

# Conozca las Herramientas de Corte

## Guía de Referencia ISCAR



---

**Guía de referencia completa.**

## **PRÓLOGO**

Hay muchos libros, manuales, guías y publicaciones sobre herramientas de corte. Difieren en la metodología de la materia, el tratamiento de los temas, el estilo, los detalles y el lenguaje. Y ahora se presenta una edición más. ¿Qué novedades puede ofrecer? ¿Será interesante? ¿Por qué se publica? Estos son nuestros productos, y juntos los hemos desarrollado, creando nuestra historia. Nuestra experiencia nos dice que un pequeño libro, que introduzca al lector en las herramientas de corte de forma concisa y común, puede ser bastante útil. Este libro no pretende ser un libro de texto ni un compendio, sino una guía de referencia completa.



---

**En esta guía las unidades están expresadas en el sistema métrico.**

# CONTENIDO

## Tipos y Elementos Principales de las Herramientas de Corte 5

Gama de Herramientas de Corte <b>ISCAR</b> .....	7
Elementos de Corte.....	7
Geometría de Corte.....	9

## Materiales de Corte 14

Acero Rápido para Herramientas (HSS).....	15
Metal Duro Sinterizado.....	16
Cermets .....	22
Cerámica .....	22
Nitruro de Boro Cúbico (CBN, cBN) .....	23
Diamante .....	24
Denominación de las Calidades de los Materiales de Corte .....	25

## Preparación del Filo de Corte 26

## Desgaste de la Herramienta 29

Tipos de Desgaste de la Herramienta.....	30
--	----

## Materiales de Ingeniería 36

Maquinabilidad y Utilización de los Materiales de las Herramientas de Corte.....	36
Materiales de Ingeniería y para Herramientas de Corte .....	38
Clasificación de los Materiales de Ingeniería.....	39

## Duración Estimada de la Herramienta 41

## Parámetros y Condiciones de Corte 44

<b>Cálculos de Mecanizado</b>	<b>51</b>
Índice de Extracción de Metal, Fuerzas de Corte y Consumo de Potencia .....	51
<b>Plaquitas Intercambiables</b>	<b>58</b>
Fabricación de Plaquitas .....	64
Plaquitas y Formación de Viruta .....	66
Denominación de la Plaquita .....	68
<b>Fresas de Metal Duro Integral</b>	<b>71</b>
<b>Herramientas Soldadas</b>	<b>78</b>
<b>Cabezas Intercambiables de Metal Duro Integral</b>	<b>80</b>
<b>Herramientas Cilíndricas Intercambiables vs Integrales</b>	<b>84</b>
¿Intercambiables, Integrales o Ambas? .....	84
<b>Herramientas Modulares</b>	<b>87</b>
<b>Tendencias en Sistemas de Fijación</b>	<b>91</b>
<b>Las Herramientas y la Informática, Compañeras Inseparables</b>	<b>96</b>
<b>Buscando la Herramienta Óptima</b>	<b>101</b>
<b>...Y la Innovación Nunca Se Detiene</b>	<b>103</b>
El Valor y el Desarrollo de las Herramientas de Corte .....	103

## Símbolos y Unidades \*

<b>A</b>	– Área de la sección transversal de la capa de material eliminada, mm <sup>2</sup>	<b>K</b>	– Factor de forma del filo de corte (factor K); también se puede referir al factor unitario de potencia, kW por 1 cm <sup>3</sup> /min
<b>a</b>	– Profundidad de la sección transversal de la capa de material eliminada, mm <sup>2</sup>	<b>K<sub>m</sub> y KM%</b>	– Índice de maquinabilidad de un material (factor, calificación, ratio) en números absolutos o en porcentaje,
<b>a<sub>e</sub></b>	– Ancho (profundidad radial) de corte, mm	<b>K<sub>c</sub></b>	– Fuerza de corte específica real, N/mm <sup>2</sup>
<b>a<sub>p</sub></b>	– Profundidad de corte (axial), mm	<b>K<sub>c1</sub></b>	– Fuerza de corte específica para eliminar el material de una zona de 1 mm <sup>2</sup> de 1 mm de espesor, en N/mm <sup>2</sup>
<b>a<sub>p</sub> máx.</b>	– Máxima Profundidad de Corte Axial, mm	<b>n</b>	– Velocidad de rotación (del husillo), en rpm (RPM)
<b>b</b>	– Ancho de la sección transversal de la capa de material eliminada, en mm	<b>m</b>	– Constante empírica de la fórmula de la duración de la herramienta de Taylor
<b>C</b>	– Constante empírica de la fórmula de la duración de la herramienta de Taylor	<b>mc</b>	– Factor de espesor de viruta en la ecuación para hallar el espesor de viruta real k <sub>c</sub>
<b>c</b>	– Relación entre el ancho de corte a <sub>e</sub> y el diámetro nominal de la herramienta d	<b>P</b>	– Consumo de potencia de corte, kW
<b>D</b>	– Diámetro de la superficie mecanizada, mm	<b>P<sub>n</sub></b>	– Plano normal al filo de corte
<b>D<sub>1</sub></b>	– Diámetro de la superficie sin mecanizar, mm	<b>P<sub>r</sub></b>	– Plano de Referencia de la Herramienta
<b>d</b>	– Diámetro nominal de la herramienta, mm	<b>P<sub>s</sub></b>	– Plano del filo de corte de la herramienta
<b>d<sub>1</sub></b>	– Diámetro del mango de la herramienta, mm	<b>Q</b>	– índice de extracción de material MRR, cm <sup>3</sup> /min
<b>F</b>	– Fuerza resultante (total), N	<b>r</b>	– Radio de punta, mm
<b>F<sub>a</sub></b>	– Fuerza de corte axial, N	<b>S<sub>a</sub></b>	– Ancho del filo de corte rectificado, medido en el flanco, mm
<b>F<sub>b</sub></b>	– Fuerza de flexión, N	<b>S<sub>y</sub></b>	– Ancho del filo de corte rectificado, medido en la cara de desprendimiento, mm
<b>F<sub>r</sub></b>	– Fuerza de corte radial, N	<b>T</b>	– Duración de la broca
<b>F<sub>t</sub></b>	– Fuerza de corte tangencial, N	<b>VB</b>	– Ancho del desgaste del flanco
<b>f, f<sub>r</sub></b>	– Avance, avance por vuelta, mm/v	<b>V<sub>c</sub></b>	– Velocidad de corte en m/min
<b>f<sub>s</sub></b>	– Avance por recorrido doble, mm/recorrido doble	<b>V<sub>cm</sub></b>	– Velocidad de corte a la que se obtiene una duración de la herramienta T, m/min
<b>f<sub>z</sub></b>	– Avance por diente, mm/diente		
<b>h</b>	– Espesor de viruta equivalente en la fórmula modificada de la duración de la herramienta de Taylor, mm		

\* sistema métrico

- V<sub>cr</sub>** – Velocidad de corte para mecanizar un material, seleccionado como referencia, para una duración de la herramienta T, m/min
- v<sub>f</sub>** – Velocidad de avance (índice de avance), mm/min
- z** – Número de dientes (labios)
- α** – Incidencia (ángulo de incidencia, ángulo de desahogo)
- β** – Ángulo de cuña

- γ** – Desprendimiento (ángulo de desprendimiento)
- γ<sub>a</sub>** – Desprendimiento axial
- γ<sub>r</sub>** – Desprendimiento radial
- κ<sub>r</sub>** – Ángulo del Filo de Corte
- λ<sub>s</sub>** – Ángulo de la hélice del labio
- δ** – Margen o creces del mecanizado (material a eliminar) por pasada, mm
- ψ** – Ángulo de Posición
- ω** – velocidad angular, s<sup>-1</sup>

## Lista de Abreviaturas

- AISI** – Instituto Americano del Hierro y del Acero
- ANSI** – Instituto de Normalización Nacional Americano
- ASME** – Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
- BN** – Nitruro de boro
- BUE** – Recrecimiento del filo
- CAE** – Ingeniería asistida por ordenador
- CAD** – Diseño asistido por ordenador
- CAM** – Fabricación asistida por ordenador
- CBN, cBN** – Nitruro de Boro Cúbico
- CNC** – Control numérico por ordenador
- CVD** – Deposición química de vapor
- DOC** – Profundidad de Corte
- FEM** – Método de elementos finitos
- FF** – Avance rápido\*
- HSK** – “Hohlshafte Kegel” (“mango cónico hueco” en alemán)
- HFM** – Fresado con Alto Avance
- HPC** – Alta Presión de Refrigerante
- HSM** – Fresado a alta velocidad, mecanizado a alta velocidad
- HSS** – Acero rápido
- (HSS)-E**, – Acero rápido al cobalto
- HSSE**
- HTSA** – Superaleaciones a altas temperaturas
- IOT** – Internet de las Cosas
- ISO** – Organización Internacional de Normalización
- MRR** – Índice de Extracción de Metal
- PCBN, PcBN** – Nitruro de Boro Cúbico Policristalino
- PCD** – Diamante Policristalino
- Pm** – Pulvimetalurgia
- PVD** – Deposición física de vapor
- I+D** – Investigación y Desarrollo
- SCEM** – Fresas de Metal Duro Integral
- SEM** – Microscopio electrónico de barrido
- VDI** – Verein Deutscher Ingenieure (en alemán) - Asociación de Ingenieros Alemanes

\*avance rápido es sinónimo de alto avance

# Tipos y Elementos Principales de las Herramientas de Corte

Las herramientas de corte dan forma a las piezas mediante procesos de extracción de material o mecanizado.

Las características más distintivas que diferencian a las herramientas de corte son:

- 1 En función del proceso de mecanizado para el que han sido diseñadas:
  - Herramientas de Torneado
  - Herramientas de Fresado
  - Herramientas de Taladrado
  - Herramientas de Avellanado
  - Herramientas de Brochado
  - Herramientas para Planeado
  - Herramientas para el Tallado de Engranajes entre otras

Una clasificación más detallada divide las herramientas en grupos más específicos. Por ejemplo, dentro de las herramientas de torneado se incluyen las de cilindrado, refrentado, ranurado, etc., y las de fresado pueden ser para planeado, escuadrado, ranurado, y así sucesivamente.

Cuando se habla de toda una clase de herramientas de corte para el mecanizado de formas específicas, en muchos casos las herramientas adecuadas se consideran en un contexto más amplio, por ejemplo:

- Herramientas para el Mecanizado de Agujeros (para taladrado, escariado, mandrinado, avellanado, entre otros)
- Herramientas para el Tallado de Engranajes (para fresado, tallado de engranajes, tallado mecánico, rectificado de engranajes, etc.)

Habitualmente las herramientas de torneado, fresado y taladrado se consideran de uso general.

- 2 Según el movimiento primario:
 

Herramientas Rotativas y Estacionarias

Hay que tener en cuenta que algunas herramientas estacionarias pueden parecer rotativas y viceversa. Un ejemplo habitual es una broca estacionaria montada en un torno que produce agujeros en piezas rotativas.

## Movimientos en Mecanizado: Movimiento Primario

Es el movimiento rectilíneo o rotacional que sigue una herramienta de corte hacia la pieza que garantiza la extracción de viruta. En un proceso de mecanizado, el movimiento primario es el que tiene más velocidad de todos. En torneado, por ejemplo, es la rotación de la pieza, y en fresado, la de la fresa. La mayor parte de la energía necesaria para el mecanizado se emplea en el movimiento primario.

- 3 Según el número de filos de corte:
  - Herramientas de una punta, para herramientas con un solo filo de corte
  - Herramientas con múltiples puntas, que tienen más de un filo de corte. Estos filos de corte están alineados con la dirección del movimiento primario.

A veces, las herramientas con dos filos de corte se consideran de doble punta.

