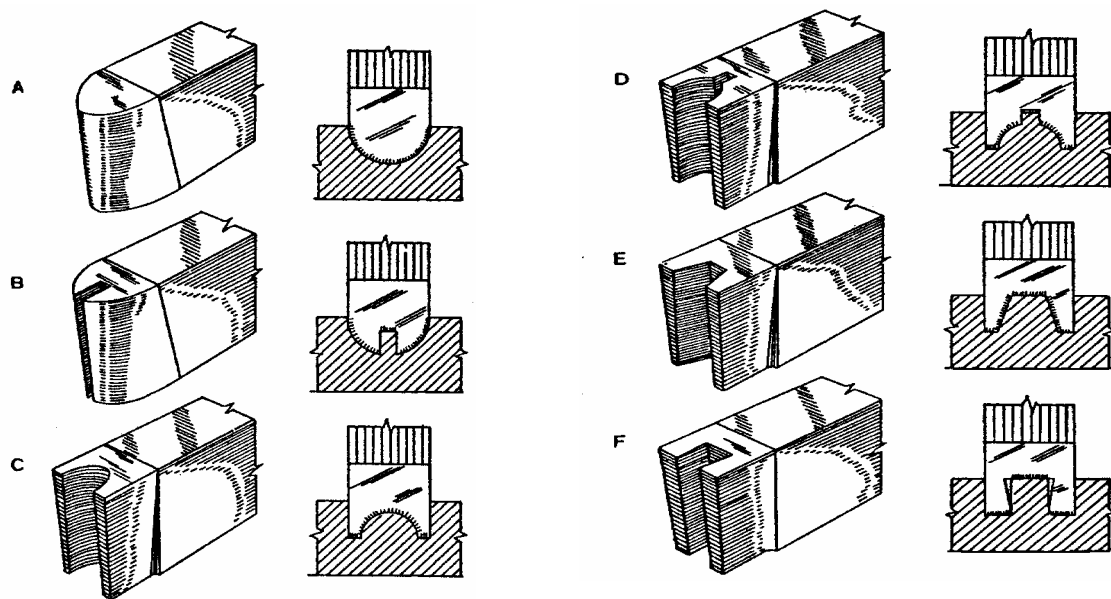
El cuello se construye en otras herramientas con variada finalidad. Es largo, recto y comparativamente delgado en las herramientas interiores, para proporcionar adecuada accesibilidad de la cabeza a las partes más profundas de las piezas. Ver figura 5.

Es curvo y característico, como cuello de cisne, en algunos tipos de herramientas elásticas, para roscar, tronzar, etc.

El filo activo de una herramienta es el borde incisivo principal, o sea el que actúa en el sentido de la alimentación. Está constituido por la intercepción del plano cortante activo, con el plano incidente activo.

Es continuo o discontinuo según pueda atacar el trabajo en toda su longitud, o bien en secciones aisladas, como se demuestra en la figura 6.

**Figura 6. Filos continuos y discontinuos**

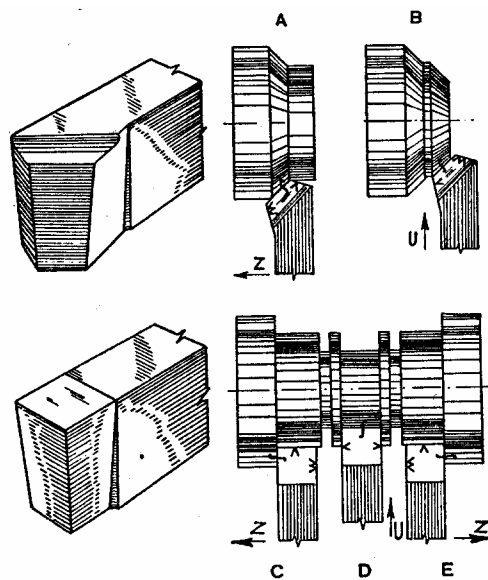


A-C-E. filos continuos      B-D-F. filos discontinuos

Generalmente es recto, aunque los filos redondos o curvados tienen bastante aceptación. El filo auxiliar o secundario es adyacente al filo activo y durante el trabajo complementa o facilita su efecto cortante.

En algunos tipos de herramientas y a causa de un cambio en el sentido de su alimentación, el filo activo pasa a ser auxiliar y viceversa. Lo mismo sucede con el filo inactivo en herramientas de triple filo, según se demuestra en las vistas C, D, E. figura 7.

**Figura 7. Filos activos, auxiliares e inactivos**



F. Filo activo

W. Filo inactivo

V. Filo auxiliar

Z. Alimentación longitudinal

Herramientas rectas son aquellas donde la cabeza no se desvía ni sobresale del cuerpo. Se construyen en los tipos simétricos y asimétricos, que se distinguen entre sí por poseer o no un eje común para el cuerpo y la cabeza.

Las herramientas curvadas y acodadas se forjan o maquinan especialmente, para adaptarlas a ciertos trabajos donde la accesibilidad de la cabeza al punto de corte no puede lograrse con herramientas rectas.

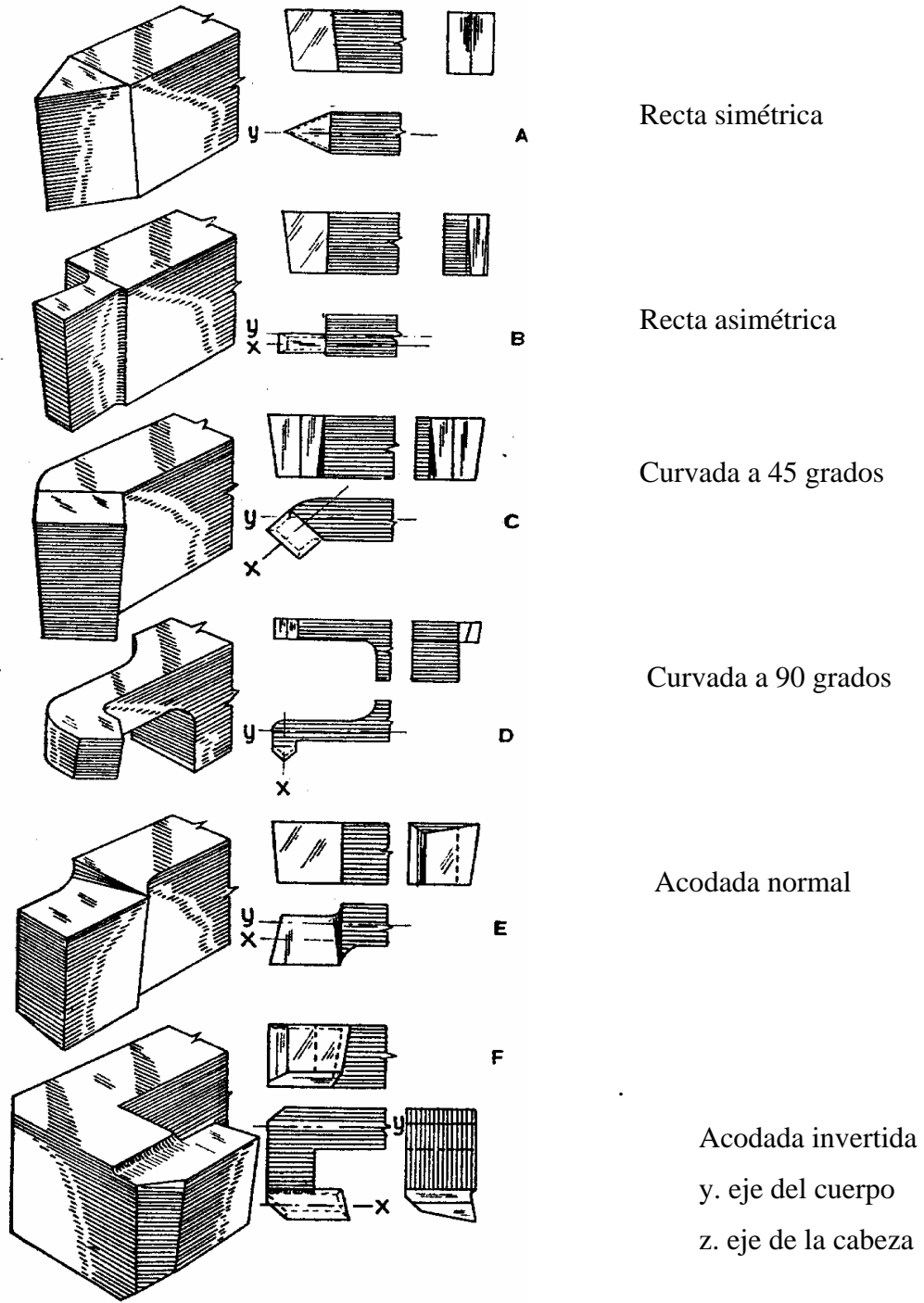
En las herramientas curvadas, los ejes del cuerpo y la cabeza conservan entre sí una cierta magnitud angular. En herramientas acodadas ambos ejes son paralelos.

El plano cortante es la cara superior del tintero que constituye el filo activo y el auxiliar adyacente. Técnicamente se denomina también plano de ataque.

El plano o superficie incidente activa es frontal en algunas herramientas y lateral en otras, según se destinen a torneados de alimentación transversal o longitudinal.

La forma general de una herramienta depende de la posición relativa de la cabeza con respecto al cuerpo. Se reconocen en este sentido tres denominaciones bien definidas: herramientas rectas, curvadas y acodadas (figura 8).

Figura 8. Herramientas rectas, curvadas y acodadas



### 1.3 Terminología técnica relacionada con las herramientas de corte

En la figura 9 se han representado dos herramientas de torno aplicadas a distintas formas de torneado. Los cortes y las proyecciones contienen la denominación de los principales términos que tienen relación directa con la operación de torneado.

A continuación se definen algunos de ellos:

**Acabado.** Es la tercera fase del torneado, que a su vez se subdivide en otras dos fases relacionadas: el pulido de la superficie y su ajuste al grado y dimensiones requeridas.

**Abrasión.** Suele denominarse así al efecto causado sobre el filo por su rozamiento con el trabajo y se manifiesta en forma de rayas y rugosidades características, acompañadas a veces por un cambio en el color de la superficie

**Alimentación.** Es la función del torno que tiene por finalidad proporcionar a la herramienta un movimiento en dirección y sentido bien determinados, a fin de provocar la incisión del filo sobre la superficie de la pieza giratoria. La dirección de la alimentación es uno de los factores que contribuyen a determinar la forma de la pieza torneada, y el sentido establece la situación del filo de la herramienta.

**Alimentación longitudinal.** Es la de dirección paralela al eje de giro, aplicándose durante la generación de superficies cilíndricas. Puede efectuarse en dos sentidos. A derecha o izquierda, en los tornos horizontales, y ascendente o descendente en los tornos verticales. La alimentación longitudinal es siempre rectilínea.

**Alimentación transversal.** Es la que se realiza en dirección perpendicular al eje geométrico de giro, aplicándose a la generación de superficies planas.

También se llama radial porque converge hacia el centro o diverge de él, según se realice en un sentido u otro.

**Alimentación oblicua.** Es la que se aplica durante el torneado de superficies cónicas, pudiéndose considerar constituida por la combinación adecuada de la alimentación longitudinal con la transversal. En conos hasta 45 grados de inclinación predomina siempre la alimentación longitudinal sobre la transversal y en conos de mayor magnitud angular sucede lo contrario.

**Alimentación combinada.** Es la requerida para el torneado perfilador. Mediante la combinación adecuada de la alimentación longitudinal con la transversal, puede generarse cualquier cuerpo de revolución regular, o aún irregular.

**Alimentación manual.** Es la proporcionada al útil directamente por las manos del operador.

**Alimentación mecánica.** Es la que reciben las herramientas montadas en el soporte de los carros y por intermedio de ellos, aún cuando se gobiernen a mano. Es propia de las herramientas mecánicas comunes.

**Alimentación automática.** Es una alimentación mecánica aplicada a la herramienta por intermedio de los carros, cuyo desplazamiento es controlado por el mecanismo del torno en relación adecuada con el giro de la pieza.

**Alisado.** Es la segunda fase del torneado, que tiene por finalidad eliminar las irregularidades ocasionadas por el desbaste sobre la superficie torneada y al mismo tiempo dar a la pieza su forma definitiva, dejando un margen pequeño en las dimensiones para dar lugar al acabado.

**Ancho de la viruta.** Corresponde a la dimensión medida en dirección paralela al filo activo. Es equivalente al ancho de la superficie de corte. Cuando el filo activo es perpendicular a la superficie torneada el ancho de la viruta es igual a la profundidad de corte. Aumenta con el ángulo de situación del filo.

**Avance.** Es el espacio recorrido por el filo activo sobre la generatriz torneada en una revolución completa de la pieza.

**Bruñido.** Proceso de pulimento que se realiza generalmente sin elementos cortantes ni abrasivos, utilizando al efecto herramientas especiales que actúan sobre la superficie tratada, por compresión.

**Caudal de virutas.** Es la cantidad en peso de virutas arrancadas por la herramienta en un determinado tiempo. Es proporcional al tiempo, a la velocidad de corte y alimentación.

**Cilindrado.** Es la forma de torneado orientada a generar superficies cilíndricas.

**Clavada.** Introducción imprevista y anormal del filo en las superficies torneadas.

**Condiciones operativas.** Son aquellas que rigen durante la operación de tornear y que tienen relación directa con el tipo de torneado -interno o externo- y la fase que se realiza de desbaste o alisado. El sistema de alimentación utilizado, el movimiento aplicado a la herramienta y su forma de operar con o sin arranque de virutas, son también factores que determinan las condiciones operativas que rigen la conducción del torno y el empleo de la herramienta.