**4** En función del concepto de diseño:

- Herramientas integrales, fabricadas de una sola pieza de material
- Herramientas montadas con los diferentes elementos desmontables
- Herramientas montadas con los diferentes elementos unidos directamente (por ejemplo, soldados)

**5** Según el método de montaje:

- Herramientas Huecas
- Herramientas con Mango

**6** Según su capacidad de ajuste:

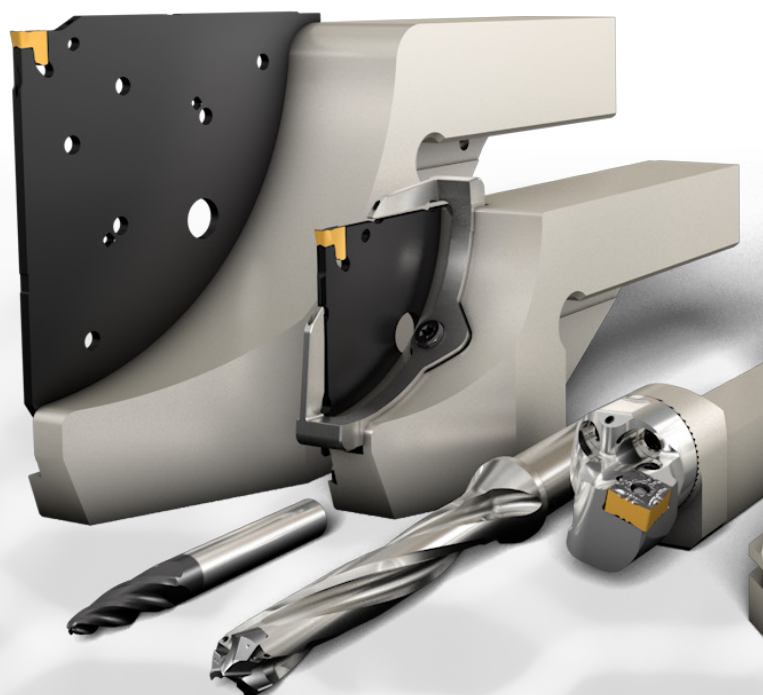
- Ajustable
- No Ajustable

**7** Según su descripción:

- Estándar
- Especial (a medida)

En cuanto a las herramientas especiales, se diseñan y fabrican siguiendo las especificaciones del cliente, por lo que la calificación “estándar” tiene una cierta dualidad. Por un lado puede significar que la herramienta cumple los requisitos de alguna normativa nacional o internacional. Por otro lado, los fabricantes de herramientas de corte utilizan esta denominación para indicar que el producto está en stock para su entrega estándar. Obviamente, en muchos casos los productos en stock también cumplen alguna normativa en vigor.

Las herramientas de corte se pueden clasificar en función de su aplicación principal.





## Gama de Herramientas de Corte ISCAR

ISCAR fabrica herramientas de corte ensambladas e integrales, tradicionalmente divididas en rotativas y estacionarias. A continuación detallamos las principales líneas de productos estándar:

- Herramientas para torneado exterior, mandrinado, ranurado y tronzado.
- Herramientas de Fresado
- Herramientas para el mecanizado de agujeros, incluyendo taladrado, escariado y avellanado.
- Herramientas de roscado, entre las que hay herramientas rotativas y estacionarias
- Otros productos estándar que incluyen herramientas de brochado, fresado de engranajes, ejes estriados y dentados y ranurado.

ISCAR también produce una gran variedad de sistemas de fijación, como bloques de herramientas, portaherramientas, adaptadores, portapinzas, amarres, pinzas, etc.



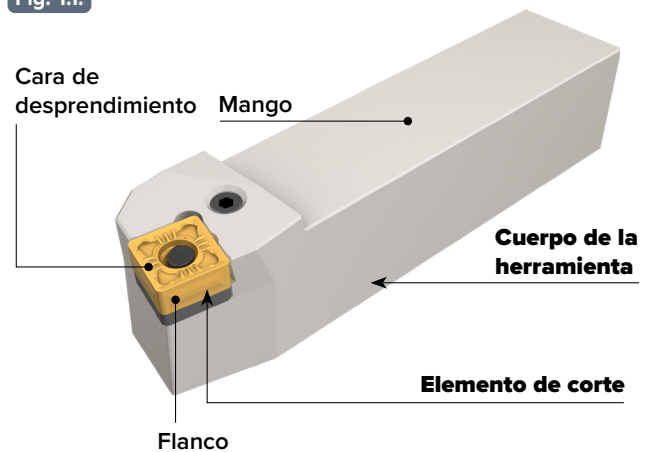
## Elementos de Corte

Una herramienta de corte (Fig. 1.1-1.4) está formada por un elemento de corte y un cuerpo.

El elemento de corte es la principal parte funcional de una herramienta, y es fundamental para la acción de corte.

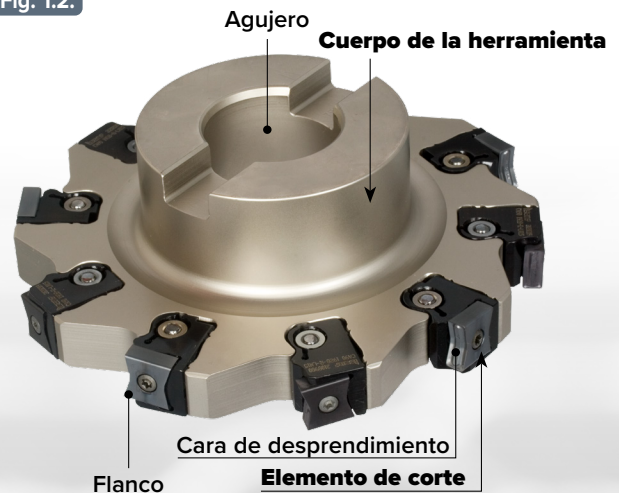
En una herramienta ensamblada, el elemento de corte se monta en el cuerpo, mientras que en una integral, una parte del cuerpo tiene una forma especial, que es la zona de corte.

Fig. 1.1.



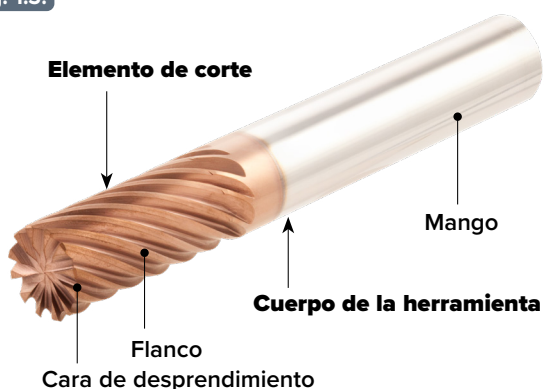
Herramienta de torneado (estacionaria, de una punta, montada, con mango, no ajustable)

Fig. 1.2.



Herramienta de fresado (rotativa, con múltiples puntas, montada, hueca, ajustable)

Fig. 1.3.



Herramienta de fresado (rotativa, con múltiples labios, integral, con mango, no ajustable)

Fig. 1.4.



Herramienta de taladrado (rotativa o estacionaria, con dos labios, montada, con mango, no ajustable)

Junto con la zona de corte, el cuerpo tiene una parte específica para montar la herramienta en una máquina o portaherramientas. En herramientas rotativas, mediante la parte de montaje, la potencia necesaria para el mecanizado se transmite de la máquina a la zona de corte. El sistema de montaje puede ser exterior (macho) o interior (hembra). La parte de montaje exterior se denomina mango, y la interior, agujero.

Para garantizar la acción de corte, la zona de corte de la herramienta debe tener la forma adecuada y estar fabricada con el material correcto. La forma se asocia a la geometría de corte, y el material es el de la herramienta de corte.

## ¿Herramienta de Corte o Herramienta de Corte de Metales?

Históricamente, los metales eran los materiales que se usaban principalmente para el mecanizado de piezas. Incluso ahora, cuando la utilización de diferentes composites y cerámicas ha crecido exponencialmente, los metales siguen dominando los materiales de ingeniería. Antiguamente, las herramientas de corte se destinaban principalmente al mecanizado de metales, al corte de metales, y esto determinó su nombre. En la actualidad, el término “herramienta de corte de metales” no se utiliza, es mucho más común decir simplemente “herramienta de corte”, por lo que estas dos definiciones se consideran sinónimos.



## Geometría de Corte

La parte de una pieza de corte que elimina directamente el material tiene un perfil en forma de cuña, formado por dos superficies. La primera, la de desprendimiento o simplemente la cara, es la superficie sobre la que fluyen las virutas durante el mecanizado –la superficie de flujo de virutas. La segunda, el flanco (también denominada superficie de incidencia o desahogo), es la superficie frente a la cara mecanizada de la pieza. En un proceso de corte, el flanco protege la superficie mecanizada del desgaste por fricción. La cara de desprendimiento y el flanco pueden tener formas complejas que contengan a su vez diferentes superficies. En estos casos, cada una de las secciones de las superficies tiene su propio nombre. Por ejemplo: desahogo principal, desahogo secundario, etc.

El área entre la cara de desprendimiento y el flanco forma una cuña (una cuña de corte, no confundir con la cuña como sistema de fijación de la plaquita al cuerpo de una herramienta montada). La intersección entre la cara de desprendimiento y el flanco genera un filo de corte. El filo de corte contiene un filo de corte mayor que elimina el lado más grande de la sección transversal de una viruta, y un filo de corte menor que elimina el resto.

Para determinar la geometría de corte en términos de cantidad, se utilizan ángulos específicos. Las estrictas definiciones de estos ángulos vienen dadas por las diferentes opciones de sistemas de referencia de planos:

- El sistema de herramienta en la mano para determinar los ángulos para el diseño, fabricación y verificación de la herramienta.
- El sistema de herramienta en uso para especificar los ángulos de trabajo.
- El sistema de la máquina para comprobar los ángulos después de montar la herramienta en la máquina.

## Movimientos en Mecanizado: Movimiento de avance y movimiento resultante de corte.

El movimiento de avance es el movimiento rectilíneo o de rotación de una herramienta de corte, que se suma al primario para completar la acción de corte. La velocidad de este movimiento es significativamente menor que la del primario. El movimiento resultante de un movimiento primario y uno de avance se conoce como movimiento resultante de corte.

Los sistemas de referencia son sistemas de coordenadas rectangulares con origen en un punto determinado del filo de corte de una herramienta. El sistema de herramienta en mano hace referencia al elemento de una herramienta que se toma como base (punto de referencia), el sistema de herramienta en uso está relacionado con el movimiento de corte resultante en una operación de mecanizado y el sistema de la máquina utiliza la dirección del movimiento primario como referencia. El sistema de referencia de la máquina se puede considerar como la transición entre los otros dos sistemas.

Cuando los ángulos se definen según el sistema de herramienta en la mano, el nombre del ángulo va seguido del complemento “de la herramienta”. En caso de utilizar el sistema de herramienta en uso, al nombre del ángulo se le añade “de trabajo”, a estos ángulos también se les denomina “efectivos”

Para explicar la especificación del ángulo, consideraremos el sistema de referencia de la herramienta en la mano. La definición de un ángulo requiere los planos de referencia adecuados, y el plano de referencia de la herramienta es el más básico de ellos.

El plano de referencia de la herramienta (Pr) es un plano de coordenadas que pasa por un punto específico del filo de corte cuya orientación depende del tipo de la herramienta. Por ejemplo, para una herramienta de torneado de mango cuadrado, Pr es paralelo a la base del mango (Fig. 1.5), mientras que para una fresa, Pr contiene el eje de la misma. También existe un plano (Pn) normal al filo de corte de la herramienta en la punta del mismo, y un plano de coordenadas adicional, que es tangente al filo de corte en un punto dado y normal al plano de referencia de la herramienta, denominado plano del filo de corte de la herramienta (Ps). Aunque existen otros planos que facilitan la definición de los ángulos, estos son los más importantes.

El desprendimiento de la herramienta  $\gamma$ , también conocido como ángulo de desprendimiento, es el ángulo formado entre la cara de desprendimiento y el plano de referencia de la herramienta Pr. Si el desprendimiento se mide en el plano perpendicular al filo de corte, se denomina desprendimiento normal y se diferencia con la letra “n”:  $\gamma_n$ . De la misma manera, si la medida del desprendimiento se toma en otro plano de un sistema de referencia, se utilizarán calificativos como “ortogonal”, “lateral”, etc., y se añadirán los correspondientes sufijos. Por ejemplo, en herramientas rotativas, el desprendimiento se mide en el plano normal al eje de la herramienta y se denomina desprendimiento radial:  $\gamma_r$ . Sin embargo, en el lenguaje cotidiano los prefijos suelen omitirse, ya que en conversaciones profesionales los participantes saben sin duda alguna de qué se está hablando.

## Los Ángulos en los Sistemas de Referencia de Planos

La diferencia entre los valores de los ángulos especificados en cada uno de los sistemas de referencia de planos, de herramienta en mano, en uso o en máquina, depende del tipo de herramienta.

La incidencia  $\alpha$ , también denominada ángulo de incidencia y ángulo de desahogo, es el ángulo entre el flanco de la herramienta y el plano del filo de corte de la herramienta Ps. En la denominación de la incidencia se utilizan sufijos y prefijos, en función del plano en el que se mide, como ocurre con el desprendimiento.

Los ángulos de la herramienta predeterminan la orientación de la cara de desprendimiento y del flanco en relación con la superficie mecanizada, y esto influye directamente en las capacidades de la herramienta. El desprendimiento  $\gamma$  es fundamental en el proceso de formación de viruta y para las cargas mecánicas y térmicas que acompañan a cualquier operación de mecanizado. Por tanto, el desprendimiento es crítico para una acción de corte. Por otro lado, la incidencia  $\alpha$  es determinante para suavizar la fricción entre el flanco de la herramienta y la superficie de la pieza y así reducir el desgaste de la herramienta por abrasión. Los valores del desprendimiento y de la incidencia dependen de múltiples factores, como el material de la pieza y su forma de obtención, el material de la herramienta y las condiciones de corte, entre otros. Aunque estos valores se determinan en base a la experiencia, los diseños computerizados actuales proporcionan opciones adicionales para optimizarlos.

El desprendimiento y la incidencia pueden ser positivos o negativos (Fig. 1.8). El ángulo entre una cara y un flanco, medido en el plano adecuado, es el ángulo de la cuña  $\beta$ . Este ángulo refleja la resistencia del perfil de corte en forma de cuña.

No es difícil ver que

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (1.1)$$

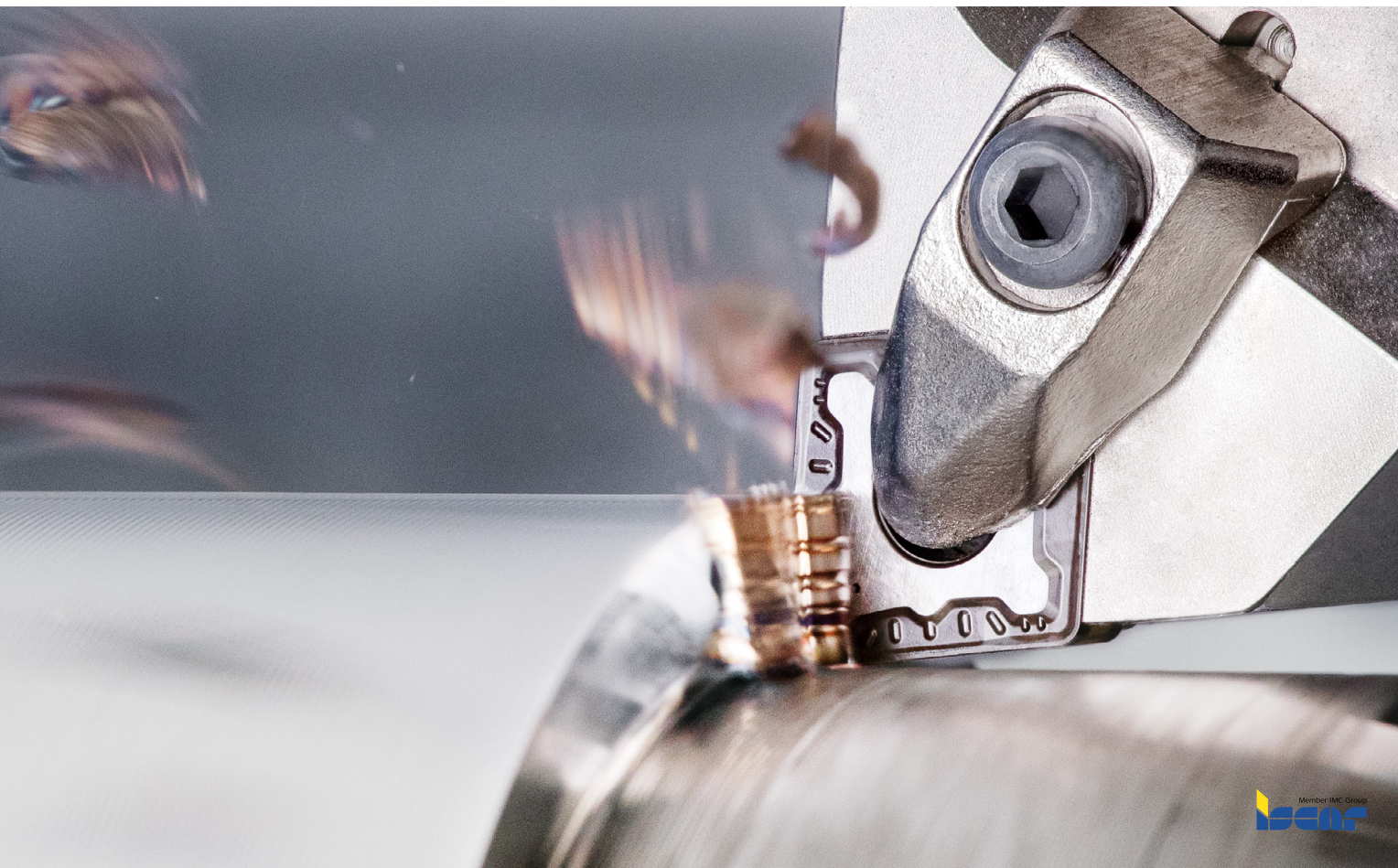
Además de los ángulos que determinan la orientación de una cara y un flanco, hay ángulos que describen la posición de un filo de corte. En el sistema de herramienta en la mano, estos ángulos son: el del filo de corte, el de posición de la herramienta y el de inclinación del filo de corte. Para simplificar, estos ángulos se pueden especificarse según la Fig. 1.9.

El ángulo del filo de corte de una herramienta  $\kappa_r$  es el formado entre el filo de corte y la dirección de un movimiento de avance lineal. A veces, el ángulo del filo de corte se denomina ángulo de entrada.

El ángulo de posición de la herramienta  $\psi$ , también denominado de ataque, es complementario al ángulo del filo de corte la suma de ambos ángulos es  $90^\circ$ ). Por ejemplo, en una fresa frontal el ángulo de corte es el formado por el filo de corte y el plano generado por la herramienta. Si este ángulo es de  $60^\circ$ , el ángulo de posición será  $30^\circ$ .

El ángulo del filo de corte (y su definición implícita de ángulo de posición) es un factor fundamental para el espesor de viruta.

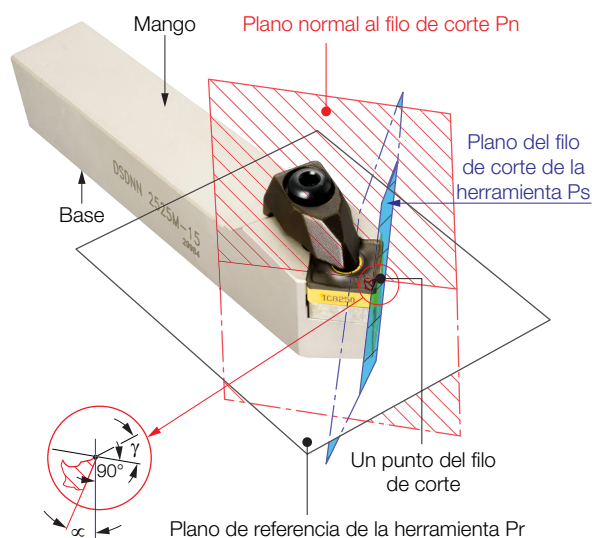
La inclinación del filo de corte de la herramienta  $\lambda$  es el ángulo entre el filo y el plano de referencia de la herramienta  $P_r$ . Esta inclinación tiene sentido, por lo que puede ser positiva o negativa. La inclinación del filo de corte influye en la dirección del flujo de virutas. En herramientas rotativas, la inclinación del filo de corte con respecto del eje de la herramienta se denomina desprendimiento axial  $\gamma_a$ .



## Tallado de Madera con Navaja (1)

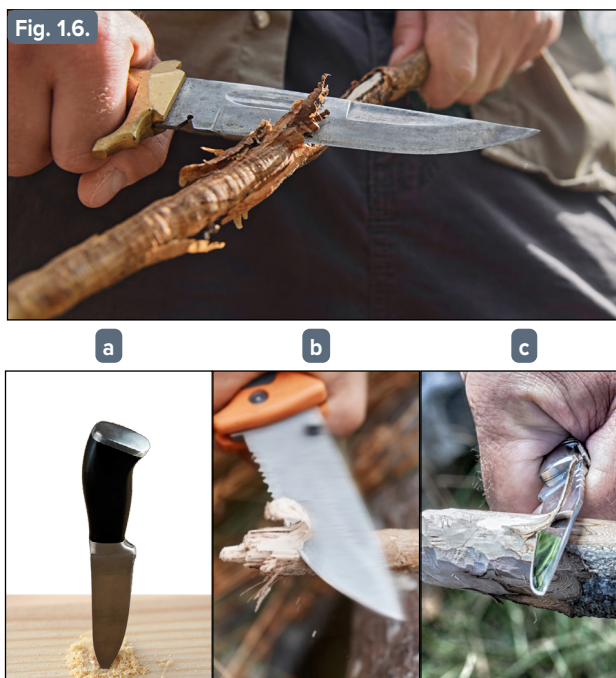
Cuando éramos niños, utilizábamos una navaja para tallar barcos en la corteza de un pino o para hacer una caña de pescar con la rama de un árbol. Imaginemos que vamos a tallar un trozo de madera con una navaja. La orientación de la navaja con respecto a la madera cortada es especialmente importante (Fig.1.6). Dependiendo de la orientación de la navaja, los resultados de nuestro trabajo serán diferentes. En un caso, (a, Fig. 1.6) aplicaremos un movimiento de rascado que requiere esfuerzos físicos adicionales para eliminar la capa de madera del grosor requerido. En el segundo caso (b), la falta de holgura entre la cuchilla y la madera produce otra dificultad: el corte inestable de la cuchilla, que rebota constantemente en la madera, dará lugar a una calidad inferior de la superficie formada. En ambos casos, la navaja se desafilada rápidamente. Sin embargo, la orientación correcta del cuchillo (c), proporcionará el efecto deseado. Cualquiera que haya tallado alguna vez con un cuchillo recuerda cómo ha orientado el cuchillo en la posición correcta con respecto a la pieza de madera para poder trabajar con éxito. Este ejemplo está directamente relacionado con la geometría de corte. El significado tecnológico de la orientación correcta de la navaja es el ajuste adecuado de los ángulos de desprendimiento e incidencia para un mecanizado efectivo, es decir, los ángulos en el sistema de referencia de la herramienta en uso – el desprendimiento de trabajo  $\gamma$  y la incidencia de trabajo  $\alpha$ . El diseñador de la navaja – nuestro “ingeniero de diseño de herramientas” – los convierte en los ángulos adecuados para el sistema de referencia de herramienta en la mano ( $\gamma_0$  y  $\alpha_0$ ), que tienen una base de referencia, como puede ser el plano inferior del mango del cuchillo (Fig.1.7). Curiosamente, la diferencia entre los ángulos de nuestros dos sistemas es sustancial.

Fig. 1.5.



### Planos y ángulos de la herramienta

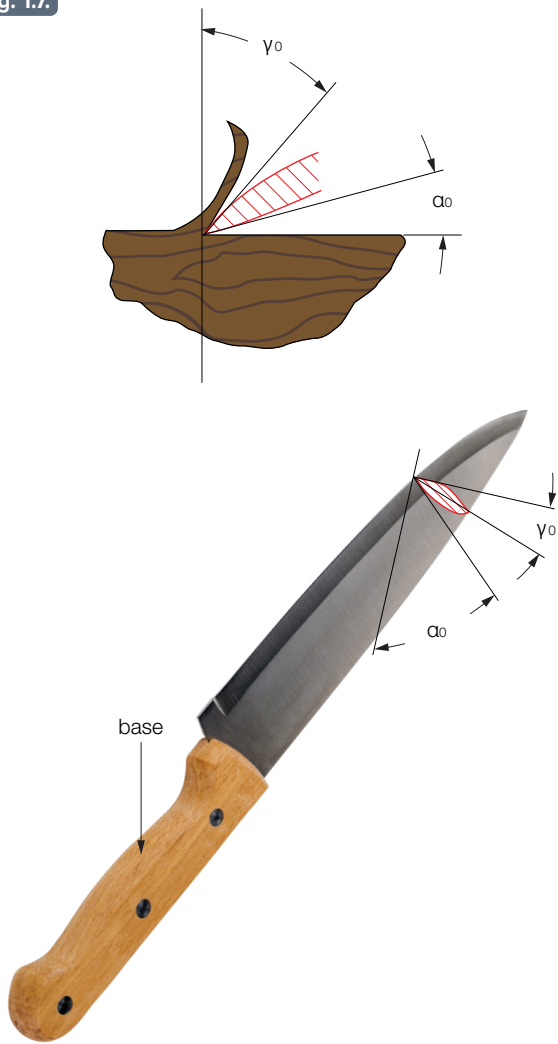
Fig. 1.6.