**Condiciones conductivas.** Se refiere a las precauciones que debe observar el operador durante la conducción del torno y empleo de sus herramientas, para evitarles deterioros y desgastes excesivos al cumplir con las condiciones operativas y aplicativas impuestas por el trabajo.

**Corte.** Es un proceso que provoca el desprendimiento de viruta del núcleo o cuerpo que constituye la pieza torneada. El efecto cortante es producido por el avance e incisión del filo sobre la superficie de la pieza giratoria. La posición relativa de la pieza y la herramienta determinan la profundidad del corte y el movimiento relativo de ambas determina el avance. Se dice que un corte es liviano cuando se realiza muy superficialmente y con poco avance, es pesado en caso contrario.

**Cortes consecutivos.** Son los que se realizan consecutivamente, es decir uno después de otro, empleando una o varias herramientas.

**Cortes simultáneos.** Son los cortes que se llevan a cabo a un mismo tiempo, ya sea con una o varias herramientas.

**Desbaste.** Es la primera fase del torneado y tiene por objeto provocar el mayor arranque posible de virutas, acercando la pieza a su forma y dimensiones. Se realiza por lo tanto a las mayores velocidades de corte; avance y con las máximas profundidades de corte admitidas por la pieza.

**Diámetro.** Es la dimensión transversal de la pieza torneada tomada sobre su plano de simetría.

**Diámetro máximo.** (Dm). En cortes longitudinales, es el que corresponde a la superficie externa de la pieza, antes de aplicarle la herramienta.

**Diámetro mínimo.** ( $d_m$ ). Es el que resta después de aplicada la herramienta y corresponde al diámetro del núcleo o de la superficie torneada. Su valor se determina mediante la siguiente igualdad:

$$d_m = D_m - 2b.$$

Donde  $b$  corresponde a la profundidad de corte.

**Elementos de la viruta.** Se puede denominar así a las dimensiones de la viruta o sea, su ancho y su espesor. Estos términos varían con el avance, la profundidad de corte y el ángulo de situación del filo.

**Espesor de la viruta.** Corresponde a su dimensión medida en dirección paralela al filo auxiliar. Cuando el filo activo es perpendicular a la superficie torneada, el espesor de la viruta es igual al avance.

**Fases del torneado.** Las fases del torneado son tres y se realizan consecutivamente cualquiera sea su forma o tipo. Reciben técnicamente los nombres de: desbaste, alisado y acabado.

**Frenteado.** Es la forma de torneado aplicada a la generación de superficies planas.

**Formas del torneado.** Las formas que puede adoptar una pieza por intermedio de su maquinado en el torno son muchas y reciben nombres característicos, tales como cilindrado, frenteado, tronzado, estriado, roscado, etc.

**Montaje.** Fijación de la herramienta al torno por intermedio de elementos o accesorios especiales, llamados de montaje. También se aplica con respecto al proceso de sujetar la pieza en el torno.

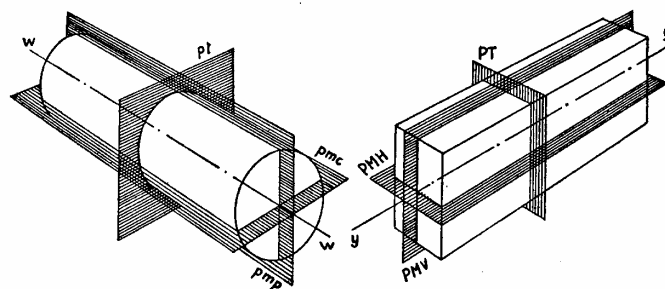
**Pasada.** Es la trayectoria seguida por el filo de la herramienta desde que comienza un corte hasta que lo termina. La dirección y el sentido de la pasada los determina la alimentación, y el avance.

**Perfilado.** Es el procedimiento que tiene por objeto dar formas especiales a las superficies torneadas, con el empleo de herramientas comunes y por intermedio de una alimentación combinada.

**Plano medio de corte.** Es el plano imaginario que contiene el eje geométrico de giro y sobre el cual se desplaza el filo de la herramienta durante el torneado. El plano medio de corte es entonces un plano de simetría de la pieza. La situación en el espacio del plano medio de corte se considera de acuerdo a la ubicación de la herramienta y la posición del eje de giro. Normalmente es horizontal en tornos horizontales y verticales en tornos verticales; pero en tornos especiales pueden existir varios planos de corte, uno para cada herramienta y en situación definida por su ángulo de ubicación.

**Planos de referencia.** Son los planos imaginarios que se relacionan con la cabeza y el cuerpo de la herramienta para fijar sus ángulos de posición durante el diseño y construcción, así como sus ángulos de montaje. En la pieza también se suelen tomar planos de referencia para medir los ángulos de corte y de montaje. Los planos de referencia en la pieza y la herramienta se representan esquemáticamente en la figura 9

**Figura 9. Planos de referencia en la herramienta y en la pieza**



y	Eje geométrico de la herramienta
w	Eje geométrico de giro
p.m.c.	Plano medio de corte
p.m.p.	Plano medio perpendicular
p.t.	Plano transversal de la pieza
P.M.V.	Plano medio vertical de la herramienta
P:M:H:	Plano medio horizontal de la herramienta
P:T:	Plano transversal de la herramienta

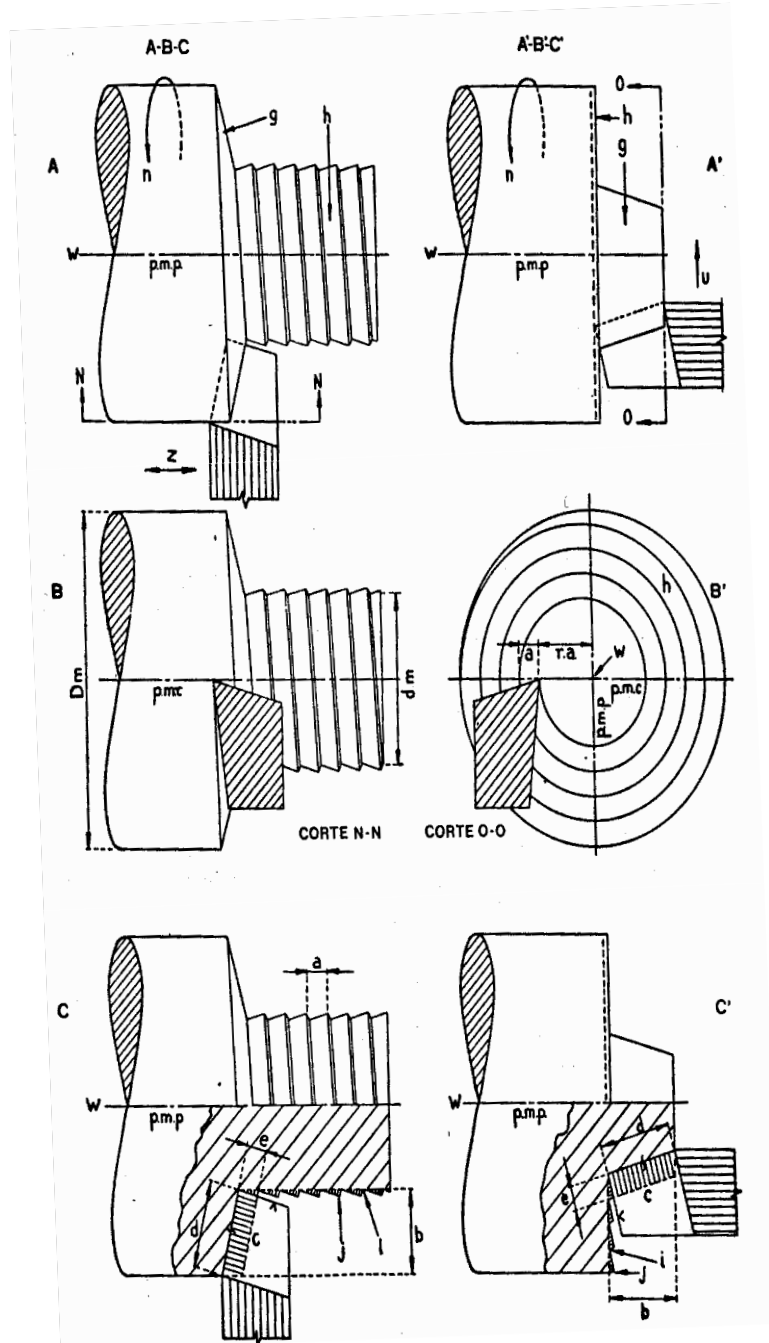
**Profundidad de corte.** Es la distancia entre el diámetro máximo y el diámetro mínimo. En corte longitudinal el radio de corte permanece constante y en cortes transversales varía constantemente hasta reducirse a cero cuando el filo llega al centro de la pieza.

**Radio de corte actual.** Es el radio de corte medido en una determinada posición de la herramienta durante el torneado.

**Roscado.** Es la forma de torneado orientada hacia la generación de superficies helicoidales.

**Sección de viruta.** Teóricamente es proporcional al avance y a la profundidad de corte, es decir que equivale al producto de estos dos términos.

Figura 10. Terminología técnica relacionada con la herramienta de torno



- |                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| a. Avance                   | i. Surco(fondo de la pasada)     |
| b. Profundidad de corte     | j. Cresta (resto de la pasada)   |
| c. Sección de la viruta     | v. Filo auxiliar                 |
| d. Ancho de la viruta       | u. Alimentación transversal      |
| e. Espesor de viruta        | z. Alimentación longitudinal     |
| f. Filo activo              | w. Eje geométrico de giro        |
| g. Superficie de corte      | DM. Diámetro máximo de la pasada |
| h. Superficie torneada      | Dm. Diámetro mínimo de la pasada |
| p.m.c. Plano medio de corte | p.m.p. Plano medio perpendicular |
| Ra. Radio actual de corte   |                                  |

**Superficie de corte.** Es la superficie que permanece en contacto directo y continuo con el filo activo de la herramienta.

**Superficie torneada:** Es la superficie que permanece en contacto momentáneo con la nariz de la herramienta, durante una pasada.

**Torneado.** Es el conjunto de operaciones llevadas a cabo en el torno que conducen a la realización de un determinado trabajo.

**Tipos de torneado.** Son dos principalmente, según se realicen superficies internas o externas.

**Tronzado.** Es la forma de torneado que tiene por objeto seccionar en dos la pieza trabajada.

**Velocidad de corte.** Es la velocidad tangencial o periférica de la pieza giratoria. Se mide sobre el diámetro mayor de la pasada y aumenta o disminuye con el diámetro de corte. La velocidad de corte no es la misma para todos los trabajos dependiendo su valor de múltiples factores, tales como las propiedades físicas del metal cortado y el metal que constituye la herramienta, etc.

**Velocidad de giro.** Corresponde al número de revoluciones por minuto de la pieza torneada.

#### **1.4 Desgaste de la herramienta de corte**

El desgaste de la herramienta es una consecuencia lógica del trabajo continuo concentrado sobre el filo activo. Su magnitud es inversamente proporcional a la resistencia al desgaste, como condición indispensable que debe reunir toda herramienta de torno, para permanecer en actividad el mayor tiempo posible operando en condiciones óptimas.

El desgaste es inevitable, pero su magnitud puede variar enormemente de acuerdo con las condiciones operativas que rigen durante el corte de un determinado material.

La consecuencia más importante del desgaste, es el tiempo útil de aplicación a un trabajo determinado y que limita forzosamente el rendimiento del conjunto máquina-herramienta, ya que el torno debe detenerse para poder retirar la herramienta gastada y reafilarse o reemplazarla por otra herramienta.

Los periodos de tiempo que un torno permanece detenido por causa de sus herramientas, se denominan tiempos muertos de operación.

Por lo expuesto, el desgaste de las herramientas de corte puede ser considerado como uno de los peores enemigos de la producción en talleres de torneado y, como tal, debe encararse decididamente si se desea aumentar la eficiencia general.

Reducir el desgaste de las herramientas también significa un ahorro de metales y material de amolar, pero por sobre todo, representa mayor duración de los periodos productivos y menor cantidad de tiempos muertos en un proceso de producción.

#### **1.4.1 Manifestación del desgaste sobre la superficie torneada**

Los efectos del desgaste en la herramienta, se manifiestan primero sobre la pieza torneada, con diversos síntomas citados a continuación en el orden común de aparición.

1. **Irregularidad creciente de la superficie torneada**, desapareciendo poco a poco los helicoides regulares de un trabajo normal, para ofrecer a la vista una superficie desgarrada y áspera.
2. **Ruido anormal, de intensidad creciente**, sorda y molesta, que hace pensar en una máquina de afilar.
3. **Aumento de temperatura de la pieza torneada**, se manifiesta primero en forma local y luego total, dando lugar a excesivas dilataciones, sobre todo perjudiciales en trabajos realizados entre puntas. Aparición de zonas brillantes o fajas de fusión.



4. **Desprendimientos de chispas**, desde el momento mismo que se manifiesta el primer síntoma del desgaste, en forma de irregularidad sobre la superficie torneada, los demás se suceden rápidamente. El consumo de potencia del torno va en aumento; la capacidad de corte de la herramienta y su eficiencia cortante decrecen en forma tal, que resulta sumamente antieconómico continuar usándola.