### Virutas de madera

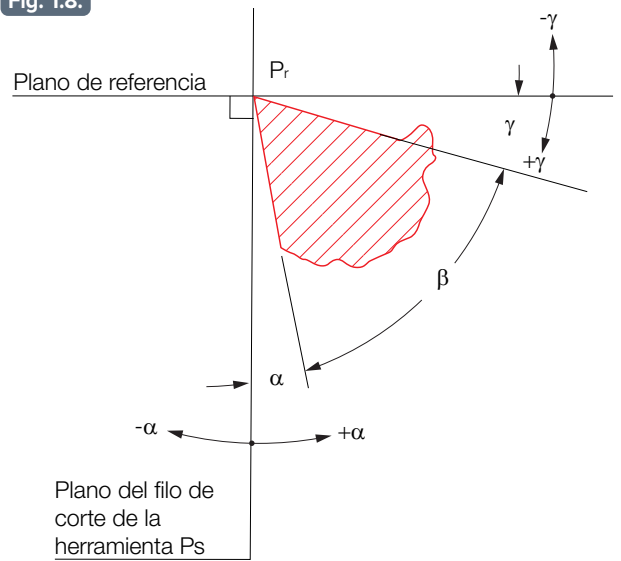


Fig. 1.7.



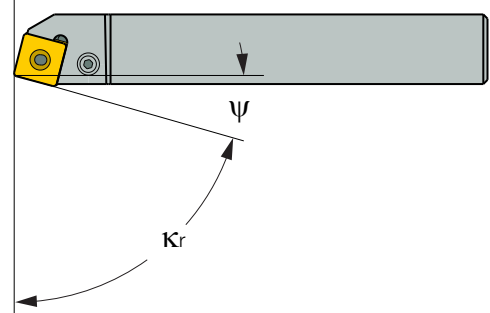
Ángulos de trabajo en una pieza de madera tallada a cuchillo y ángulos del cuchillo

Fig. 1.8.

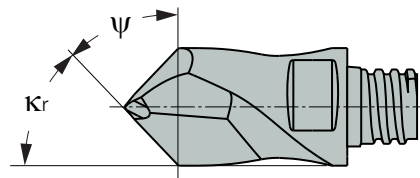


Direcciones de los ángulos

Fig. 1.9.

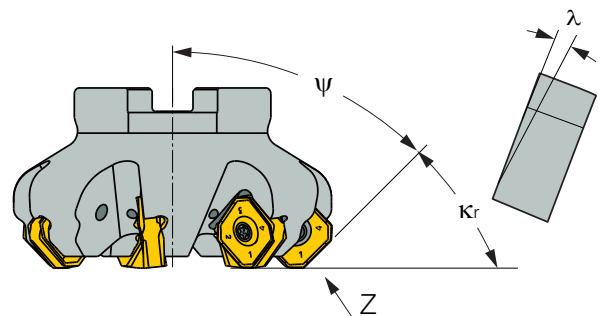


Herramienta de torneado montada con una plaquita intercambiable

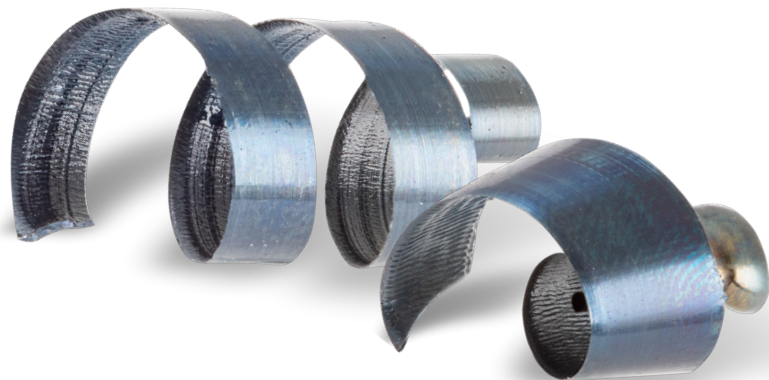


Cabeza de taladrado de metal duro integral

"Detalle "Z"



Fresa hueca con plaquitas intercambiables orientación del ángulo del filo de corte para diferentes herramientas de corte.



# Materiales de Corte

Para garantizar la acción de corte, el elemento de corte de la herramienta debe estar fabricado en el material correcto. Durante el proceso de mecanizado, el perfil en forma de cuña de la parte de corte está sometido a importantes cargas mecánicas y térmicas, que ocasionan el desgaste del flanco y la cara de la herramienta. Por tanto, el material del elemento de corte, denominado material de corte o material de la herramienta, debe cumplir los siguientes requisitos:

- Mayor dureza que el material a mecanizar
- Tener la resistencia al calor requerida para garantizar la dureza necesaria a las elevadas temperaturas que se generan durante el mecanizado.
- Elevada resistencia
- Excelente resistencia al desgaste

Además, el material de corte debe ser mecanizable para poder producir la forma de corte necesaria mediante los procesos tecnológicos existentes.

Los materiales de corte más utilizados son:

- Acero Rápido para Herramientas (HSS)
- Metal Duro Sinterizado
- Cermets
- Cerámica
- Nitruro de Boro Cúbico
- Nitruro de Boro Cúbico Diamantado y Diamante
- Al nitruro de boro cúbico diamantado y diamante se les suele designar como materiales de corte superduros, ultraduros o extraduros

## Tallado de Madera con Navaja (2)

Volvamos al ejemplo del tallado de un barco en madera. Imaginen que alguien quiere utilizar un abrecartas en lugar de una navaja. Si el abrecartas es de madera o plástico, el resultado será negativo. Simplemente, el abrecartas no cortará. Por otro lado, un abrecartas de acero tampoco proporcionará el resultado deseado. Ambos casos son ejemplo de una elección errónea de la herramienta. En el primer caso el material de la herramienta no es lo suficientemente duro para la acción de corte. En el segundo caso, aunque el material del abrecartas es correcto, la geometría de corte no cumple los requisitos de la operación.



## Acero Rápido para Herramientas (HSS)

En comparación con los otros materiales de corte, el HSS tiene la mayor resistencia transversal. Aunque los tratamientos térmicos incrementan la dureza del HSS (alrededor de 65 HRC a temperatura ambiente), es más baja que la de otros materiales. La principal ventaja del HSS es su buena maquinabilidad. Por tanto, el acero rápido se utiliza mucho para herramientas con formas complejas y estándar, especialmente si están diseñadas para ser reutilizadas tras un reafilado.

### Materiales de Corte Duros

Los metales duros sinterizados, cermet, cerámicas, nitruro de boro y diamante son materiales de corte con una dureza significativamente superior a la del HSS.

El HSS mantiene su elevada dureza cuando alcanza temperaturas de hasta 650°C. Esta característica limita la velocidad de corte, ya que si la temperatura del filo supera este valor, la dureza del HSS disminuye y por tanto pierde su capacidad de corte. La velocidad de corte habitual para herramientas de HSS rara vez supera los 60 m/min.

De hecho, el acero rápido es un acero de alta aleación.

En función del elemento de aleación principal, la norma AISI (Instituto Americano de Hierros y Aceros) los clasifica en dos tipos: con molibdeno (tipo M) y con tungsteno (tipo T)

Para las herramientas de corte el más habitual es el de tipo M. Además hay un tercer tipo de acero rápido que contiene cobalto. El cobalto aumenta la dureza hasta 70 HRC pero reduce la tenacidad.

Los aceros rápidos al cobalto pueden ser de tipo M o T.

Estos aceros se denominan “HSS-E” o “HSSE” (aunque originariamente esta denominación se utilizaba para el acero M35) o “HSSE Co” seguido de un número que indica el contenido en cobalto.

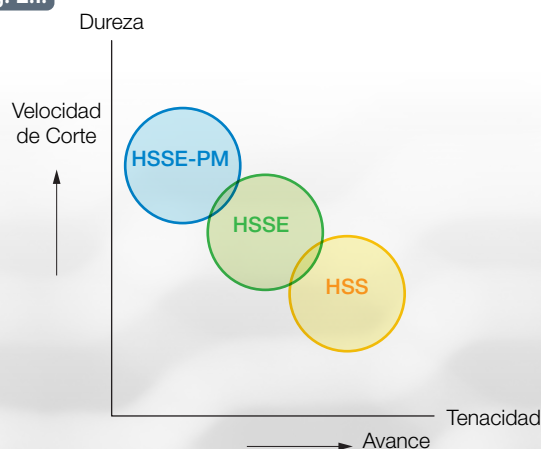
### Acero al Cobalto

Tiempo atrás, el término “acero al cobalto” se refería al acero rápido para herramientas AISI M35, pero en la actualidad se utiliza para denominar a las diferentes calidades de HSS que contienen cobalto.

Los métodos pulvimetalúrgicos (PM) actuales permiten la producción de aceros rápidos sinterizados con elevada dureza y resistencia. El sufijo “PM” (por ejemplo, “HSSE-PM”), indica que se trata de acero rápido sinterizado. Para mejorar el rendimiento, a las herramientas de HSS se les aplican recubrimientos resistentes al desgaste.

La Fig. 2.1 muestra la posición general de los aceros rápidos en el gráfico de Dureza-Tenacidad

Fig. 2.1.



Capacidades del Acero Rápido

## Metal Duro Sinterizado

Los metales duros son los materiales de corte más utilizados en la actualidad. Se trata de aleaciones sinterizadas de metal duro al wolframio (WC) aglutinadas (sinterizadas) principalmente por cobalto (Co). Debido a que el wolframio tiene otro nombre aún más popular en el sector del mecanizado: tungsteno, el WC también se denomina metal duro al tungsteno.

Los metales duros sinterizados que se componen únicamente de WC y Co como aglutinante son los metales duros simples o planos, y se denominan “WC-Co”. La incorporación a esta aleación de metales duros de titanio (TiC), tántalo (TaC) y otros componentes mejora sus propiedades mecánicas y resistencia al desgaste. En estos casos la denominación sería “WC-TiC-Co”, “WC-TiC-TaC-Co”, etc.

Las características fundamentales de los metales duros sinterizados son la dureza y la resistencia. Estas características dependen en gran medida de los siguientes factores:

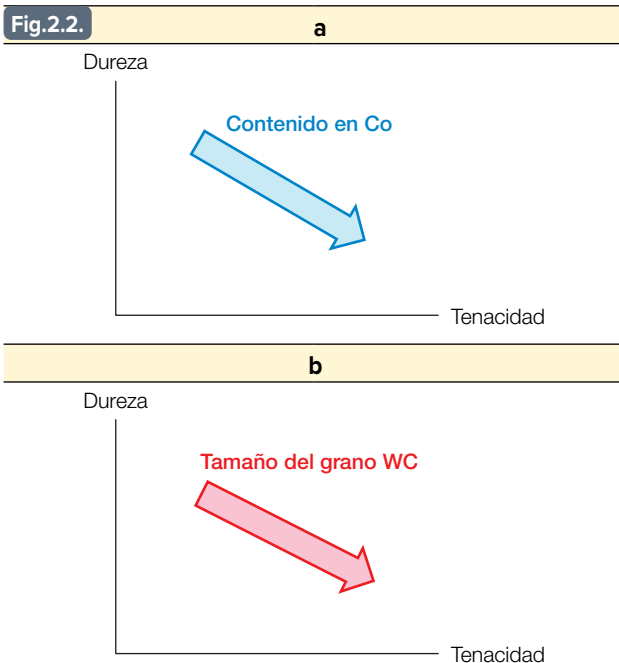
- El contenido de cobalto.
- El tamaño de los granos del metal duro al tungsteno.

El incremento del contenido de cobalto proporciona mayor tenacidad, pero menor dureza. Lo mismo ocurre si se aumenta el tamaño del grano de WC (Fig. 2.2).

La aleación del metal duro sinterizado con metales de transición, como el rutenio (Ru), el osmio (Os) o el renio (Re) aumenta la dureza y resistencia, pero también incrementa los costes de producción.

### ¿Metal Duro Sinterizado, Metal Duro al Tungsteno, Metal Duro al Wolframio o Metal Duro?

Tungsteno es otro nombre dado al wolframio (se trata de una palabra sueca que significa “piedra pesada”). Aunque la denominación “metal duro al tungsteno” se aplica a metales duros simples, que sólo contienen metal duro al wolframio y cobalto, en la actualidad todos estos términos se utilizan para los metales duros sinterizados, no sólo para los simples. En el campo de la fabricación de herramientas de corte es habitual hablar de “metal duro sinterizado”, “metal duro al tungsteno” y “metal duro”, o según su abreviatura “HM”.



Propiedades mecánicas de los metales duros al tungsteno en función de:

- a) Contenido en Cobalto (Co)
- b) Tamaño del Grano

## Tenacidad de los Metales Duros Sinterizados

La tenacidad de los metales duros sinterizados se determina sometiendo una muestra a una prueba de resistencia a la ruptura transversal (TRS) en laboratorio.

El tamaño del grano se asocia al metal duro sinterizado, calificándolo de “fino”, “grueso”, “submicron”, etc. Estas distinciones pueden variar ligeramente según la norma y el fabricante, pero la clasificación suele ser como sigue:

Calidad fina	tamaño del grano: 1 - 1.4 $\mu\text{m}$ (40 - 55 $\mu\text{in}$ )
Calidad submicron	tamaño del grano: 0.7 - 0.9 $\mu\text{m}$ (27.5 - 35 $\mu\text{in}$ )
Calidad ultrafina	tamaño del grano: 0.2 - 0.6 $\mu\text{m}$ (8 - 24 $\mu\text{in}$ )

Las diferentes calidades se clasifican en función del tamaño del grano, medio, grueso, extragrueso e incluso nano (Tabla 2.1)

El último tipo, por ejemplo, tiene un tamaño de grano extremadamente pequeño, menor de 0.2  $\mu\text{m}$ . El material de corte más utilizado es el metal duro al tungsteno con un contenido en cobalto del 6 al 12% y un tamaño de grano entre 0,3 y 4  $\mu\text{m}$ .

Calidad	Unidades	Tamaño del Grano, $\mu\text{m}$ ( $\mu\text{in}$ )	
		Desde	Hasta
Extra grueso	$\mu\text{m}$	mayor de 5 $\mu\text{m}$	
	$\mu\text{in}$	mayor de 197 $\mu\text{in}$	
Normal	$\mu\text{m}$	3.5	5
	$\mu\text{in}$	137.8	197
Medio-Grueso	$\mu\text{m}$	2.1	3.4
	$\mu\text{in}$	82.7	134
Medio	$\mu\text{m}$	1.5	2
	$\mu\text{in}$	60	80
Fino	$\mu\text{m}$	1	1.4
	$\mu\text{in}$	40	55
submicron	$\mu\text{m}$	0.7	0.9
	$\mu\text{in}$	27.5	35
calidad ultrafina	$\mu\text{m}$	0.2	0.6
	$\mu\text{in}$	8	24
Nano	$\mu\text{m}$	menor de 0.2 $\mu\text{m}$	
	$\mu\text{in}$	menor de 8 $\mu\text{in}$	

Clasificación de los metales duros sinterizados según el tamaño del grano

Según el tamaño del grano, los metales duros sinterizados utilizados para la fabricación de herramientas de corte suelen ser de tipo medio, fino, submicron y ultrafino.

### Metales Duros Recubiertos

El recubrimiento de los metales duros sinterizados incrementa significativamente su resistencia al desgaste y garantiza mayores valores de velocidad de corte y avance, con el consiguiente aumento de la productividad. El metal duro sinterizado queda recubierto con una fina capa protectora de un material extremadamente duro, principalmente cerámico, que le proporciona una gran solidez, resistencia química y aislamiento térmico

#### Capas de Recubrimiento

En recubrimientos de una sola capa, una sola capa uniforme de material cubre el sustrato de metal duro. En recubrimientos multicapa, se aplican diversas capas de diferentes materiales sobre el sustrato. Cada una de estas capas tiene una función: proporcionar aislamiento térmico, incrementar la resistencia al desgaste y a la adherencia, etc. Y, de nuevo, todo esto forma una fina capa de algunas micras de espesor.

La mayor parte de los metales duros utilizados para la fabricación de herramientas de corte llevan un recubrimiento resistente al desgaste. Los materiales de recubrimiento se diferencian por sus propiedades físicas, como dureza, resistencia a la abrasión, temperatura de oxidación, lubricidad, etc. Los materiales cerámicos, como el nitruro de titanio (TiN), nitruro de aluminio y titanio (TiAlN) y el óxido de aluminio o alúmina ( $Al_2O_3$ ) son los más utilizados para estos recubrimientos. Gracias a la sinergia, el recubrimiento multicapa, resultado de la combinación de diferentes materiales, modifica sustancialmente las propiedades del recubrimiento en comparación con el de una sola capa.

Existen dos métodos principales de recubrimiento: deposición química de vapor (CVD) y deposición física de vapor (PVD). La diferencia entre ellos es la naturaleza de la deposición, como se desprende de sus denominaciones, la temperatura de la deposición, el espesor y las particularidades de las tensiones del recubrimiento, la uniformidad dimensional, etc. Cada método presenta ventajas y desventajas.

El método CVD utiliza reacciones químicas en un ambiente gaseoso a temperaturas entre 900 y 1000°C para facilitar una elevada adherencia. Este proceso está recomendado para recubrimientos multicapa de diferentes materiales. El CVD forma una capa relativamente gruesa que aumenta la resistencia al desgaste y a altas temperaturas del metal duro sinterizado. Por otro lado, este proceso requiere un estricto control térmico, ya que las elevadas temperaturas pueden afectar a la microestructura del metal duro, disminuyendo su rendimiento.

## Apuntes de Historia: Introducción al Recubrimiento

A pesar del recubrimiento CVD aplicado a las herramientas de metal duro sinterizado en la década de 1960, la mayoría de las herramientas de metal duro siguieron bastante tiempo sin recubrirse.

Para hacer que el metal duro fuera más universal y se utilizara para diferentes materiales, los fabricantes de herramientas diseñaron metales duros con diferentes aditivos. Los avances en los procesos de CVD y la inclusión del método de recubrimiento PVD para herramientas de corte los años 80 cambió espectacularmente el mundo del mecanizado: ahora la mayoría de los metales duros sinterizados están recubiertos. Esta nueva tecnología permitió que el material de corte fuera específico para cada grupo de materiales. Los sustratos contenían menos aditivos, por lo que sus estructuras eran más uniformes y estables, permitiendo un mejor control durante la producción.

La temperatura generada durante el recubrimiento PVD, basado en procesos de deposición al vacío como el rociado, la evaporación, la deposición por arco catódico y otros, es aproximadamente el dos veces más baja que la del CVD.

Esto evita cambios en las propiedades metalúrgicas del sustrato. En comparación con los recubrimientos CVD, los PVD son más finos, por lo que son perfectos para herramientas de corte con filos vivos, como las fresas de metal duro integral o las herramientas para roscado. Sin embargo, el carácter lineal de las técnicas habituales de PVD puede provocar variaciones en el grosor del recubrimiento. Para solucionar este problema, las herramientas se montan en piezas móviles especialmente diseñadas del equipo de recubrimiento PVD. Por otro lado, las zonas de la herramienta que no precisan recubrimiento (el mango de una herramienta integral, por ejemplo) se pueden tapar durante el proceso de recubrimiento PVD, lo que resulta problemático para el método CVD.

## Combinación de Métodos de Recubrimiento

La tecnología actual permite combinar ambos métodos – CVD y PVD – para recubrir plaquitas de corte, con objeto de controlar las propiedades del recubrimiento. La calidad de metal duro DT7150 de ISCAR está formada por un sustrato tenaz con recubrimiento dual CVD MT y PVD TiAlN. En principio, este sistema se desarrolló para aumentar la productividad del mecanizado de piezas de fundición dura.

Para reducir el riesgo de los efectos negativos en la microestructura del metal duro por las elevadas temperaturas del recubrimiento CVD, se diseñó el método MT CVD (MT significa temperatura media o moderada), que utiliza temperaturas más bajas, de alrededor de 800°C.

### Tratamiento post-recubrimiento

Cuanto más lisa y suave sea una superficie recubierta, menor será su coeficiente de fricción, por lo que las propiedades antifricción serán mejores. Esto disminuye el desgaste ocasionado por la adherencia a la herramienta del material ya retirado, a causa de las altas temperaturas generadas en la zona de corte. Por tanto, la acción de suavizado que prolonga la duración de la herramienta es un efecto positivo directo del tratamiento post recubrimiento.

Los recubrimientos PVD muestran una tendencia a la compresión que mejora la resistencia al agrietamiento. Por otro lado, los recubrimientos CVD presentan diferentes coeficiente de expansión térmica debido a los diferentes materiales de las capas y del sustrato, y esto genera importantes esfuerzos de tracción que favorecen la formación de grietas. Los tratamientos post-recubrimiento, basados en operaciones de pulido y cepillado, pueden solucionar este problema, ya que reducen significativamente los esfuerzos de tracción para evitar fracturas (Fig. 2.3). Los avances en la tecnología post-recubrimiento han conseguido que el proceso de tratamiento sea más controlable e incluso que se produzcan esfuerzos de compresión en lugar de tracción.

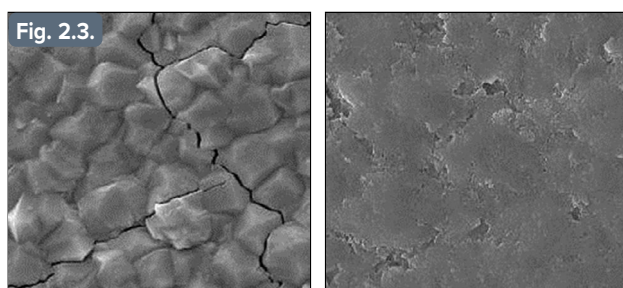


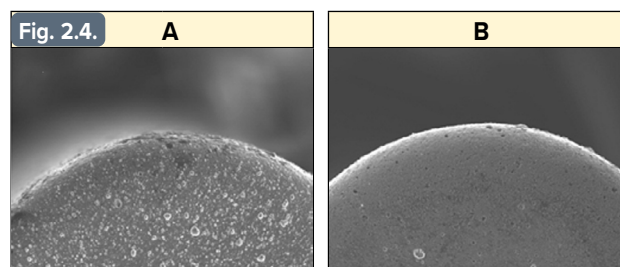
Imagen microscópica de una superficie con recubrimiento CVD antes (izquierda) y después (derecha) del tratamiento post-recubrimiento.

La micro geometría de una superficie recubierta por arco PVD presenta gotas que se integran en una capa de recubrimiento. Las gotas afectan negativamente a la calidad superficial y aumentan la fricción. Durante el mecanizado, el flujo de virutas

arrastra estas gotas dejando huecos, que reducen el aislamiento térmico y la duración de la herramienta. El tratamiento SUMOTEC suaviza la superficie recubierta dejándola uniforme, evitando así el impacto negativo de las gotas (Fig. 2.4).

### Gotas

Para entender mejor el fenómeno del goteo, imaginemos una pintura común en aerosol. Durante el proceso se produce una salpicadura de gotas aquí y allá.



Efecto del tratamiento post recubrimiento ISCAR en una superficie con recubrimiento PVD: A – Sin tratamiento, B – Con tratamiento. (Imágenes microscópicas)

El tratamiento post recubrimiento reduce e incluso elimina los defectos indeseados, prolongando la duración de las herramientas de metal duro recubiertas e incrementando su productividad.

### SUMOTEC

SUMOTEC es una tecnología post recubrimiento desarrollada por ISCAR a principios de este siglo. El tratamiento SUMOTEC prolonga considerablemente la duración de las plaquitas recubiertas con CVD y PVD.

### Recubrimientos Nanocapa

Los recubrimientos PVD, desarrollados a finales de los 80, supusieron un paso gigantesco para solucionar los complejos problemas que no permitían el progreso en el campo de la nanotecnología.

Estos recubrimientos (Fig. 2.5), que son una combinación de capas con un espesor de hasta 50 nanómetros, son la prueba del espectacular incremento de resistencia proporcionado por el recubrimiento en comparación con los métodos convencionales.

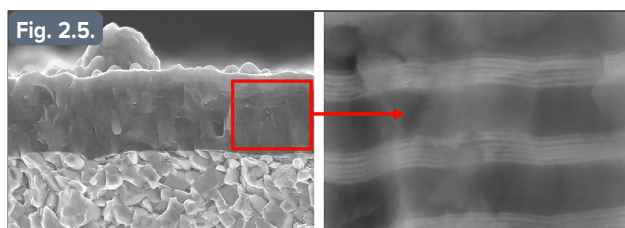


Fig. 2.5. La calidad IC807 con recubrimiento PVD de ISCAR tiene estructura de nanocapa – imagen microscópica.

### Calidad

La combinación del sustrato de metal duro sinterizado, el recubrimiento y el tratamiento posterior forman una calidad de metal duro. El único componente fundamental es el metal duro, que está compuesto por partículas de metal duro sinterizadas con el elemento aglutinante, los demás son opcionales.

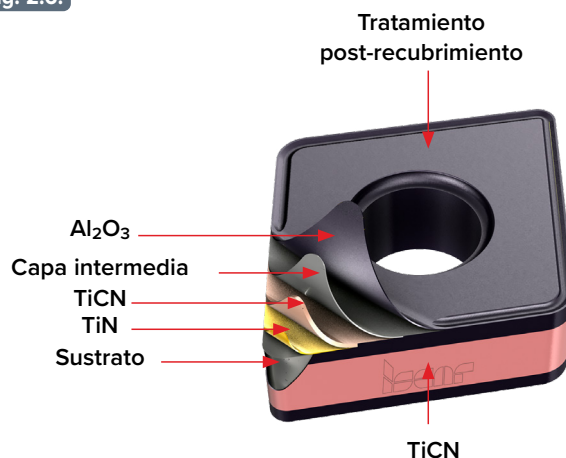
El término “metal duro sinterizado” puede referirse tanto al sustrato de una calidad recubierta como a una sin recubrimiento.