Por las causas expuestas, se considera como límite normal de los períodos productivos, aquel en que la superficie torneada manifiesta claramente las irregularidades citadas anteriormente.

#### **1.4.2 Manifestaciones del desgaste sobre la herramienta**

Los efectos del desgaste en la herramienta se manifiestan lógicamente en adyacencias de su filo activo y pueden reconocerse por simple observación visual, o con el auxilio de un lente óptico de poco aumento, procedimiento denominado examen macroscópico del filo.

El desgaste natural de un filo sometido al corte normal se manifiesta sobre las dos caras que lo constituyen, y se ha dado en llamar embotamiento.

El embotamiento de un filo no es más que un aumento de su ángulo sólido de cuña, que durante la operación de torneado, se traduce también en una reducción de sus ángulos de ataque e incidencia.

Concurren al embotamiento del filo el desgaste de su cara incidente o abrasión, provocada por el continuo rozamiento con la superficie de corte, y el desgaste de su plano atacante o erosión originada por la viruta al evacuarse. Antes del embotamiento la erosión da lugar a la formación de cráteres sobre la cara superior.

Cuando la abrasión y la erosión son normales, el embotamiento del filo se produce paulatinamente, después de haber cortado una cantidad de virutas considerable.

### **1.4.3 Causas del desgaste**

En el párrafo anterior se han mencionado algunas causas comunes del desgaste. En realidad existen muchas más, que constituyendo un conjunto de factores variables, absorben continuamente la dedicación de muchos investigadores en el mundo entero encaminados en sus propósitos al mejoramiento de las herramientas y la evolución de los procesos de corte.

#### **1.4.3.1 Causas de abrasión excesiva del plano incidente**

:

1. Las velocidades de corte elevadas
2. Los avances muy reducidos
3. El empleo de un metal cortante poco resistente a la abrasión
4. Las incidencias excesivas o deficientes

#### **1.4.3.2 Causas de erosión excesiva del plano atacante**

:

1. Las velocidades de corte muy bajas
2. Los avances grandes
3. El empleo de un metal cortante poco resistente a la erosión
4. Los ángulos de ataques excesivos o deficientes

#### **1.4.3.3 Causas de desmenuzamientos del filo**

1. El amolado y asentado deficiente
2. Las vibraciones y trepidaciones durante el corte
3. El empleo de un metal cortante inadecuado
4. Las profundidades variables de corte

#### **1.4.3.4 Causas de rotura del filo**

1. Los impactos en general
2. Las trepidaciones muy fuertes
3. Los cortes interrumpidos
4. Las incrustaciones o diferencias de dureza
5. El empleo de un metal cortante inadecuado
6. El ángulo de cuña muy agudo

Otros factores no mencionados, ejercen en todos los casos influencias sobre el desgaste, pudiendo citarse entre otros la profundidad del corte, la forma del filo, su posición con respecto al plano medio de corte, los ángulos de montaje, el empleo o no de refrigerante, etc.

### **1.5 Metales convencionales para herramientas de corte**

La primera condición que debe reunir un metal para herramienta cortante es su dureza o sea, la facultad para poder rayar o cortar a los demás metales o materiales en general, sin desgastarse sensiblemente.

Es comprensible que cuanto más duro sea un metal de corte, más amplia será la escala de elementos que pueda cortar.

Sin embargo y lamentablemente, el máximo de dureza en algunos metales cortantes corresponde también a su mayor fragilidad y de nada sirve el filo extremadamente duro si al primer impacto o trepidación se mella e inutiliza.

Durante el corte, las presiones originadas por la viruta actúan sobre áreas relativamente pequeñas en la cara superior de la herramienta. Estas presiones, contrariamente a lo que podría suponerse son muy irregulares y, por momentos, las variaciones pueden ser tan bruscas que causen la rotura del filo.

Por eso se sacrifica casi siempre un poco de dureza, para obtener mayor elasticidad y tenacidad, factores ambos que mejoran la resistencia mecánica del filo a las presiones concentradas, aminorando la posibilidad de su rotura y deformación permanente al atacar la pieza trabajada.

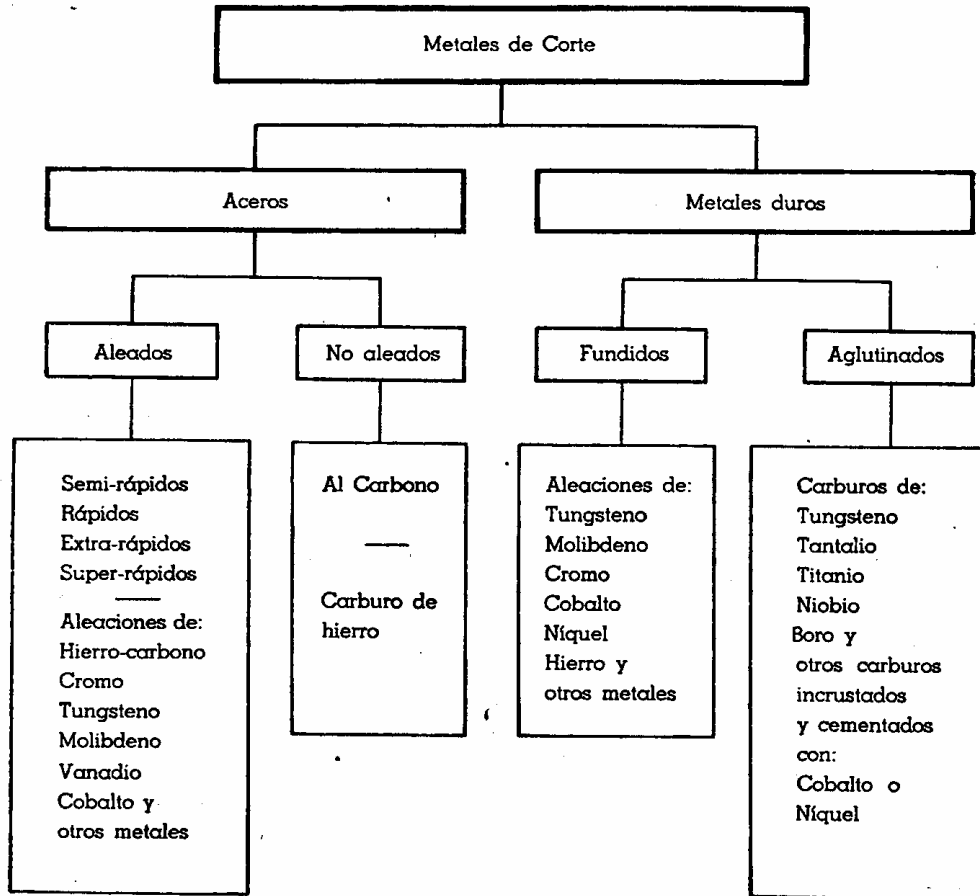
Además, las exigencias del trabajo moderno a altas velocidades de corte, someten a dura prueba a las herramientas por la enorme fricción desarrollada en el punto de corte. El calor allí generado es tan grande, que puede elevar la temperatura del filo más allá de los 900° C en algunos casos.

El metal de las herramientas de corte modernas debe ser tal, que pueda conservar todas sus propiedades características a esta temperatura.

En la figura 11, se resumen los tipos básicos de metales cortantes, indicándose además los elementos fundamentales que los constituyen normalmente, ver figura 12.

Los metales para herramientas de corte se dividen en dos categorías principales: aceros y metales duros. Estos a su vez se subdividen en tipos diversos de características y aplicaciones bien definidas.

Figura 11. Metales para herramientas de corte



**Tabla I. Elementos constituyentes de una herramienta de corte**

<b>Metal cortante</b>	<b>Dureza Rockwell A 60 kg.</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Conductibilidad calorífica</b>	<b>Coefficiente de dilatación</b>	<b>Permeabilidad magnética</b>
Metales duros Aglutinados. -Carburo básico: de Tungsteno	90 a 92	13 a 15	0.140 a 0.180	0.0000045 a 0.0000058	1.5 a 2
- Carburo básico: de Titanio, Tungsteno.	91 a 93	10 a 13	0.070 a 0.136	0.0000064 a 0.0000072	2 a 3
Metales duros fundidos. -Cromo, cobalto, tungsteno (o molibdeno, níquel).	83.5 a 85.5	8.38 a 8.76	Baja	0.0000145 a 0.0000169	Muy baja
Aceros. - Al carbono (1.1% C. templado),	máx. 83	7.8	0.14	0.0000147	150-50
-Rápido (18 – 4 -1- templado).	máx. 85	8.6	0.061	0.0000126	--

### 1.5.1 Aceros para herramientas de torno

Estos aceros, como todos, se dividen por su composición en dos tipos: aleados y no aleados.

Los aceros no aleados se denominan simplemente aceros al carbono, porque además de hierro y algunas impurezas contienen un porcentaje de carbono que le confiere sus principales cualidades.

La adición de carbono a los aceros para herramientas no aleados, alcanza los mayores valores posibles, pero no pueden limitarse entre 0.5% a 1.4 % los más comunes.

El porcentaje creciente de carbono aumenta la sensibilidad de temple, la resistencia tractora y la dureza, disminuyendo proporcionalmente el alargamiento y la ductilidad.

Las propiedades físico-mecánicas de los aceros no dependen solamente del contenido de carbono, sino también de los distintos tratamientos térmicos a que pueden someterse.

Los aceros al carbono fueron los más primitivos metales de corte utilizados, pero la evolución de los aceros aleados los fue desplazando poco a poco de sus aplicaciones en máquinas herramientas, hasta el punto que hoy día no se emplean casi para torneado.

La única ventaja con respecto a los demás aceros es sólo aparente, y consiste en su menor costo inicial de adquisición. Su rendimiento durante el corte es muy inferior al de los aceros aleados, aún torneando materiales blandos, porque su resistencia a la fricción y al calor generado es muy reducida.

Se denomina aceros aleados aquellos que contiene además de carbono, otros elementos destinados a conferirle propiedades particulares.

Los aceros aleados que más se adaptan al trabajo de torno se denominan según una característica operativa fundamental, relacionada con la velocidad de trabajo que admiten: aceros semi-rápidos, rápidos, extra rápidos, y super rápidos.

Aceros semi-rápidos. Constituyen un tipo de acero que por su dureza extraordinaria de temple se denomina aceros diamantes y es común entre los fabricantes emplear para designarlos un derivado de esa palabra. Ejemplo *Diamant*, *Diamant* especial de la casa fabricante *Styria* y *Diamanthart* de la casa fabricante *Poldy*.

Su composición se sitúa entre los siguientes límites de elementos aleatorios:

Elemento químico	Porcentaje
C	1,1% a 1,5 %
Cr	0.3% a 1 %
W	4% a 8 %
Mn	0.1% a 0.4 %
Si	0.1% a 0.4%

Algunos solamente contiene tungsteno, pero en porcentaje mayor. Todos se emplean para torneear materiales duros, como la fundición endurecida de rodillos laminadores, por ejemplo, operando a baja velocidad de corte.

Su gran resistencia al desgaste abrasivo los hace sumamente aptos para cortes de alisado sobre otros materiales, siempre operando a moderada velocidad y si es posible con auxilio de lubricación, para evitar elevaciones de temperatura en el punto de corte más allá de los 200° C., pues su resistencia al revenido es muy baja.

Aceros rápidos. En el siglo pasado venían usándose con buen rendimiento para tornos de la época, ciertas calidades de acero contenían únicamente como elementos de aleación, cromo y manganeso. La adición de tungsteno mejoró la calidad de estos aceros, que por sus propiedades para templar fueron bien acogidos por la industria en general.

Sin embargo, las velocidades de corte no podían incrementarse en la medida deseada. Se comprobó accidentalmente que calentando este acero casi a la temperatura de fusión para templarlo, adquiriría una nueva y desconocida propiedad, que se denominó dureza al rojo.



Esta propiedad consistía en una conservación de la dureza de temple hasta temperaturas de 600° C. y, como esta temperatura solo puede generarse durante el corte por el calor que genera la fricción a altas velocidades de operación. Estos aceros fueron denominados aceros rápidos.

Las propiedades del acero rápido, o de alta velocidad, se deben al contenido de cromo y tungsteno.

El agregado de cobalto en distintos porcentajes ha mejorado los aceros modernos de mayor rendimiento, confiriéndoles al parecer su extraordinaria tenacidad en los llamados aceros extra rápidos y súper rápidos.

Pocos son en verdad los metales duros obtenidos por fusión, que se emplean actualmente. Parece ser que estos metales, a pesar de sus ventajas sobre los mejores aceros rápidos, no han podido competir con los metales aglutinados que se fabrican y emplean más. Por ser antimagnéticos, se prestan más para algunas aplicaciones, que los aceros y algunos carburos cementados.

Los metales duros fundidos son aleaciones de tungsteno, cromo y cobalto en gran proporción, conteniendo además porcentajes menores de hierro y carbono. En algunos casos el cobalto se reemplaza por níquel y el tungsteno por molibdeno. Los metales duros fundidos, también llamados estelíticos no pueden forjarse, son malos conductores del calor, pero poseen un coeficiente de dilatación muy semejante al de los aceros, característica que los hace muy apropiados para construir herramientas compuestas.

Su dureza es algo mayor que la correspondiente a los mejores aceros rápidos templados y revenidos, y la conservan más allá de los 900° C., aventajando ampliamente a los citados aceros en este sentido.