## Resultado del Recubrimiento

Los materiales de recubrimiento tienen una micro dureza más elevada que el metal duro. En cuanto a las herramientas de corte, los recubrimientos han cambiado la relación natural entre dureza y tenacidad. Una vez recubierto, el metal duro tiene una mayor resistencia al desgaste que un metal duro de la misma tenacidad sin recubrir. Por tanto, el recubrimiento varía las propiedades físicas y mecánicas del metal duro, lo que determina su nivel de rendimiento. Además, la tecnología de recubrimiento permite optimizar sus capacidades de corte para mecanizar grupos específicos de materiales de ingeniería, mediante, por ejemplo, el incremento de la resistencia a la abrasión, a la difusión o a la oxidación. Como resultado, la velocidad de corte y la productividad aumentan considerablemente.

Los recubrimientos de alta resistencia al desgaste son muy útiles para otros materiales de corte, no sólo para el metal duro. Por ejemplo, las herramientas de acero rápido con recubrimiento PVD son muy habituales actualmente.

Fig. 2.6.



La calidad de metal duro IC6025 de ISCAR, creada para plaquitas intercambiables de torneado, lleva un recubrimiento multicapa CVD MT y tratamiento post-recubrimiento.

## Cermets

La palabra “cermet” es la contracción de las palabras “cerámica” y “metal”. Este término designa un material compuesto artificial fabricado habitualmente mediante tecnología pulvimetalúrgica. La utilización del cermet para la fabricación de herramientas de corte supone una alternativa más económica al tungsteno y cobalto del metal duro. Es un tipo de metal duro, formado por un material cerámico con aglutinante metálico, en el que las partículas duras están principalmente formadas por compuestos con base de titanio, como el nitruro de titanio (TiN), nitruro de titanio al carbono (TiNC) y carburo de titanio (TiC), en lugar de los carburos de tungsteno habitualmente utilizados como material de corte. Los metales aglutinantes suelen ser níquel, molibdeno y cobalto. Los cermets, igual que los metales duros, pueden llevar recubrimientos resistentes al desgaste. En comparación con el carburo de tungsteno, el cermet tiene mayor resistencia al desgaste por abrasión y oxidación, pero su tenacidad es considerablemente menor y, además, es muy sensible a las cargas térmicas. El campo de aplicación del cermet no es tan amplio como el del metal duro. Los cermets se utilizan principalmente para obtener una buena calidad superficial.

## Cerámica

En comparación con el metal duro sinterizado, la cerámica tiene una dureza en caliente y una inercia química considerablemente mayores. Esto quiere decir que la cerámica garantiza una velocidad de corte mucho más alta y elimina el desgaste por difusión. La resistencia al agrietamiento del material cerámico es menor, lo que pone de manifiesto la importancia de la preparación del filo de corte para el éxito del mecanizado.

Hay dos tipos principales de materiales cerámicos:

- Con base de óxido de aluminio o alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Con base de nitruro de silicio ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )

Las cerámicas con base de óxido de aluminio puede ser puras (color óxido o blanco), mixtas (negras) y reforzadas.

La cerámica pura está formada por alúmina, habitualmente con pequeñas cantidades de dióxido de zirconio ( $\text{ZrO}_2$ ) para aumentar la tenacidad.

### Cerámica Whiskers

En los talleres de mecanizado, a las cerámicas reforzadas whisker se les denomina “whiskers”

En cerámicas mixtas, la adición de carburo de titanio (TiC) o nitruro de titanio (TiN) a la alúmina incrementa la dureza y la resistencia a choques térmicos. El color de la cerámica se vuelve negro o marrón oscuro.



La cerámica reforzada o “whisker” está formada por una base de óxido de aluminio reforzada con partículas de carburo de silicio (SiC) uniformemente distribuidas. La cerámica whiskers tiene mayor dureza y resistencia que las de base alúmina sin reforzar, lo que aumenta el rendimiento del mecanizado.

## Cerámica de Corte

Como material de corte, la cerámica se sitúa entre los metales duros y materiales súper duros, como diamante policristalino (PCD) y el nitruro de boro cúbico (CBN), según sus características de tenacidad y dureza.

Las cerámicas a base de nitruro de silicio pueden ser de varios tipos, en función de su contenido, propiedades mecánicas y tecnología de producción. A diferencia de las cerámicas con base de óxido de aluminio, las de nitruro de silicio son más tenaces y tienen mayor resistencia a choques térmicos, pero son más sensibles al desgaste por difusión. Por tanto, la utilización de cerámica de nitruro de silicio para cortar algunos materiales, como el acero, es limitada.

El Sialon o, más exactamente, SiAlON, es un tipo de cerámica formada por silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) y nitrógeno (N). Aunque se considera como una cerámica con base de nitruro de silicio, tiene menor tenacidad y mayor resistencia a la oxidación y su producción es más simple.

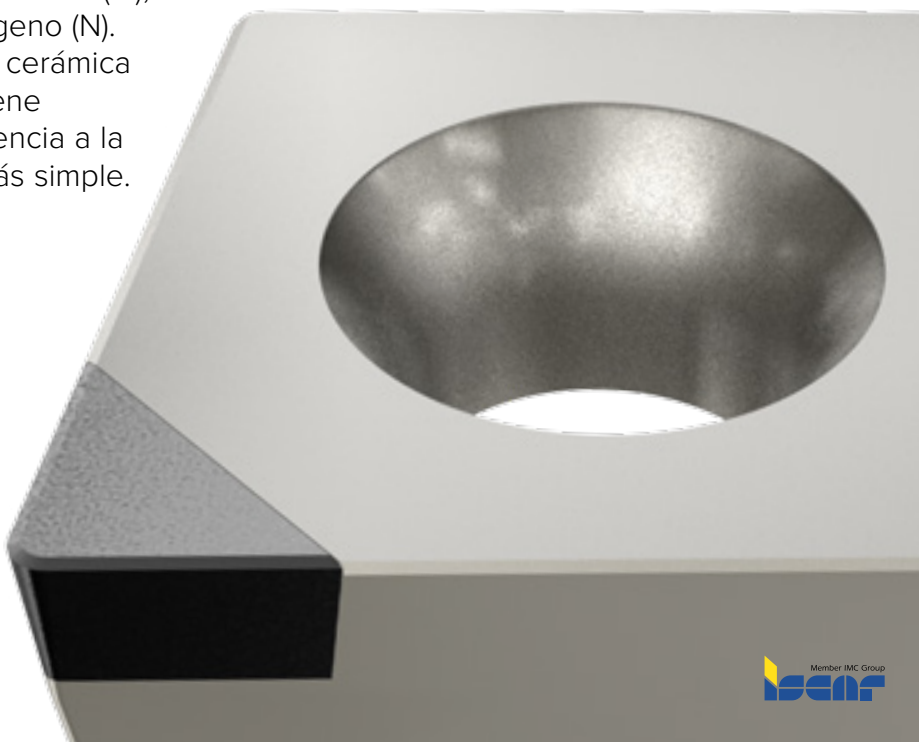
## Nitruro de Boro Cúbico (CBN, cBN)

El nitruro de boro cúbico (CBN, cBN) es un material sintético artificial que ocupa el segundo lugar en la escala de dureza, sólo superado por el diamante, y tiene una alta resistencia química y a choques térmicos. Una característica fundamental para utilizar CBN como material de corte es su bajo coeficiente de fricción.

## CBN o PCBN

Tanto el CBN como el PCBN son nitruros de boro (BN), un material polimorfo compuesto por dos elementos químicos. El nitruro de boro puede tener diferentes estructuras de cristal. Una de estas estructuras es cúbica, el nitruro de boro cúbico (CBN, cBN).

Como material de corte, el CBN se utiliza como un compuesto policristalino, en el que las partículas de CBN y el aglutinante se sinterizan juntos. El material resultante es “CBN Policristalino” o simplemente “PCBN” (PcBN). El contenido en CBN puede variar entre las diferentes calidades PCBN. En el campo de las herramientas de corte, las abreviaturas “CBN” y “PCBN” se consideran sinónimos.



Las calidades CBN difieren en el tamaño del grano, la estructura y los aditivos. En cuanto al porcentaje de CBN, hay calidades con alto (a partir del 85%) y bajo (alrededor del 55%) contenido en nitruro de boro cúbico. El resto de aditivos presentes en las calidades son componentes cerámicos duros, como el nitruro de titanio (TiN) y el carburo de titanio (TiC). El aumento del porcentaje de CBN en una calidad incrementa la conductividad térmica. Las calidades con alto y bajo contenido en CBN tienen diferentes capacidades de corte y, por tanto, se utilizan en diferentes aplicaciones, dependiendo del tipo de material a mecanizar. La óptima preparación del filo de corte de las herramientas de CBN según el material a mecanizar es extremadamente importante para un mecanizado efectivo.

## Diamante

El diamante, el material más duro que se conoce, es una de las formas del carbono. Para la fabricación de herramientas se utiliza tanto el diamante natural como el sintético. Aunque su dureza es 4 o 5 veces mayor que la del carburo de tungsteno, la tenacidad del diamante es significativamente menor, por lo que es adecuado para cortes finos con bajas cargas mecánicas. Su excelente resistencia a la abrasión, alta conductividad térmica y bajo coeficiente de fricción dan como resultado un excelente acabado superficial y una prolongada duración de la herramienta. Sin embargo, el diamante no es adecuado para mecanizar metales férricos, ya que se producen reacciones químicas con el hierro que ocasionan una pérdida de la capacidad de corte.

### Recubrimiento de Diamante y Similares

Además de ser el material de corte más duro, el diamante también es un material de recubrimiento. Los cerrajeros, por ejemplo, tienen una lima manual de diamante que puede limar los materiales más duros, aceros, cerámicas, cristal, etc. Incluso una simple lima de uñas para hacer la manicura es de diamante. Del mismo modo, hay herramienta cuyo elemento de corte lleva recubrimiento CVD de partículas de diamante. En cuanto al recubrimiento de carbono tipo diamante (DLC), el elemento de corte se recubre con carbono amorfo, que presenta algunas propiedades del diamante. Al DLC también se le denomina recubrimiento de carbono duro.

El diamante policristalino sintético, sinterizado a alta presión y temperatura, es la forma más utilizada para herramientas de corte. El diamante natural es un monocristal, pero el PCD está formado por partículas de diamante ferruginoso. Las calidades PCD se dividen en fina, media y gruesa, en función del tamaño del grano. Cuanto menor es el tamaño del grano, mayor es la resistencia al desgaste, mientras que si el tamaño es ligeramente mayor, aumenta la resistencia al impacto. La dureza del PCD es casi la misma que la del diamante natural.

La estructura monocristalina del diamante natural garantiza un contorno del filo de corte perfecto, sin puntos de unión. Esta característica es una importante ventaja para garantizar un excelente acabado superficial a espejo, requerido en varias aplicaciones como, por ejemplo, componentes de equipos ópticos. Sin embargo, un filo de corte PCD está formado por cristales diferentes, con sus correspondientes puntos de unión que dejan su huella en la superficie mecanizada.

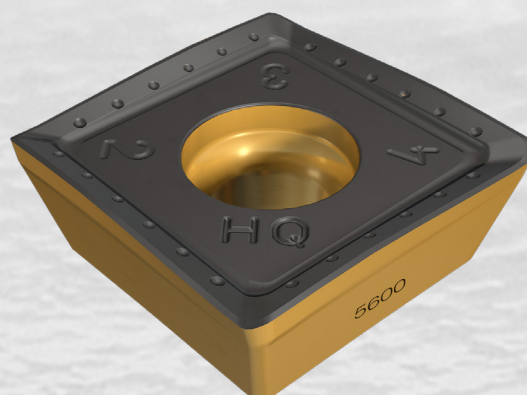
## Denominación de las Calidades de los Materiales de Corte

Los fabricantes de herramientas tienen sus propios sistemas de codificación para designar las calidades de los materiales de corte, que suele ser una combinación de letras y números. Normalmente, las letras hacen referencia al fabricante o al grupo principal de aplicación y los números a la versión de fabricación, a una característica de la calidad (por ejemplo, el tamaño del grano), etc.

A modo de ejemplo, las letras del sistema de denominación de calidades de corte de **ISCAR** indican el grupo de materiales, de la siguiente manera:

- IB – Nitruro de Boro Cúbico (CBN),
- IC – Metal Duro Sinterizado y Cermet,
- ID – Diamante Policristalino (PCD),
- IS – Cerámicas,
- DT – Metal Duro Sinterizado con Recubrimiento Dual (CVD+PVD).

Fig. 2.7.



La denominación de la calidad del material de corte o sus características están normalmente marcados en los elementos de la herramienta. En la imagen podemos ver que en el lateral de la plaquita están grabados los números “5600” correspondientes a la calidad de metal duro de ISCAR IC5600, omitiendo las letras “IC”.

# Preparación del Filo de Corte

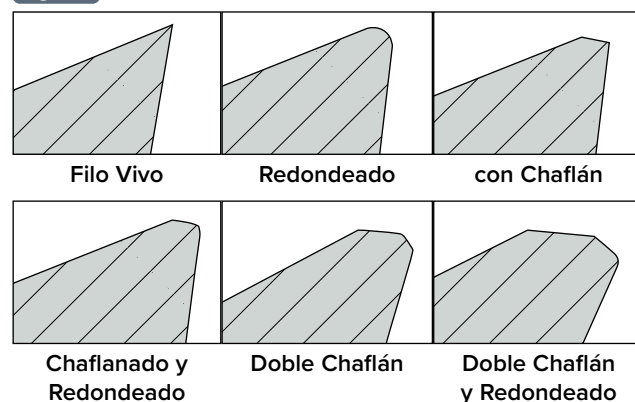
La forma de la cara de desprendimiento y los ángulos de desprendimiento e incidencia son elementos fundamentales de la macro geometría del filo de corte. Hay otro factor que tiene un importante impacto en la acción de corte, y es la micro geometría del filo: la condición a escala microscópica del filo de corte. A esta condición del filo de corte se le denomina preparación del filo.

La preparación óptima del filo depende del material de corte, de la geometría del filo, del material a mecanizar y del tipo de mecanizado. Los materiales de corte son duros y frágiles, por lo que tienden a astillarse, y la adecuada preparación del filo de corte reduce significativamente este fenómeno. Además, en muchos casos la preparación del filo es necesaria para defectos derivados de la tecnología de fabricación. Por ejemplo, un filo de corte rectificadado puede presentar numerosas escamas (virutas muy pequeñas sólo visibles con aumento) que deben eliminarse mediante los procesos de preparación del filo.

Desde el punto de vista de la micro geometría, un filo de corte puede ser redondeado, chaflanado, una combinación de ambos, o vivo. La preparación del filo de corte está regulada por diferentes normas como, por ejemplo, la ISO 1832 (Fig. 3.1).

Un filo redondeado se denomina “honed” y la acción de redondear un filo de corte es “hacer un honing”. Un chaflán en el filo de corte proporciona el ángulo de desprendimiento adecuado en esa zona. Si este ángulo es negativo, al chaflán es le denomina “en T” o “negativo”. El chaflán en T refuerza el filo de corte y aumenta su resistencia al impacto, aunque, por otro lado, incrementa las fuerzas de corte.

Fig. 3.1.



Geometría del filo de corte según norma ISO 1832

## Prevención de Errores: Rectificado

En herramientas de corte, a un filo redondeado se le denomina “honed” y la acción de redondear un filo de corte es “hacer un honing”. ¡No con el proceso de mecanizado denominado “honing” o afilado!

La micro geometría del filo de corte es esencial para el rendimiento del mecanizado y para la duración de la herramienta, por lo que la condición del filo es un sector de importantes investigaciones científicas y mejoras tecnológicas. Un buen ejemplo es un filo de corte redondeado. Los valores habituales de redondeo son de 0,02 a 0,08 mm, aunque pueden superarse si es necesario. Sin embargo, la forma final del redondeo de aristas depende de la disposición de las secciones redondeadas de la cara de desprendimiento y del flanco entre sí. Estas secciones se determinan mediante los parámetros medibles  $S_y$  y  $S_a$  respectivamente, y su relación define la forma del redondeo. A esta relación se le denomina factor de forma del filo de corte o Factor K, que indica la simetría del redondeo:

$$K = S_y / S_a \quad (3.1)$$

Dependiendo del valor de esta relación, la forma de la punta estará más desplazada hacia la cara de desprendimiento o hacia el flanco (Fig. 3.2).  $K=1$  determina un filo de corte completamente redondo, definido por un radio que se corresponde con una micro geometría simétrica. Si  $K \neq 1$ , el filo tendrá una forma ovalada, con una micro geometría asimétrica que puede ser de dos tipos:

- En cascada, con  $K < 1$
- En forma de trompeta (cascada inversa), con  $K > 1$

## Prevención de Errores: Factor K

El Factor K también es el “factor de potencia específica” (o “factor de unidad de potencia”), que es la potencia (en kW) necesaria para eliminar una unidad de volumen (en  $\text{cm}^3$ ) de un material en concreto por arranque de viruta. Sin embargo, hay otra versión, según la cual dicho factor se determina de forma inversa, y es el volumen de material que se elimina por corte cuando se aplica una potencia unitaria.

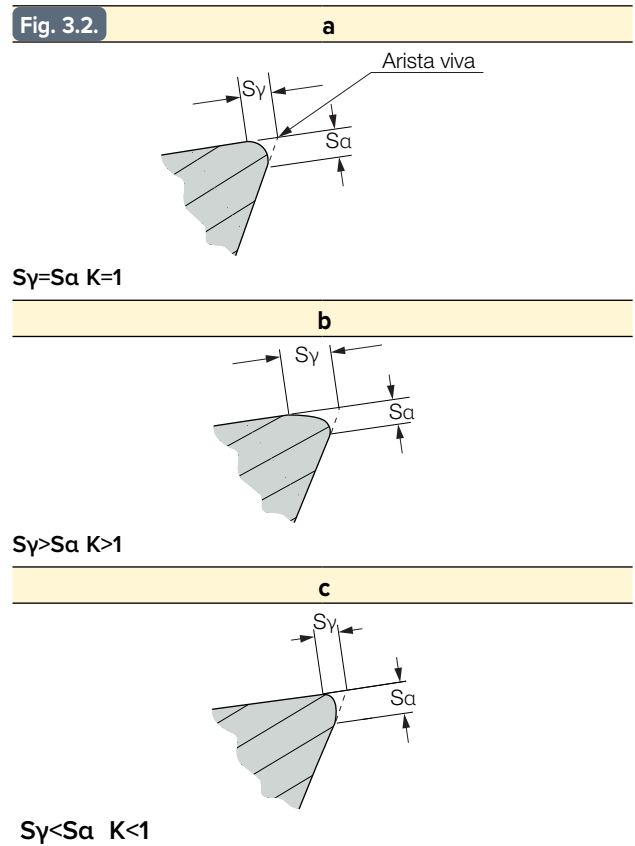
Igual que ocurre con la selección de la condición óptima del filo de corte, para encontrar la forma ideal hay que considerar varios factores. Las limitaciones de los equipos tecnológicos disponibles junto con la complejidad de la forma de la herramienta pueden suponer un serio problema para garantizar que, en la práctica, la forma del filo de corte es la idónea. También debe tenerse en cuenta que, en general, un filo de corte en forma de cascada tiende al desgaste de la cara de desprendimiento y si es en forma de trompeta, el desgaste se dará en el flanco. En resumen, la decisión del tipo de filo de corte requiere la consideración de varios factores. Actualmente, las formas más comunes son simétrica y en cascada.



Además de influir en el rendimiento funcional, el redondeo del filo de corte es importante para la fabricación de herramientas porque afecta directamente al proceso de recubrimiento. Los materiales de recubrimiento tienden a acumularse en los filos de corte vivos, formando una especie de recrecimiento. Por este motivo el redondeo de aristas, que evita este indeseado fenómeno, está considerado como una operación necesaria antes de recubrir.

Para conseguir la micro geometría requerida, se aplican diferentes métodos de tecnología térmica y mecánica, como el acabado por fricción, cepillado, micro chorreado, pulido con diamante, esmerilado, electroerosión, etc.

Fig. 3.2.



- Tipos de filos de corte redondeados y factor K:
- a) Rectificado simétrico, filo de corte redondeado con radio
  - b) Rectificado asimétrico, filo de corte en forma de trompeta
  - c) Rectificado asimétrico, filo de corte en forma de cascada



# Desgaste de la Herramienta

El desgaste de un producto implica daños y el cambio de dimensiones, forma o masa de dicho producto, por lo que claramente afecta a su rendimiento y valor. Esto mismo es aplicable a las herramientas de corte. Algunas normas (como la ISO 3685-1 o ISO 8688-1) definen el desgaste de una herramienta como el de su elemento de corte, y está causado por la pérdida gradual de material de corte o por deformación durante el mecanizado. El desgaste de una herramienta es consecuencia de los siguientes factores:

- Fricción
- Carga mecánica
- Carga térmica
- Reacciones químicas durante el mecanizado. Estos factores suelen combinarse entre sí provocando un efecto sinérgico.

Existen diferentes formas de desgaste de una herramienta.

El desgaste por abrasión provoca la degradación de la superficie de la herramienta. La principal razón de este desgaste es la estructura metalúrgica heterogénea del material de la pieza a mecanizar, con partículas de diferentes durezas. Como resultado, la herramienta de corte sufre un mecanizado por abrasión (una especie de pulido), con la consiguiente pérdida de material de corte.

El desgaste mecánico se produce cuando la carga mecánica, ya sea estática o dinámica, es de tal magnitud que ocasiona daños en el filo de corte. La resistencia del filo de corte tiene un límite natural y cuando sufre tensiones por encima de los valores admisibles, empiezan a aparecer los daños. Los procesos de corte interrumpido incrementan la carga de impacto, acelerando este proceso.

A determinados valores de temperatura y velocidad de corte, hay zonas de la herramienta que tienden a soldarse con las partículas del material extraído. Como resultado, aparece un recrecimiento del filo de corte (BUE). Este mecanismo de desgaste por adherencia varía la geometría de corte, ya que incorpora al filo un material ajeno a él.

Durante el mecanizado, cuando hay una elevada temperatura en la zona de corte, el oxígeno del aire reacciona con la capa superior del material de corte. El proceso de oxidación se intensifica en la zona donde se determina el ancho de las virutas, es decir, a la distancia de la profundidad de corte desde la punta del filo, donde se separan el filo de corte y el material mecanizado. El desgaste por oxidación suele manifestarse como una muesca en el filo de corte.

La alta temperatura en la zona de corte contribuye a la difusión mutua de partículas de la herramienta, la pieza y las virutas formadas. Esto cambia la composición y propiedades metalúrgicas de las capas superficiales del material de corte y disminuye su capacidad de mecanizado. La intensidad de este proceso de desgaste por difusión depende principalmente de la composición química del material de corte y del de la pieza. En general, el desgaste por difusión y por oxidación son desgastes químicos.

Las características de una operación de mecanizado determinan el mecanismo de desgaste de la herramienta. Los principales factores que influyen son:

- Material de corte y de la pieza
- Condiciones de corte (velocidad, avance, profundidad y ancho de corte)
- Geometría de Corte
- Refrigerante y sistema de refrigeración

## Tipos de Desgaste de la Herramienta

El desgaste de la herramienta puede producirse de distintas formas y en diferentes zonas del elemento de corte y refleja el proceso de desgaste que ha tenido lugar. Por tanto, es crucial realizar un análisis exhaustivo del mismo con objeto de optimizar la aplicación, controlar los parámetros de corte y prolongar la duración de la herramienta. Es importante garantizar que las condiciones de corte aplicadas darán lugar a un nivel óptimo de desgaste para un rendimiento efectivo de la herramienta de corte. Los tipos de desgastes de herramientas están descritos y clasificados en diferentes normas técnicas.

### Desgaste del Flanco

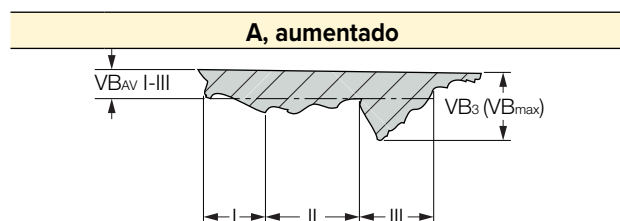
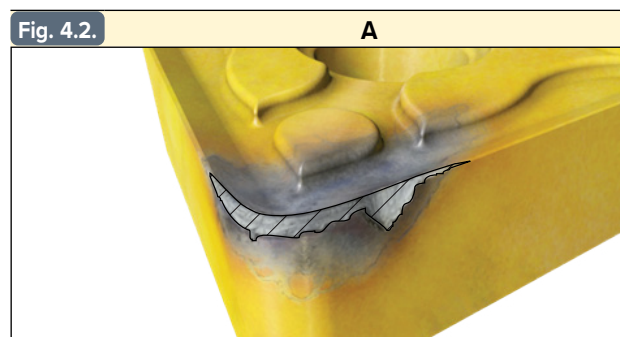
Como su propio nombre indica, este tipo de desgaste (Fig. 4.1) de desarrolla en el flanco de la herramienta.