Metales duros aglutinados representan la última palabra en metales para herramientas de torno. Su extremada dureza es solamente superada por el diamante y algunos carburos, como el silicio, que se emplean para su amolado. Poseen además una resistencia excepcional al desgaste y al calor, lo que los hace apropiados para el corte a altísimas velocidades, resistiendo temperaturas superiores a los 1000° C. en el punto de corte, sin alterarse.

Como elementos que mejoran la dureza y la tenacidad, fueron incluidos los carburos de titanio, de tantalio y de molibdeno.

Como aglutinante se incorporó el níquel al ya conocido cobalto, se procura introducir en las aleaciones carburos de vanadio, niobio, boro, circonio, uranio, etc.

Los metales duros aglutinados se obtienen por la técnica de las aleaciones incrustadas, o método metalúrgico del polvo.

Los metales básicos de aleación reducidos a polvo de grano muy fino y uniforme se mezclan con el carbono en idénticas condiciones, y luego se cementan con polvos de níquel o cobalto a altas temperaturas y presiones en atmósferas adecuadas.

De este modo, las partículas duras constituidas por la mezcla del carbono y metal básico (carburos) se incrustan en una matriz de partículas tenaces que las disuelven superficialmente al fundirse.

## **1.6 Herramientas cortantes de alto desempeño**

### **1.6.1 Tipo de grados.**

#### **1.6.1.1 Carburo revestido tipo PVD**

Significa deposición física de vapor metálico, es un proceso que permite evaporar metal u óxidos metálicos con la aplicación de suficiente calor. Los átomos o moléculas liberadas se alejan de la fuente en todas direcciones; cuando llegan al rango de atracción atómica o molecular del carburo de tungsteno se condensan en el. Este carburo tratado tiene un amplio rango de aplicaciones al maquinado de diversos materiales. Entre sus aplicaciones directas se utiliza para roscar, hacer ranuras, tronizados y torneado de acabado. Estos insertos trabajan muy bien de bajas a medianas velocidades de corte. Estos tratamientos son aplicados al carburo de tungsteno a bajas temperaturas, lo cuál preserva la resistencia del filo cortante y permite obtener filos afilados

Este tratamiento provee superficies lisas en el inserto, esto genera menos calor por fricción, bajas fuerzas de corte y resiste el recrecimiento del filo que puede provocar la viruta cortada. Este tratamiento contiene granos metálicos muy finos y muy duros que resisten el desgaste abrasivo. Los filos de corte son afilados o únicamente asentados resultando en menos vibración, poco chirrido, excelente acabado en la superficie y mejor control dimensional del inserto. Los avances pueden ser tan bajos como 0.001” pulgada por revolución.

### **1.6.1.2 Carburo revestido tipo CVD.**

Significa deposición química de vapor metálico, se refiere a la deposición de un elemento o compuesto producido por una reacción de fase de vapor entre un compuesto del elemento y un gas o vapor reactivo, con la formación de derivados que se deben retirar del reactor. En estos grados existe una variedad para escoger el inserto para efectuar los cortes metálicos. Estos tratamientos son aplicados al carburo base, a altas temperaturas lo que causa una difusión atómica en los átomos del metal de aporte, lo cuál asegura una adherencia muy fuerte.

El proceso CVD también permite la deposición de varias capas diferentes de revestimiento lo cual suprime la craterización y el desgaste del ángulo de incidencia (abrasión), lo cuál extiende el rango de aplicación de la herramienta cortante.

Los grados CVD ofrecen tungstenos base enriquecidos con cobalto, el enriquecimiento de cobalto produce un filo de corte de excelente resistencia, resistencia a la fractura y resistencia a la deformación por altas temperaturas.

El tratamiento CVD es el único proceso de tratamiento que aplica eficientemente la alumina ( $Al_2O_3$ ) al carburo base. Los tratamientos de alumina permiten altas velocidades de corte y son los mejores tratamientos para reducir la abrasión y la craterización.

Estas herramientas requieren un asentamiento en el filo cortante y los avances recomendados para el trabajo son arriba de 0.003” de pulgada por revolución.

### **1.6.1.3 Grados cerámicos**

Los materiales cerámicos para herramientas de corte pueden ser divididos en dos familias: basados en la alumina ( $Al_2O_3$ ) y basados en el nitrato de silicio ( $Si_3N_4$ ).

Estas herramientas pueden ser extremadamente efectivas y productivas cuando son utilizadas en procesos de maquinado a altas velocidades. Estos insertos pueden maquinar hierros fundidos, hierros dúctiles, aleaciones de alta temperatura (basados en el hierro y el níquel) y aceros tratados térmicamente.

#### **1.6.1.4 Grados tipo cermet**

Los grados *cermet* están compuestos principalmente de nitrocarburo de titanio (TiCN) con un blindaje de níquel. Estos insertos son química y térmicamente estables que le da alta resistencia al desgaste. Los grados *cermet* son exitosos al ser utilizados a altas velocidades en el maquinado de acabado de la mayoría de aceros.

Los grados *cermets* son capaces de mantener el filo cortante en perfecto estado a altas velocidades y temperaturas, lo que les permite producir excelentes superficies acabadas. Los grados *cermets* son menos apropiados que los carburos para desbastes pesados o en condiciones de corte interrumpido, ya que sufren fracturas.

#### **1.6.1.5 Grados policristalinos**

La familia de herramientas de grado policristalino está dividida en dos grupos básicos: los diamantes y las herramientas a base de nitrato cúbico de boro (CBN).

Los diamantes son materiales para herramientas de corte muy duro, utilizable principalmente en materiales no ferrosos a altas velocidades de corte. Poseen extrema resistencia a la abrasión y esfuerzo. Los diamantes tienen alta conductividad térmica que ayuda a la disipación del calor, cuando es utilizada a altas velocidades.

Los grados policristalinos a base de nitrato cúbico de boro (CBN), pueden dividirse en dos grupos: en grados de bajo contenido de CBN y en grados de alto contenido de CBN.

Los grados de bajo contenido de CBN, tienen baja conductividad térmica y comparativamente alta resistencia a la compresión, estas características permiten efectuar cortes en caliente a altas velocidades. Estas características lo hacen ideal para hacer cortes finos de aceros endurecidos.

Los grados de alto contenido de CBN, poseen extremadamente alta conductividad térmica y dureza, pueden operar a altas velocidades con severos cortes interrumpidos.

## **2. SELECCIÓN DE INSERTOS CORTANTES SISTEMA *KENNA-PERFECT*, PARA EL CORTE DE ACEROS CUYA DUREZA SEA MENOR DE 48 HRC.**

### **2.1 Qué es el proceso *kenna-perfect***

El sistema *kenna-perfect*, es un sistema completo que permite escoger la herramienta cortante en base a las características metalúrgicas de los diversos metales a ser cortados, por ejemplo: aceros comunes, acero inoxidable, hierro fundido, metales no ferrosos, aleaciones de alta temperatura y materiales con tratamiento térmico.

Este sistema nos permite seleccionar la herramienta cortante en tres pasos, basado en las condiciones de corte. El sistema recomendará el mejor grado de herramienta de corte, la geometría del inserto y la velocidad inicial de producción.

### **2.2 Selección de un inserto cortante para el corte de acero cuya dureza no sobrepase los 48 hrc**

#### **2.2.1 Paso uno. Condiciones iniciales**

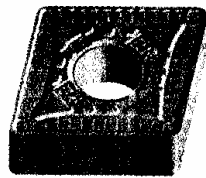
Cuando iniciamos un proyecto de maquinado en el torno utilizando insertos cortantes de alto desempeño, nos surgen las dudas para seleccionar el inserto. En el mercado existe un universo de insertos y resultamos totalmente perdidos para efectuar la selección, estos han evolucionado de manera vertiginosa, es necesario consultar manuales de diversos fabricantes para tener una visión completa del problema de selección.

La primera condición que necesitamos, es tener los parámetros de profundidad de corte y avance para iniciar. Es necesario reconocer que tipo de proceso a efectuar. (Desbaste, maquinado medio, acabado o acabado fino).

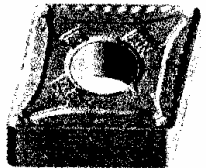
Dependiendo del proceso que escojamos debemos seleccionar:

- Si el inserto a utilizar será de tipo negativo o de tipo positivo. Los insertos negativos se utilizan para resistir las condiciones de corte mas severas, los insertos positivos son para cortes mas livianos y están orientados a maquinado fino. Ver figuras 12 y 13.

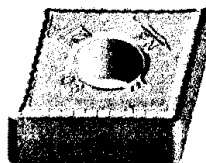
**Figura 12. Insertos cortantes de geometría negativa**



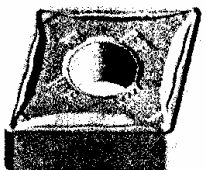
**-RN**  
▼ DESBASTE



**-MN**  
▼▼ MEDIANO MAQUINADO



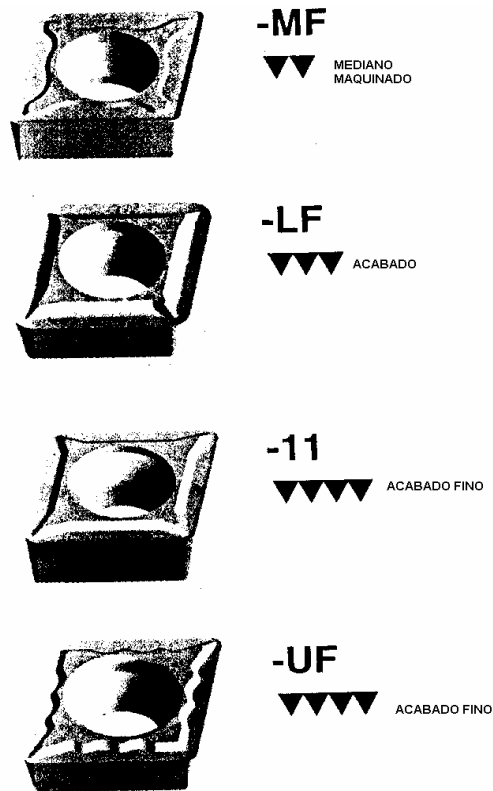
**-FN**  
▼▼▼ ACABADO



**-FF**  
▼▼▼▼ ACABADO FINO



**Figura 13. Insertos cortantes de corte positivo**



- Consultar la grafica de avance contra profundidad de corte. Ver figura 14 para condiciones de insertos con geometría negativa y figura 15 para condiciones de insertos con geometría positiva. En el eje de las abscisas, leer el avance dado y en las ordenadas el valor de la profundidad de corte, donde se crucen las líneas imaginarias indicará la geometría de la herramienta de corte adecuada al trabajo que realizaremos.

Figura 14. Gráfica de avance contra profundidad de corte, para geometría negativa

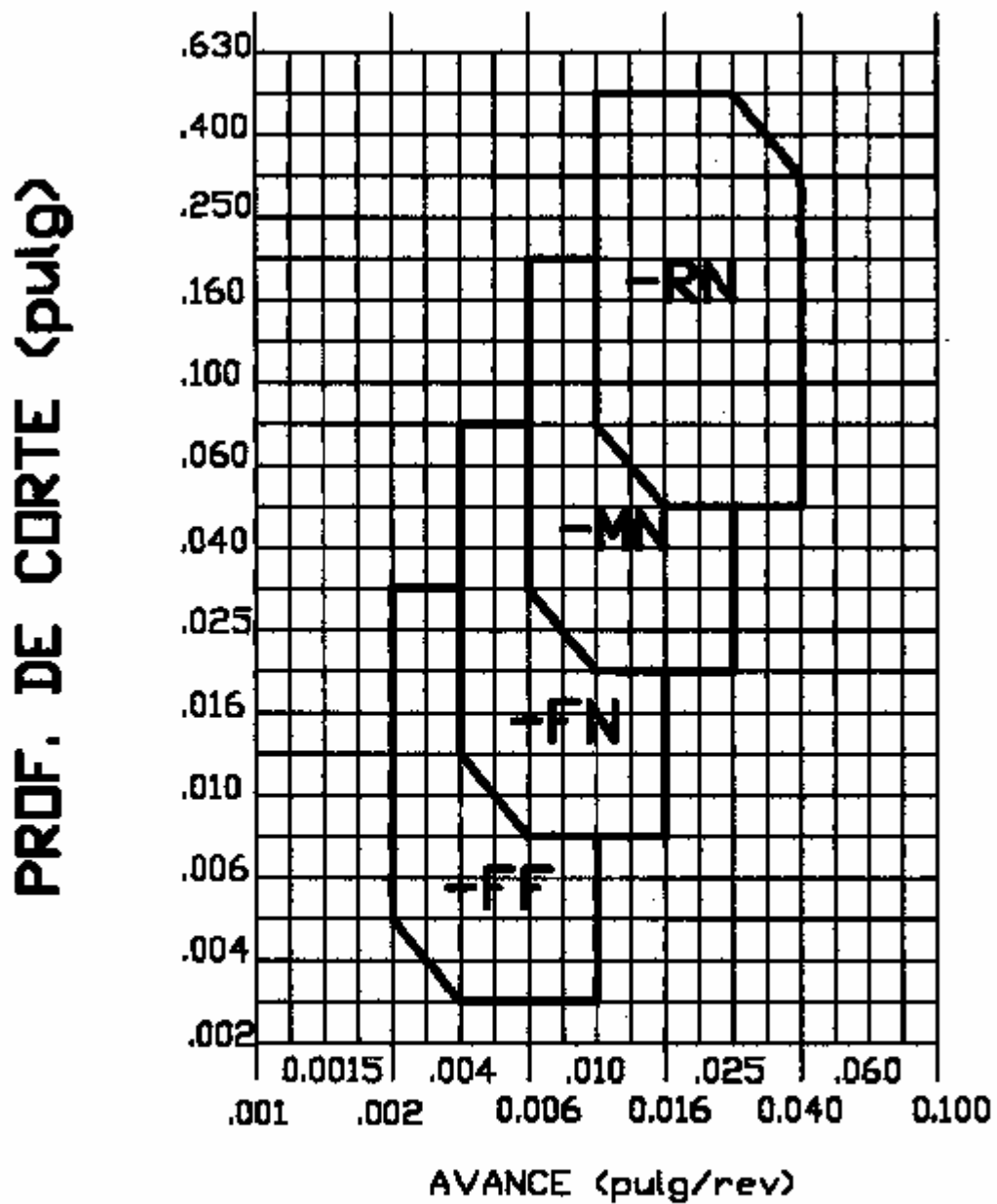
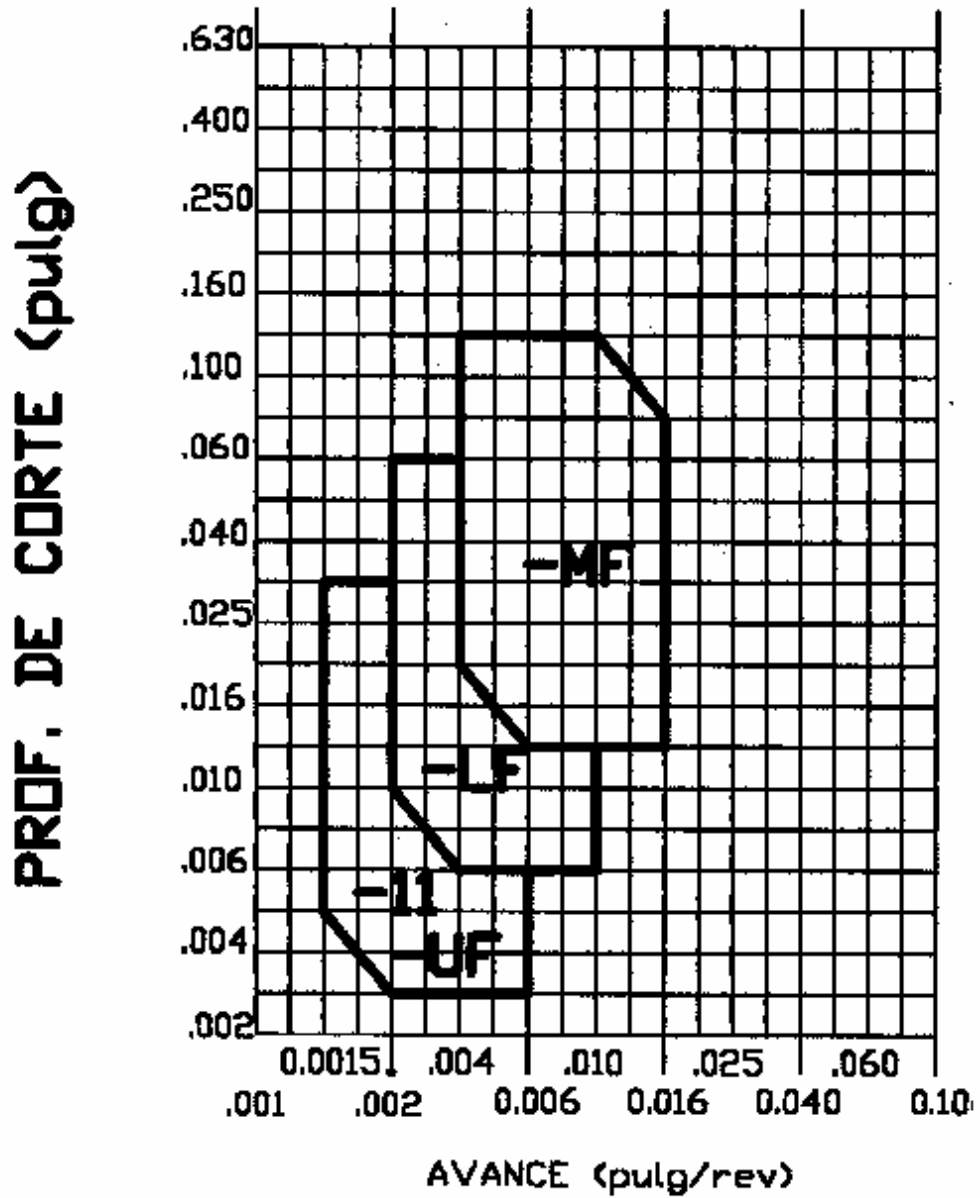


Figura 15. Gráfica de avance contra profundidad de corte para geometría positiva



El sistema *kenna-perfect* a estandarizado cuatro geometrías básicas para maquinar el acero.

#### Geometrías de tipo negativo

- Para la operación de desbaste utilizar geometría –RN.
- Para la operación de mediano maquinado, o cortes no muy profundos utilizar la geometría –MN.
- Para la operación de acabado utilizar geometría –FN.
- Para la operación de acabado fino utilizar la geometría –FF.

#### Geometrías de tipo positivo

- Para la operación de mediano maquinado utilizar geometría –MF.
- Para la operación de maquinado de acabado utilizar geometría –LF.
- Para la operación de maquinado de acabado fino utilizar geometría – 11.
- Para la operación de maquinado de acabado ultra fino utilizar geometría - UF

#### **Resumen paso uno**

- a. Iniciar con condiciones de corte (valores conocidos de profundidad de corte y avance)
- b. Escoger la herramienta de corte según la necesidad, negativo o positivo.
- c. Leer la gráfica avance vrs profundidad de corte.
- d. Seleccionar la geometría de la herramienta de corte en la gráfica correspondiente.

### 2.2.2 Paso dos. Selección del grado del inserto de corte

En este paso es necesario conocer las condiciones particulares del corte, estas pueden ser:

- Cortes interrumpidos de tipo pesado (piezas extremadamente irregulares) Ver figura 16.

**Figura 16. Representación de corte interrumpido**



- Cortes medianamente irregulares (piezas con interrupciones livianas, ejemplo un cuñero en un eje, estrillas livianas y ranuras). Ver figura 17.

**Figura 17. Representación de corte medianamente irregular**



- Cortes que varíen en profundidad (piezas forjadas o fundidas irregularidades livianas). Ver figura 18.

**Figura 18. Representación de corte que varía en profundidad**







- Cortes totalmente cilíndricos (piezas totalmente regulares de la superficie) Ver figura 19.

**Figura 19. Representación de corte cilíndrico**







Con las condiciones bien definidas leer en la gráfica de selección de grado. Leer en las absisas el tipo de corte, y en las ordenadas la geometría encontrada en el paso uno. En la intersección, encontraremos el grado adecuado al tipo de trabajo a realizar. Ver figura 20 para grados negativos y figura 21 para grados positivos.

**Figura 20. Gráfica de grados de corte negativo**

CONDICIONES DE CORTE	GEOMETRIA DEL INSERTO			
	-FF ▼▼▼▼	-FN ▼▼▼	-MN ▼▼	-RN ▼
CORTE PESADAMENTE INTERRUMPIDO 	KC9110	KC9125	KC9040	KC9040
CORTE LIGERAMENTE INTERRUMPIDO 	KC9110	KC9125	KC9125	KC9040
CORTE CON VARIACION DE PROFUNDIDAD, PIEZAS OVALADAS Y FORJADAS 	KT315	KC9110	KC9125	KC9125
CORTES LISOS O SUPERFICIES PREMAQUINADAS 	KT315	KT315	KC9110	KC9110

**Figura 21. Gráfica de grados de corte positivos**

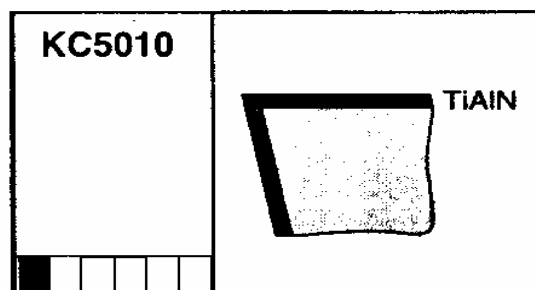
CONDICIONES DE CORTE		GEOMETRIA DEL INSERTO		
		-11 / - UF ▼▼▼▼	-LF ▼▼▼	-MF ▼▼
CORTE PESADAMENTE INTERRUMPIDO		KC5010	KC9125	KC9240
CORTE LIGERAMENTE INTERRUMPIDO		KC5010	KC9125	KC9125
CORTE CON VARIACION DE PROFUNDIDAD, PIEZAS OVALADAS Y FORJADAS		KT315	KC9110	KC9125
CORTES LISOS O SUPERFICIES PREMAQUINADAS		KT315	KT315	KC9110

### 2.2.2.1 Características de los grados de las herramientas de corte

**Grado KC-5010**, es ideal para el acabado de materiales comunes a medianas velocidades. Es excelente para maquinar aceros al carbón, aceros inoxidable, hierro fundido, materiales no ferrosos y aceros aleados bajo condiciones estables.

Composición: Es una herramienta con tratamiento de nitrato de aluminio y titanio para resistir la deformación, La base del carburo no es aleado. Es una herramienta fabricada bajo el proceso PVD. Ver figura 22.

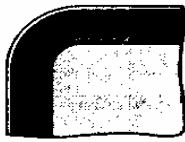
**Figura 22. Herramienta KC-5010**



**Grado KC-9040**, se utiliza para aplicaciones de desbastes pesados en todos los tipos de aceros al carbón, donde el esfuerzo en el filo es crítico. Está diseñado para prolongar la vida útil de la herramienta.

Composición: es un grado que tiene un tratamiento de alúmina con el carburo de base enriquecido con cobalto. Ver figura 23.

**Figura 23. Herramienta KC-9040**

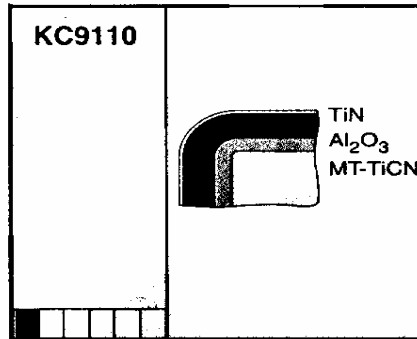
GRADO	TRATAMIENTO
KC9040	 TiN Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TiC TiCN

**Grado KC-9110**, es un excelente grado para trabajos de acabado y semiacabado para todos los aceros al carbono, aceros inoxidable ferríticos y martensíticos, hierros fundidos. Especialmente diseñado con una base de carburo enriquecido de cobalto para dar tenacidad en el filo, sus capas de tratamiento dan resistencia a la abrasión, resistencia a la craterización usando altas velocidades de maquinado. El tratamiento ofrece una superficie lisa que proporciona excelente resistencia al recrecimiento del filo, esta herramienta produce excelentes superficies acabadas.

Composición: esta herramienta tiene el carburo de base enriquecido con cobalto, con capas de tratamiento de nitro-carburo de titanio, óxido de aluminio y una capa final de nitrato de titanio. Estas capas dan un máxima de resistencia al desgaste. Ver figura 24.



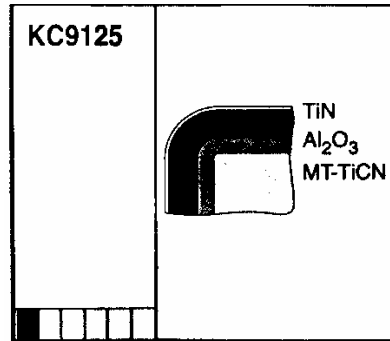
**Figura 24. Herramienta KC-9110**



**Grado KC-9125**, esta herramienta está diseñada para el maquinado general y para todos los aceros al carbón, aceros inoxidable martensíticos y ferríticos. El carburo base está enriquecido con cobalto que asegura una resistencia a la deformación, tenacidad en el filo, las capas de tratamiento dan resistencia a la abrasión y craterización cuando se trabajan a altas velocidades de maquinado. Las capas de tratamiento proporcionan una superficie lisa que provee buena resistencia al recrecimiento del filo, micro-grietas y produce excelentes superficies acabadas.

Composición: Carburo base enriquecido con cobalto, con perfecta adhesión entre sus capas de tratamiento. Ver figura 25.

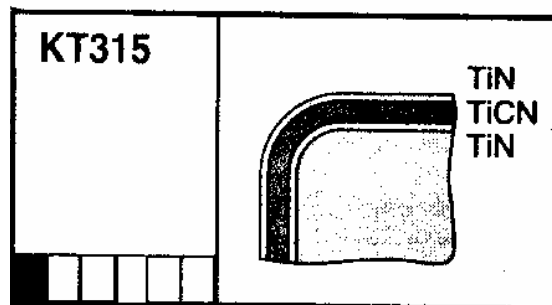
**Figura 25. Herramienta KC-9125**



**Grado KT-315**, ideal para altas velocidades para operaciones de mediano maquinado y acabado final en la mayoría de aceros al carbón, aceros aleados y aceros inoxidable. Trabajan perfectamente con fundición gris. Proporciona larga vida útil en la herramienta y produce excelentes superficies acabadas.

Composición: está diseñada de múltiples capas de tratamiento, proceso PVD con TiN/TiCN/TiN, es un grado tipo cermet. Ver figura 26.

**Figura 26. Herramienta KT-315**



### 2.2.3 Paso tres. Selección de la velocidad de corte

En este paso es necesario tener claro el grado de la herramienta de corte y el tipo de corte a realizar. Con esas condiciones leeremos la en la tabla la selección de velocidad de corte a utilizar. Es importante este dato, ya que con el iniciaremos la producción de algún trabajo.

Leer en la grafica el grado seleccionado y el tipo de corte en el reglón adecuado a las condiciones dadas. Luego leer la velocidad de corte hacia el reglón superior, en ese punto encontraremos la velocidad de corte adecuada a las condiciones dadas. Ver figura 27 para geometría negativa y figura 28 para geometría positiva.

**Figura 27. Gráfica de velocidad de corte para geometría negativa**

VELOCIDAD - sfm (m/min)		300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	CONDICIONES DE CORTE	
		(90)	(135)	(180)	(225)	(275)	(320)	(360)	(410)	(460)	sfm	m/min
ACERO	KT315										850	260
	KC9110										800	240
	KC9125										600	180
	KC9040										300	90

**Figura 28. Gráfica de velocidad de corte  
para geometría positiva**

VELOCIDAD sfm (m/min)		300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	VELOCIDAD DE INICIO	
		(90)	(135)	(180)	(225)	(275)	(320)	(360)	(410)	(460)	sfm	m/min
ACERO	KT315										850	260
	KC5010										700	215
	KC9110										800	240
	KC9125										600	180
	KC9240										350	110

Con la velocidad de corte en pies por minuto, hacer el cálculo de las revoluciones por minuto a colocar en la máquina herramienta.

$$\text{RPM} = \text{Velocidad de corte} \times 3.82 / \text{diámetro a tornear.} \quad (1)$$

#### **2.2.4 Consideraciones importantes al aplicar los insertos al torno convencional.**

Los insertos cortantes encontrados según el procedimiento anterior, son para aplicar a los tornos de control computadorizado.

Nuestro estudio se enfoca a la aplicación de estos insertos al torno convencional. Para esto es necesario tomar en consideración ciertas limitantes:

- Las revoluciones a utilizarse estarán comprendidas en un 60 a un 75% de las obtenidas.

Esto es debido a que en el torno convencional, las condiciones de enfriamiento no son las mejores, normalmente se trabaja en seco, con aceite de corte y sin condiciones de enfriamiento.

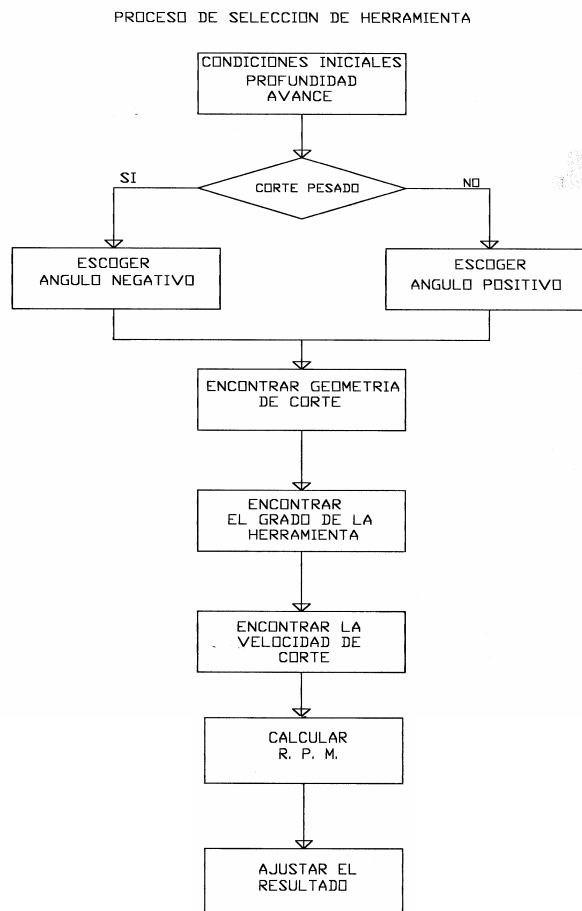
- Los tornos convencionales operan en un rango de velocidades generalmente bajas, comparado con un torno de control numérico computadorizado.
- Normalmente se eleva la temperatura y se transfiere a toda la pieza de trabajo por el uso de las herramientas de corte de alto desempeño.
- Es necesario adiestrar al personal en el uso de las herramientas cortantes, cualquier desconocimiento se traduce en deterioro prematuro de la herramienta.
- La vida útil de la herramienta de corte de alto desempeño, es más corta al utilizarse en el torno convencional, por el deficiente enfriamiento.
- La falta de condiciones estables en la máquina, se traducen en herramientas dañadas prematuramente.
- Es necesario conocer el uso de manuales del fabricante de insertos de corte, para evitar que el proveedor decida por el personal que utilizará las herramientas.
- Es importante considerar que los tornos de control numérico mantienen constante la velocidad de corte calculada, esto quiere decir que compensará el número de revoluciones para cualquier diámetro trabajado.

- En el torno convencional se mantiene las revoluciones constantes para cualquier diámetro, pero la velocidad de corte es variable. Esto quiere decir que se debe ajustar regularmente las revoluciones.

### 2.3 Diagrama del proceso de selección de una herramienta de corte

Ver figura 29

**Figura 29. Proceso de selección de herramienta**



## 2.4 Aplicación práctica de una herramienta de corte de alto desempeño

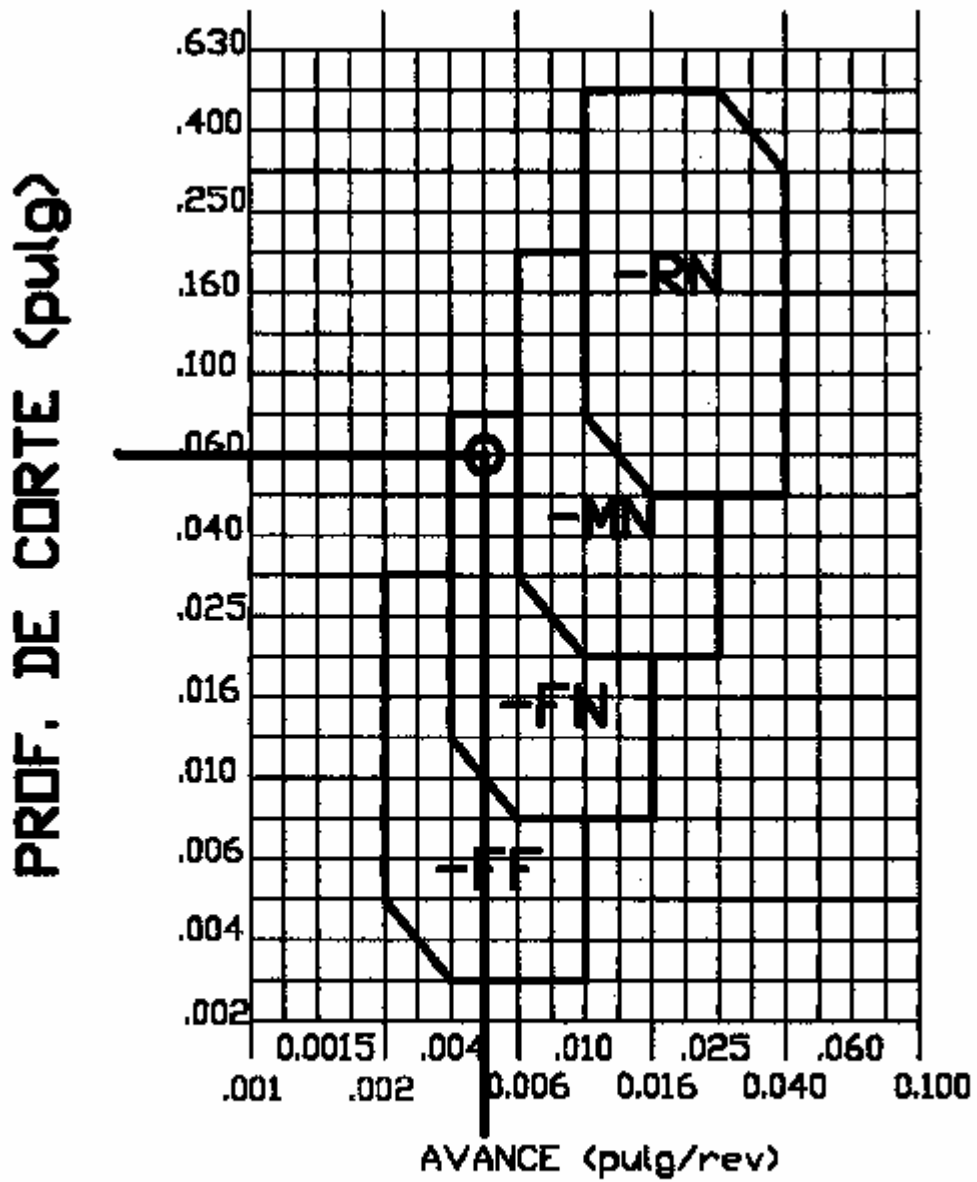
Se llevó a la práctica y se comparó el resultado de una herramienta de corte convencional y una de alto desempeño en el maquinado de 32 anillos de acero al carbón 1035 con un dureza de 13 Hrc, elementos de aleación C 0.18, Si 0.3, Mn 1.5, S 0.3, V 0.18.

El diámetro inicial de corte exterior fue de 220mm., el diámetro interior de 150mm. el largo de 80mm. De estos anillos se maquinaron 16 unidades con herramientas convencionales y 16 con herramientas de alto desempeño. El diámetro final exterior fue de 204mm y el interior de 176mm. El torno utilizado fue un torno convencional de 0.5 metros de volteo por 1.5 m de largo de bancada y un rango de velocidades de 40 a 1520 RPM, el incremento de velocidades de 40 a 1520 no muestra un patrón constante de RPM. Marca del torno Eolo-260 sin placa de número de serie, procedencia Italia.

Se sometió a prueba con el procedimiento anterior, obteniendo los resultados siguientes:

- **Primero: Selección de la geometría de la herramienta.** Las condiciones iniciales de trabajo fueron las siguientes: valor del avance 0.005 de pulgada por revolución y una profundidad de corte 0.060" de pulgada. Se escogió geometría negativa por la cantidad a remover. De la grafica se encontró una geometría tipo -FN. Ver figura 30.





Figura 30. Gráfica de avance contra profundidad de corte para geometría negativa
















- Segundo: **Selección del grado de la herramienta de corte.** Condiciones de corte: variación de profundidad por irregularidad de la superficie del metal, por extrusión de la barra de acero, con el resultado del paso uno y al intersecar en la tabla correspondiente encontramos el grado de la herramienta cortante que es KC 9110. Ver figura 31.

**Figura 31. Gráfica de geometría del inserto**

CONDICIONES DE CORTE	GEOMETRIA DEL INSERTO			
	-FF ▼▼▼▼	-FN ▼▼▼	-MN ▼▼	-RN ▼
CORTE PESADAMENTE INTERRUMPIDO 	KC9110	KC9125	KC9040	KC9040
CORTE LIGERAMENTE INTERRUMPIDO 	KC9110	KC9125	KC9125	KC9040
CORTE CON VARIACION DE PROFUNDIDAD, PIEZAS OVALADAS Y FORJADAS 	KT315	<b>KC9110</b>	KC9125	KC9125
CORTES LISOS O SUPERFICIES PREMAQUINADAS 	KT315	KT315	KC9110	KC9110

- Tercero: **Selección de la velocidad de corte.** Con el grado encontrado en el paso anterior, ubicamos el tipo de corte y en el reglón superior encontramos la velocidad de corte, esta asciende aproximadamente a 1050 pies por minuto. Ver figura 32.

**Figura 32. Gráfica de velocidad de corte**

VELOCIDAD - sfm (m/min)		300 (90)	450 (135)	600 (180)	750 (225)	900 (275)	1050 (320)	1200 (360)	1350 (410)	1500 (460)	CONDICIONES DE CORTE		
											sfm	m/min	
ACERO	KT315											850	260
	<b>KC9110</b>										800	240	
	KC9125										600	180	
	KC9040												300

- Cuarto: Cálculo de las revoluciones por minuto para la velocidad de corte obtenida en el paso anterior, aplicar ecuación (1). Revoluciones encontradas

463RPM. Estos datos corresponde al maquinado del diámetro exterior e interior.

- Factor de corrección de las revoluciones por minuto, para este caso utilizamos 65% y las nuevas revoluciones para el torno convencional fue de 301 RPM. Se escogió la velocidad de 298 RPM, como condiciones de enfriamiento se utilizó aceite de corte Sultex D de la casa Texaco.
- Para maquinar el diámetro interior, se utilizó las mismas revoluciones de la del diámetro exterior.

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA PARTE PRÁCTICA.**

#### **3.1 Análisis del costo de herramientas cortantes de alto desempeño contra herramientas convencionales**

A continuación se detallan los datos que se emplearon para el cálculo siguiente:

Máquina herramienta empleada: Torno paralelo convencional

Marca: Eolo-260

Volteo: 0.5 metros

Largo de bancada 1.5 metros.

Motor 10 HP.

Voltaje 220 Volts trifásica

Operador: Sr. Víctor Manuel Hernández Maldonado 7 años experiencia.

Lugar de prueba: Maquinados Precisos.

Dirección 2Ave. # 10-02 Zona 5, Villa nueva.

Herramienta de corte convencional: Al-6 C-5, marca Sandvik.

Herramienta de corte de alto desempeño: Grado KC-9110, Geometría –FN según tabla 28, número de inserto según catalogo 1010 de Kennametal, TNMG-222FN.

Profundidad de corte para ambas herramientas de corte. 0.060 pulgada.

Avance para herramienta convencional 0.003 pulgada/revolución.

Avance para herramienta de alto desempeño 0.005 pulgadas/revolución.

Revoluciones para herramienta convencional 225 RPM. Velocidad apropiada para herramienta convencional.

Revoluciones para herramienta de alto desempeño 298 RPM. Con factor del 65%

Diámetro exterior 220mm. (8.666 pulgadas)

Diámetro interior 150mm. (5.905 pulgadas)

Longitud de corte 68mm. (2.677 pulgadas)

Número de cortes efectuados exteriormente: 4

Número de cortes efectuados interiormente: 8

### **3.1.1 Análisis de la herramienta de corte convencional**

#### **1. Cálculo de la velocidad de corte**

$$\text{Vel. Corte} = (\text{Pi} \times \text{Diám. Ext.} \times \text{RPM}) / 12$$

$$\text{Vel. Corte} = (3.1416 \times 8.666 \times 225) / 12$$

$$\text{Vel. Corte} = 510.47 \text{ pies/ min.}$$

#### **2. Cálculo de tiempo por corte.**

$$T_c = \text{Long. De corte} / (\text{Avance} \times \text{RPM})$$

$$T_c = 2.677 \text{ pulg.} / (0.003 \text{ pulg} \times 225 \text{ RPM})$$

$$T_c = 3.96 \text{ minutos.}$$

#### **3. Tiempo de corte exterior.**

$$T_{t \text{ ext.}} = 4 \text{ cortes} \times 3.96 \text{ min.}$$

$$T_{t \text{ ext.}} = 15.86 \text{ minutos}$$

#### **4. Tiempo de corte interior.**

Las revoluciones y el largo de corte se conservaron constantes para esta operación. Por lo tanto el tiempo de corte es el mismo  $T_c = 3.96$  minutos, número de cortes para el torneado interior 8 veces.

$$T_{t \text{ int.}} = 8 \text{ cortes} \times 3.96 \text{ min.}$$

$$T_{t \text{ int.}} = 31.68 \text{ minutos.}$$

### 5. Tiempo total de corte con herramientas convencionales.

$$T_t = T_t \text{ ext.} + T_t \text{ int.}$$

$$T_t = 15.86 + 31.68$$

$$T_t = 47.54 \text{ minutos/pieza.}$$

### 6. Tiempo de maquinado con montaje

$$T_t/\text{pieza} = 47.54 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo montaje-desmontaje} / \text{piezas} = 15 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo real} = 62.54 \text{ minutos/pieza.}$$

### 7. Tiempo total por el maquinado de las 16 piezas.

$$16 \text{ piezas} \times 62.54 \text{ minutos/pieza} = 1000.64 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de manejo de viruta } 3 \text{ min} \times 16 \text{ piezas} = 48.00 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de afilado} = 120.00 \text{ minutos}$$

$$\text{Otras pérdidas (por cambio de herramientas)} = 15.00 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo total} = 1183.64 \text{ minutos (19.72 Hrs)}$$

### 8. Eficiencia del proceso de corte.

$$\text{Eficiencia} = \text{Tiempo de corte} / \text{Tiempo total}$$

$$\text{Eficiencia} = (47.54 \times 16) / 1183.64$$

$$\text{Eficiencia} = 0.642$$

$$\text{Eficiencia} = 64.2\%$$

### 3.1.2 Análisis de herramientas de alto desempeño

#### Datos

Revoluciones por minuto 298.

Avance 0.005 pulg. / revolución.

Diámetro exterior 8.667 pulg.

**1. Cálculo de velocidad de corte**

$$V_c = (3.1416 \times 8.666 \times 298) / 12$$

$$V_c = 676.09 \text{ pies/minuto.}$$

**2. Cálculo de tiempo de corte.**

$$T_c = 2.677 \text{ pulg} / (0.005 \text{ pulg.} \times 298 \text{ RPM})$$

$$T_c = 1.79 \text{ minutos}$$

**3. Tiempo total de corte exterior**

$$T_{t. \text{ ext.}} = 4 \text{ cortes} \times 1.79 \text{ minutos}$$

$$T_{t. \text{ ext.}} = 7.18 \text{ minutos.}$$

**4. Tiempo total de corte interior**

$$T_{c \text{ int.}} = 8 \text{ cortes} \times 1.79 \text{ minutos}$$

$$T_{c \text{ int.}} = 14.32 \text{ minutos}$$

**5. Tiempo total de maquinado con herramientas de alto desempeño**

$$T_t = T_{t. \text{ Ext.}} + T_{t. \text{ Int.}}$$

$$T_t = 7.18 \text{ min.} + 14.32 \text{ min.}$$

$$T_t = 21.5 \text{ min. / pieza.}$$

**6. Tiempo de maquinado con montaje**

$$T_t / \text{pieza} = 21.5 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de montaje-desmontaje piezas} = 15.0 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo total real} = 36.5 \text{ minutos / pieza}$$

**7. Tiempo total por el maquinado de las 16 piezas.**

$$16 \text{ piezas} \times 36.5 \text{ minutos/pieza} = 584 \text{ minutos}$$

$$\text{Tiempo de afilado} = 0 \text{ minutos}$$

$$\begin{aligned} \text{Otras pérdidas (cambio herramientas)} &= 15 \text{ minutos} \\ \text{Tiempo total} &= \mathbf{599 \text{ minutos (9.98 Hrs)}} \end{aligned}$$

### 8. Eficiencia de proceso de corte.

$$\text{Eficiencia} = \frac{(\text{Tiempo periodo que se mide real} / \text{Tiempo real periodo base})}{(\text{Tiempo total periodo que se mide} / \text{Tiempo real total periodo base})}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{((21.5\text{min} \times 16) / (47.54 \times 16))}{((599\text{min} / 1183.64\text{min}))}$$

$$\text{Eficiencia} = \mathbf{0.893 = 89\%}$$

### 9. Aumento de eficiencia

$$\text{Aumento} = 89\% - 64\%$$

$$\text{Aumento} = \mathbf{25\%}$$

#### 3.1.3 Análisis de costos.

##### Datos

Valor hora-hombre Q. 10.50

Valor hora máquina Q. 40.00

Valor herramienta convencional Q. 32.00

Valor herramienta de alto desempeño Q. 156.00

#### 1. Análisis de herramientas convencionales

Costo herramienta Q. 32.00 Convencional

Costo hora-hombre Q. 10.50

Costo hora máquina Q. 40.00

Costo hora Maq-Hom. = Q. 50.50 /hora

Costo maquinado 16 piezas = 19.72horas X Q.50.50/hora = Q. 995.86

Costo total convencional = Costo herramienta + Costo por 16 piezas

**Costo total convencional. = Q. 32.00 + Q. 995.86 = Q. 1027**

## 2. Costo total de herramientas de alto desempeño

Costo herramienta Q. 156.00 Alto desempeño

Costo hora-hombre Q. 10.50

Costo hora-máquina Q. 40.00

Costo hombre-máquina Q. 50.50

Costo maquinado 16 piezas = 9.98 horas X Q.50.50 = Q. 503.99

**Costo total alto desempeño = Q. 156.00 + 503.99 = Q. 659.99**

## 3. Ahorros

Ahorro = Costo convencional – costo alto desempeño

Ahorro = Q 1027.86 - Q. 569.99

**Ahorro = Q. 457.87**

Ahorro en tiempo = Tiempo convencional – tiempo alto desempeño

Ahorro en tiempo = 1183.64 min. – 599 min

**Ahorro en tiempo = 584.64 min (9.744 hrs)**

### 3.2 Ventajas y desventajas

- El tiempo empleado en maquinar el primer set de 16 piezas con los buriles convencionales con una herramienta marca Sandvik AL 6 grado C5, fue de 19.72 horas máquina.
- El tiempo utilizado para maquinar el segundo set de 16 piezas con herramientas de alto desempeño fue de 9.74 horas.
- La velocidad de corte empleada en las herramientas convencionales fue de 510.47 pies/min, avance 0.003 pulg / revolución.



- Las revoluciones empleadas con las herramientas de alto desempeño fue de 298 RPM, el avance empleado fue de 0.005 pulg/revolución.
- Se observó un mejor manejo de la viruta cortada, con la geometría de la herramienta de corte estandarizada para cortar acero.
- El manejo del material cortado con herramientas convencionales fue complicado, ya que esta fue del tipo continuo y plástico. Esto representó un tiempo de paro para manejarla y desalojarla. El tiempo promedio de paro fue de 3 minutos por pieza, representando un 8.3%
- No fue necesario cambiar de filo o afilado en el maquinado de las 16 piezas del segundo set, para maquinar el diámetro exterior como en el interior con las herramientas de alto desempeño.
- Fue necesario afilar al trabajar con las herramienta de corte convencional 16 veces para el maquinado interior. Para el maquinado exterior fue necesario afilar 8 veces. Tiempo empleado en afilado 120 minutos.
- Se observó aumento considerable de temperatura con el maquinado de insertos de alto desempeño, esto por el aumento de velocidad de corte.
- Se observó menor aumento de temperatura en las piezas maquinadas con herramientas convencionales, esto debido a la menor velocidad de corte.
- El costo de una herramienta de alto desempeño es 4.875 veces el costo de una herramienta convencional.

- La herramienta de corte de alto desempeño, no es utilizada en un 100% de su capacidad en un torno convencional. Esta herramienta trabaja de un 60% a un 75% de su capacidad, por falta de enfriamiento adecuado.
- La herramienta de alto desempeño, es una herramienta estandarizada lo que permite mantener siempre la calidad constante en las condiciones de corte.
- La herramienta de corte convencional no permite mantener las condiciones de corte, porque depende del afilado que el operador realice.
- La vida útil de una herramienta de corte convencional es baja, frente a una herramienta de alto desempeño que es mayor.
- La herramienta de corte de alto desempeño al terminar su vida útil, puede reutilizarse, volviéndose de tipo convencional.
- Se utilizó un filo de tres de la herramienta de corte de alto desempeño, quedando en buen estado al finalizar el trabajo. Este dato es para la herramienta que maquinó el diámetro exterior como el interior.
- Se dio un ahorro de Q. 417.47, sin utilizar la herramienta de alto desempeño a su más alto desempeño.

### 3.2.1 Resumen comparativo

**Tabla II. Comparación de herramientas convencionales contra alto desempeño**

	<b>Herramientas</b>	
	<b>Convencional</b>	<b>Alto desempeño</b>
1. Tiempo de maquinado	18.92 Hrs.	9.98 Hrs.
2. Velocidad de corte	510.4 pies/min	676.03pies/min
3. Avance por revolución	0.003 pulg.	0.005 pulg.
4. Manejo de viruta	malo	bueno
5. Afilado de herramientas	si	no
6. Aumento de temperatura pieza	media	alta
7. Costo herramienta	bajo	alto
8. Condiciones de corte	medianas	buenas
9. Eficiencia de corte	baja	alta.
10. Vida útil.	baja.	alta
11. # de piezas maquinadas	16	16
12. Costo por 16 piezas	Q.987.46	Q. 417.47
13. Eficiencia de corte	baja	alta
14. Ahorro	no	si
15. Aumento de productividad		25%
16. Ahorro en dinero		Q.417.47
17 Ahorro en tiempo		9.74 Hrs.



## CONCLUSIONES

1. La productividad del torno convencional aumentó en un 25%. al utilizar herramientas de alto desempeño.
2. El escaso enfriamiento del medio refrigerante, ocasiona que la herramienta de corte se desgaste prematuramente.
  - Cuando se utiliza aceite de corte. Este ayuda a la operación del corte en si del metal, pero no es un medio refrigerante.
  - El sistema de enfriamiento de un torno convencional, no viene diseñado para ser utilizado a alta presión. Por lo tanto el enfriamiento es deficiente a altas velocidades.
3. El medio refrigerante utilizado en los tornos convencionales es insuficiente para mantener un adecuado enfriamiento, lo que ocasiona que no se pueda elevar más la velocidad de corte.
4. El costo de las herramientas de corte de alto desempeño es 4.875 veces, más que las herramientas convencionales, pero no impactó por la productividad obtenida..
5. Se justifica plenamente el uso de herramientas de alto desempeño para maquinar pequeñas a medianas series de trabajo, así como para remover altos volúmenes de material al efectuar desbastes.

6. El manejo del material cortado es más controlado con herramientas de alto desempeño por la geometría del inserto.
7. El manejo del material cortado con las herramientas de corte convencionales fue dificultoso.
8. El uso de herramientas de corte de alto desempeño permite ahorrar en costos de producción.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar herramientas de alto desempeño para remover altos volúmenes de material
2. Utilizar las herramientas de alto desempeño para maquinar pequeñas a medianas series de trabajo.
3. Rediseñar el sistema de enfriamiento del torno, esto permitirá subir el porcentaje de productividad.
4. Al utilizar herramientas de corte de alto desempeño, verificar la posición del filo cortante, este debe coincidir con el eje imaginario del torno.
5. Es necesario capacitar al personal antes de utilizar las herramientas de corte de alto desempeño.
6. Consultar manuales de diversos fabricantes para ampliar la información y estar enterado de los avances tecnológicos.
7. Es necesario diseñar un sistema de guardas que permitan evitar que el refrigerante se escape por la fuerza centrífuga cuando el mandril gira. De manera que el proceso de corte quede aislado como en un sistema CNC.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Barandiaran, F.J. **Herramientas de corte único**, España: Editorial Cedel, 1965, 36 págs.
2. Catalogo electrónico de kennametal. Edición en CD, IMTS98.
3. Caubet, J,J, **Teoría y practica industrial del rozamiento**, España: Editorial Urmo, 1971. 400 págs.
4. De Garmo, E. Paul, **Materiales y procesos de fabricación**, España: Editorial Reverté, 1978. 983 págs.
5. Doyle, E. Lawrence, **Procesos y materiales de manufactura para ingenieros**, 3ª. Edición, México: Editorial Prentice Hall, 1988. 1042 págs.
6. Gerling, Heinrich, **Alrededor de las maquinas herramientas**, 2ª. Edición, España: Editorial Reverté, 1972. 228 págs.
7. Kennametal, **Catalog 85**, U.S.A: Editorial kennametal Inc. Metalworking Systems Division, 1984. 771 págs.
8. Kennametal, **Holemaking Catalog 0070**, U.S.A: Editorial Kennametal Inc. Metalworking Systems Division, 2002. 758 págs.
9. Kennametal, **Metal cutting carbide tools catalog 66**, U.S.A: Editorial Kennametal Inc Metalworking Systems Division, 1965. 93 págs.
10. Kennametal, **Metal cutting carbide tools catalog 71**, U.S.A: Editorial Kennametal Inc. Metalworking Systems Division, 1968. 93 págs
11. Kennametal, **Milling, Catalog 8040**, U.S.A: Editorial Kennametal Inc. Metalworking Systems Division, 2002. 658 págs.
12. Kennametal, **Turning, Catalog 1010**, U.S.A: Editorial Kennametal Inc. Metalworking Systems Division, 2002. 770 págs.
13. Pollack, W. Herman, **Máquinas, herramientas y manejo de materiales**, Colombia: Editorial Prentice Hall. 1982. 654 págs.

14. Sandvick, **Turning tool catalog C-1000:6-ENG**, U.S.A: Editorial Sandvik Coromat Company, 1997. 445 págs.
15. Sandvik, **Rotating tools and inserts catalog 98-R**, U.S.A: Editorial Sandvik Coromant Company, 1997. 555 págs.
16. Santelli, O.A, **Herramientas de torno**, Argentina: Editorial Alsina, 1956. 413 págs.
17. Schey, A. Jhon, **Procesos de manufactura**, 3<sup>a</sup> ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 2002. 1004 págs.
18. Solar, Z.C., **Problemas de tecnología del torno**, 4<sup>a</sup> ed. España: Editorial Love, 1964. 212 págs.

# ANEXOS

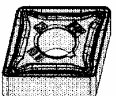
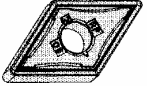
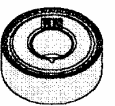
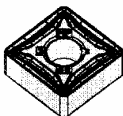

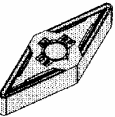
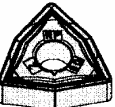
## Tabla III. Equivalencias para aceros menores de 48 HRC

Workpiece Material Group	USA AISI/SAE/ASTM	Germany		Workpiece Material Group	USA AISI/SAE/ASTM	Germany			
		W.NR	DIN			W.NR	DIN		
<b>A C E R O</b>	<b>Low-Carbon Steels (&lt; 220 HB)</b>			<b>A C E R O</b>	<b>Plain Carbon, Alloy, and Tool Steels (≤ 35 HRC) (cont'd)</b>				
	1008	1.0010 1.0318 1.0320 1.0322 1.0326 1.0330 1.0333 1.0331 1.0332 1.0336 1.0337 1.0344 1.0347 1.0357 1.0359 1.0375	D9 St28 St22 USD8 RSi28 St2, St12 St3, St13 RoSt2 StW22 USi4, USi14 RoSt4 St12Cu3 RRSt13 USi28 RRSt23 FEINBLECH T57, T61, T65, T70 WEISSBLECH T57, T61, T65, T70			1525	1.0520 1.0560 1.1136 1.0563 1.0564 1.1127 1.1168 1.1128 1.1159 1.0542 1.0908 1.1259 1.1273 1.1819	31Mn4 28Mn4 GS-24Mn4 E N-80 36Mn6 GS-40Mn5 46Mn5 GS-46Mn4 StSch 80 60SiMn5 80Mn4 90Mn4 90Mn4	
		1.0744 1.0746 1.1116 1.0204 1.0301 1.0328 1.0349 1.1121 1.1122 1.0453 1.0402 1.1155 1.1156	6P10 6P20 USD6 UOSi36 C10 USD10 RSD9 Ck10 Cq10 C16.8 C22 GS-Ck25 GS-Ck24			1300 series 2000 series 3000 series 4012	1.5415 1.8812 1.8815 1.5416 1.3563 1.7223 1.7225 1.7225 1.7227 1.3565 1.7228 1.7228 1.7230 1.7238	15Mo3	
	1010	1.0302 1.0301 1.0328 1.0349 1.1121 1.1122 1.0453 1.0402 1.1155 1.1156	C5 C10 USD10 RSD9 Ck10 Cq10 C16.8 C22 GS-Ck25 GS-Ck24			4023 4140	1.5416 1.3563 1.7223 1.7225 1.7225 1.7227 1.3565 1.7228 1.7228 1.7230 1.7238	20Mo3 43CrMo4 41CrMo4 42CrMo4 GS-42CrMo4 42CrMo4 48CrMo4 50CrMo4 GS-50CrMo4 50CrMoPb4 49CrMo4	
	1018	1.0453	C16.8			4320 4340	1.6582 1.6587 1.6657	35CrNiMo6 17CrNiMo6 14NiCrMo34	
	1020	1.0402	C22			4422 5120	1.5419 1.2162 1.3523 1.7027 1.7028 1.7121 1.7146 1.7147 1.7149 1.2057 1.2109 1.2127 1.3503 1.2059 1.2060 1.2067 1.3505 1.3503 1.3514 1.3520	22Mo 21MnCr5 19MnCr5 20Cr4 20Cr5 4 20CrMnS3 3 20MnCrPb5 GS-20MnCr5 20MnCrS5 105Cr4 125CrSi5 105MnCr4 105Cr4 120Cr5 105Cr5 100Cr6 100Cr6 105Cr4 101Cr6 100CrMn6	
	1026	1.1155 1.1156	GS-Ck25 GS-Ck24			6118 6150 7000 series	1.8159	GS-50CrV4	
	10L18	1.0504	C45Pb			8620 8622 8640 8622	1.6523 1.6541 1.6546	21NiCrMo2 23MnNiCrMo5 2 40NiCrMo2 2	
	10L45	1.1195 1.1196 1.1218 1.0542 1.0700 1.0702	Ck45Pb Cf45Pb Cm45Pb C50Pb U7S10 U10S10			E-9310 94B15 Rycut 40 Cr-Mo alloy Super-Kut steels high-speed -- SAE classes M and T hot and cold work SAE classes A, D, H, O, and S wrought high carbon/low alloy W1, W2, L2, P1, P6, P20	1.6657	14NiCrMo13 4	
	10L50	1.0542	C50Pb						
	1108	1.0700 1.0702	U7S10 U10S10						
	1117								
	1141								
	1151	1.0728 1.0729 1.0757	60S20 70S20 45SPb20						
	11L44								
	1200 series								
	12L14	1.0737	9SMnPb36						
		<b>Plain Carbon, Alloy, and Tool Steels (≤ 35 HRC)</b>							
		1.0501 1.0511 1.0541 1.1186 1.1189 1.0503 1.0535 1.1259 1.1265 1.0647 1.1273 1.1819 1.1273 1.1819 1.1282 1.0618 1.1274 1.1275 1.1282 1.1291 1.1545 1.1645	C40 D40-2 Ck40 Cm40 80Mn4 D85-2 85Mn3 90Mn4 90Mn4 90Mn4 90Mn4 D95S3 D95-2 Ck101 Ck100 D95S3 MK97 C105W1 C105W2						

**Tabla IV. Equivalencias para aceros menores de 48 HRC**

Workpiece Material Group	USA AISI/SAE/ASTM	Germany	
		W.NR	DIN
<b>Steel</b>	<b>Plain Carbon, Alloy and Tool Steels (36-48 HRC)</b>		
	1335		
	4140	1.3563	43CrMo4
		1.7223	41CrMo4
		1.7225	42CrMo4
		1.7225	GS-42CrMo4
		1.7227	42CrMoS4
	4150	1.3565	48CrMo4
		1.7228	50CrMo4
		1.7228	GS-50CrMo4
		1.7230	50CrMoPb4
		1.7238	49CrMo4
	4330		
	4340	1.6582	35CrNiMo6
		1.6587	17CrNiMo6
		1.6657	14NiCrMo34
	5046	1.3561	44Cr2
	5140	1.7035	41Cr4
		1.7045	42Cr4
	52100	1.2059	120Cr5
		1.2060	105Cr5
		1.2067	100Cr6
		1.3505	100Cr6
		1.3503	105Cr4
		1.3514	101Cr6
		1.3520	100CrMn6
	8625		
	8640	1.6546	40NiCrMo2 2
	300-M		
	ETD-180		
	Hy Tuff steel		
	stress-proof steel		
	high-speed --		
	SAE classes M and T		
	hot and cold work SAE		
classes A, D, H, O, and S			
wrought high carbon/low			
alloy W1, W2, L2, P1, P6, P20			
<b>Ferritic, Martensitic, and PH Stainless Steels (± 48 HRC)</b>			
400 series			
500 series			
precipitation hardening (PH)			
410	1.4006	X10Cr12	
	1.4006	G-X10Cr13	
	1.4024	X15Cr13	
	1.4005	X12CrS13	
416			
416F			
416Se			
420F			
430F			
4389F Se	1.4104	X12CrMoS17	
440			
440C	1.4125	X105CrMo17	
	1.4126	X110CrMo17	
502			
504			
17-4 PH	1.4542	X5CrNiCuNb17 4	
	1.4548	X5CrNiCuNb17 4 4	
PH 13-8 Mo	1.4534	X3CrNiMoAl13 8 2	
15-5 PH			

Tabla V. Tabla para seleccionar profundidades de corte según geometría

insert shape	IC	cutting edge length	maximum depth of cut				
			fine finishing MG-FF	finishing MG-FN MG-FW	general purpose MG-MN MG-RP MG-MW	roughing MG-RN MG-RP	heavy roughing MM-RH
<b>C-80° Diamond</b> 	.250	.250	.040	.050			
	.375	.375	.060	.075	.150		
	.500	.500	.080	.120	.250	.250	.300
	.625	.625			.313	.313	.375
	.750	.750			.375	.375	.450
	1.000	1.000			.500	.500	.600
<b>D-55° Diamond</b> 	.250	.275	.025	.030			
	.375	.433	.040	.060	.125	.150	
	.500	.590	.050	.100	.175	.200	
	.625	.748					
<b>R-Round</b> 	.375	.188				.112	
	.500	.250				.200	
	.625	.313				.250	
	.750	.375				.300	
	1.000	.500				.400	
<b>S-Square</b> 	.375	.375	.060	.075	.150	.150	
	.500	.500	.080	.120	.250	.250	.300
	.625	.625			.313	.313	.375
	.750	.750			.375	.375	.450
	1.000	1.000			.500	.500	.600
<b>T-Triangle</b> 	.250	.433	.025	.030			
	.375	.630	.040	.060	.125	.150	
	.500	.866		.100	.175	.200	
	.625	1.060			.250	.300	
<b>V-35° Diamond</b> 	.250	.433					
	.375	.630	.035	.045	.060	.070	
	.500	.866				.120	
<b>W-Trigon</b> 	.250	.157					
	.375	.236	.040	.075	.100	.120	
	.500	.315	.070	.100	.150	.200	

**Tabla VI. Tabla para seleccionar avance y profundidad según geometría**

operation	insert style application	insert geometry	profile	feed rate – inches											
				.0015	.0025	.004	.006	.010	.016	.025	.040	.060	.100		
				depth of cut – inches											
				.004	.006	.010	.016	.025	.040	.060	.100	.160	.250		
wiper, finishing	<b>MG-FW</b>													.008 - .016 (0,2 - 0,4)	
wiper, medium machining	<b>MG-MW</b>													.012 - .024 (0,3 - 0,6)	.030 - .200 (0,8 - 5,1)
wiper, roughing	<b>MM-RW</b>													.010 - .050 (0,3 - 1,3)	.050 - .500 (1,3 - 12,7)
fine finishing	<b>MG-FF</b>									.002 - .010 (0,1 - 0,3)				.003 - .080 (0,1 - 2,0)	
finishing	<b>GG-LF</b> precision ground													.005 - .020 (0,1 - 0,5)	.020 - .120 (0,5 - 3,0)
finishing	<b>MG-FP</b>													.004 - .012 (0,1 - 0,3)	.010 - .100 (0,3 - 2,5)
finishing	<b>MG-FN</b>													.005 - .012 (0,1 - 0,3)	.010 - .100 (0,3 - 2,5)
medium machining	<b>GP*</b> precision ground													.012 - .020 (0,3 - 0,5)	.080 - .125 (1,5 - 3,2)
medium machining	<b>MG-MP</b>													.006 - .020 (0,2 - 0,5)	.030 - .200 (0,8 - 5,1)
medium machining	<b>MG-MN</b>													.006 - .020 (0,2 - 0,5)	.020 - .200 (0,5 - 5,1)