**Desgaste del Flanco**

El desgaste del flanco se mide según el ancho de las marcas de desgaste que presenta (ancho de desgaste) y normalmente se conoce como VB. El número que aparece detrás de las letras “VB” indica la zona del flanco correspondiente al ancho medido. Dependiendo del perfil de la marca, este desgaste puede ser uniforme, no uniforme y localizado (zonas I, II y III de la Fig. 4.2 respectivamente). Cuando se especifica el ancho del desgaste, se suele tomar el valor medio de las diferentes zonas (VBI-IIAV de la Fig. 4.2).

Normalmente, a la hora de diseñar una herramienta, el desgaste del flanco se considera “natural” y es ideal cuando es uniforme. La principal razón para que el desgaste del flanco sea uniforme o no es la abrasión. El estudio del desgaste del flanco permite predecir la duración de la herramienta y determinar con qué frecuencia se debe sustituir la herramienta o filo de corte dañados.



**Tipos de Desgaste del Flanco**

El desgaste localizado del flanco, conocido como desgaste en entalla o por entalladura, aparece como una muesca o ranura (óvalo rojo de la Fig.4.3). Este tipo de desgaste se produce por adhesión y oxidación.



**Desgaste del flanco localizado (en entalla o por entalladura)**



## Apuntes de Lingüística: Desgaste de la Herramienta

En la terminología de las herramientas de corte, las letras VB designan el ancho del desgaste del flanco. Todo parece indicar que esto tiene su origen en la palabra alemana “Verschleißmarkenbreite”, que quiere decir “ancho de una marca de desgaste”. Asimismo, el término VG definen el desgaste máximo, y proviene de la palabra “Verschleißgrenze” o “límite de desgaste”

### Desgaste Frontal

El desgaste frontal se produce principalmente por abrasión y difusión. La viruta que se forma durante el mecanizado entra en contacto con la cara de desprendimiento de la herramienta, causándole daños por desgaste.

Normalmente, el desgaste frontal presenta forma de cráter (Fig. 4.4) en el filo de corte.



Desgaste frontal en forma de cráter

Si el cráter traspasa el filo de corte y llega hasta el flanco, decimos que se trata de un desgaste en forma de escalera.

### Astillamiento del Filo de Corte

Como resultado de la fatiga ocasionada por las intensas cargas mecánicas, un filo de corte puede empezar a astillarse (Fig. 4.5). De hecho, el daño del filo de corte empieza antes de aparecer el desgaste. El corte interrumpido favorece la tendencia al astillamiento del filo. Un mayor aumento de la carga puede producir la rotura del filo, haciendo que pierda su capacidad de corte.

Como ocurre con el desgaste del flanco, el astillamiento del filo de corte puede ser uniforme, no uniforme y localizado.



Astillamiento del Filo de Corte



**Grietas**

Las grietas evidencian la fatiga del material de corte. Sin embargo, existen varios tipos de desgaste por fatiga, así como las grietas pueden ser de diferentes tipos y formas. Las grietas que se forman en la cara y en el flanco y son prácticamente perpendiculares al filo de corte son el resultado de cargas térmicas variables, mientras que las que aparecen en la cara o en el flanco y son casi paralelas al filo indican la fatiga del material debido a las cargas mecánicas. Las grietas térmicas se suelen denominar grietas en forma de peine o en peine. (Fig. 4.6)



Grietas Térmicas

**Deformación Plástica**

La deformación plástica se produce por la combinación de cargas térmicas y mecánicas sobre el filo de corte de la herramienta. Este tipo de daño se caracteriza por modificar la forma del perfil de corte sin que haya pérdida de material.



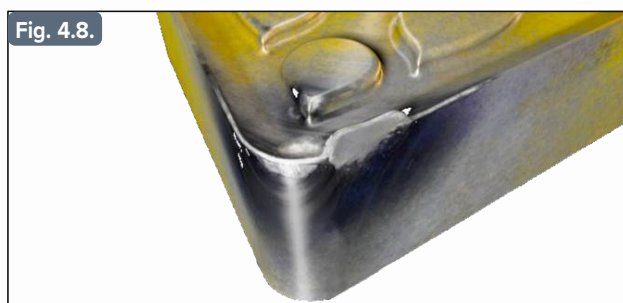
Deformación Plástica

La geometría y material de corte determinan en gran medida la resistencia a la deformación plástica de la herramienta.



### Recrecimiento del Filo (BUE)

El recrecimiento del filo (BUE) es un fenómeno que aparece cuando se dan ciertas condiciones de corte y el material mecanizado se adhiere a la cara de la herramienta (Fig. 4.8). La dureza del material del BUE es mucho mayor que la del material de la pieza, por lo que queda adherido como parte del filo de corte. Esta claro que esta transformación del filo modifica la geometría de corte y afecta al rendimiento. Durante el mecanizado, el flujo de virutas puede arrancar una parte del recrecimiento, mientras que la otra parte entra en la pieza. Este proceso astilla el filo de corte, pudiendo incluso ocasionar la rotura de la herramienta.



Recrecimiento del Filo (BUE)

### Fallo Catastrófico

El fallo catastrófico de un filo de corte (Fig. 4.9) significa la rotura completa del mismo..



Fallo catastrófico (rotura) del filo de corte

La Tabla 4.1 resume los principales daños a la herramienta y los mecanismos de desgaste que los causan, y la Fig. 4.10 proporciona instrucciones para una posible solución.

Daños en la Herramienta		Principales de Mecanismos de Desgaste
Desgaste del Flanco	Uniforme	Abrasión
	No uniforme	
Desgaste Frontal	Localizado (muecas)	Adhesión y oxidación
	Cráter	Abrasión y difusión
Escalonado		
Astillamiento del filo de corte	Uniforme	Mecánica
	No uniforme	
	Localizado	
Grietas	Térmica (en forma de peine)	Fatiga debida a cargas térmicas variables (choque térmico)
	Mecánica	Fatiga debida a cargas mecánicas
Recrecimiento dEL Filo (BUE)		Adherencia

Daños y mecanismos de desgaste de la herramienta



Fig. 4.10.

Desgaste del Flanco	Craterización
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Velocidad de corte demasiado alta</li> <li>• Excesivo calor generado</li> <li>• Calidad de metal duro demasiado tenaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Velocidad de corte demasiado alta</li> <li>• Excesivo calor generado</li> <li>• Avance demasiado bajo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Reducir la velocidad de corte</li> <li>• Utilizar una calidad más dura</li> <li>• Reducir el ángulo de posición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Reducir la velocidad de corte</li> <li>• Utilizar una calidad más dura</li> <li>• Aumentar el avance</li> </ul>
Desgaste de Entalla	Astillamiento
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Velocidad de corte demasiado alta</li> <li>• Calidad de metal duro demasiado tenaz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Calidad de metal duro con excesiva resistencia al desgaste</li> <li>• Filo de corte demasiado positivo</li> <li>• Recrecimiento del filo</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Reducir la velocidad de corte</li> <li>• Utilizar una calidad más dura</li> <li>• Modificar la profundidad de corte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Utilizar una calidad más tenaz</li> <li>• Aumentar la velocidad de corte</li> <li>• Utilizar un filo de corte más estable</li> </ul>
Fracturas	Grietas Térmicas
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Filo de corte demasiado positivo</li> <li>• Calidad de metal duro demasiado dura</li> <li>• Vibraciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Choque térmico</li> <li>• Corte interrumpido pesado</li> <li>• Choque térmico por refrigeración</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Reducir la profundidad de corte</li> <li>• Reducir el avance</li> <li>• Filo de corte más estable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Utilizar una calidad más tenaz</li> <li>• Mejorar el suministro de refrigerante</li> <li>• No aplicar refrigeración en corte interrumpido</li> </ul>
Recrecimiento del filo	Deformación Plástica
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Baja velocidad de corte</li> <li>• Avance demasiado bajo</li> <li>• Filo de corte demasiado negativo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causas posibles:</li> <li>• Avance demasiado alto</li> <li>• Velocidad de corte demasiado alta</li> <li>• Calidad de metal duro con baja resistencia al desgaste</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Elevada velocidad de corte</li> <li>• Aumentar el avance</li> <li>• Utilizar un filo de corte más suave y positivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible solución:</li> <li>• Reducir la velocidad de corte</li> <li>• Reducir el avance</li> <li>• Utilizar una calidad más dura</li> </ul>

**Desgaste de la herramienta y posible solución**

**Control del Desgaste y Normativa Aplicable**

Existen varias normas, instrucciones y otra información técnica que especifican los tipos de desgaste y sus códigos, los daños aceptables, el desgaste máximo y el equipo necesario para la detección y medida del desgaste como, por ejemplo, las normas ISO 3685 e ISO 8688.

**Determinación del Desgaste; Ejemplo Numérico**

Los parámetros de desgaste de una herramienta dependen del tipo de desgaste. Se pueden expresar en valores máximos de desgaste del flanco o dimensiones del cráter, distancia entre grietas, número de escamas en un filo de corte, etc. Algunos daños por desgaste no son adecuados para determinar la duración de la herramienta, y sólo se utilizan en circunstancias extraordinarias. El valor del desgaste máximo de la herramienta depende del tipo de herramienta y del tipo de desgaste. Además, estas magnitudes pueden variar en función de las condiciones de corte específicas. Por ejemplo, en una prueba de laboratorio de una fresa con plaquitas intercambiables, el valor máximo considerado del desgaste no uniforme del flanco es de 0,3-0,8 mm, dependiendo del diámetro de la fresa. Sin embargo, en el taller, las fresas se utilizan con valores de desgaste de 1,5 mm e incluso superiores. En cuanto al desgaste por entalladura, el parámetro VB3 medido durante la prueba no supera 1,2-1,5 mm

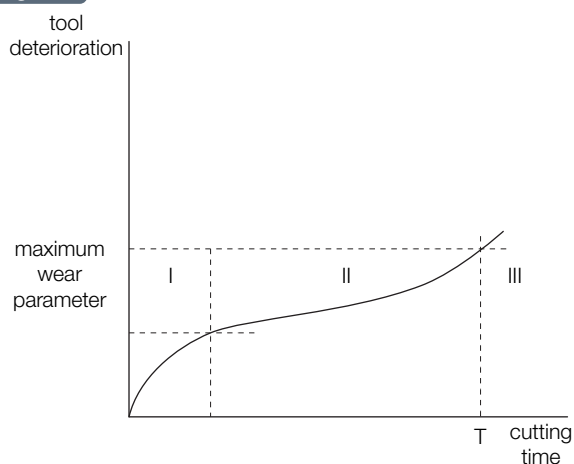
El cálculo del desgaste máximo es crucial para determinar la duración de la herramienta y el tiempo después del que no puede volver a ser utilizada.

La Fig. 4.11 muestra el desarrollo del desgaste en condiciones normales, que se divide en diferentes etapas:

- I – Desgaste inicial, de rápido desarrollo
- II – incremento uniforme del desgaste hasta llegar al valor crítico de producir daños
- III - Brusco aumento del desgaste que provoca el fallo de la herramienta.

El valor crítico de un daño, determinado por el desgaste máximo, es equivalente a la vida útil de la herramienta. Entre los factores que influyen en la duración de la herramienta, los más importantes son las condiciones de corte y la maquinabilidad del material de la pieza.

Fig. 4.11.



**Desarrollo del desgaste de la herramienta**

Existen métodos directos e indirectos para detectar y medir el desgaste de una herramienta.

Los métodos directos utilizan microscopios, máquinas de medición de coordenadas, procesamiento digital de imágenes, etc.

Los métodos indirectos se basan en el análisis del resultado final del mecanizado (como el acabado superficial o la precisión) y las características de la operación (consumo de potencias, fuerzas de corte, vibraciones, etc.). Estos métodos también incluyen inspecciones visuales, detección de ruidos y comprobación con la uña (aunque hay que observar las normas de seguridad, sigue siendo un método muy común).



Comprobación del desgaste de una herramienta mediante microscopio computerizado en el Centro Técnico de ISCAR

**Detección del Desgaste... Por el Recubrimiento**

En los recubrimientos multicapa, la capa exterior, además de su función protectora, es muy útil para detectar el desgaste, incluso las tecnologías de recubrimiento actuales incorporan un indicador de color en la capa exterior. Durante el mecanizado, en esta capa quedan marcas visibles y bien definidas del desgaste que contribuyen en gran medida a la detección precoz del mismo.

# Materiales de Ingeniería

## Maquinabilidad y Utilización de los Materiales de las Herramientas de Corte

Las herramientas de corte están diseñadas para mecanizar materiales de ingeniería, que son los utilizados para la fabricación de estructuras y sus elementos, piezas de maquinaria y otros componentes. Estos materiales de ingeniería pueden ser metales férricos y no férricos, composites, plásticos, cerámicas, etc., con diferentes propiedades físicas y mecánicas. Algunos son más fáciles de cortar que otros. La maquinabilidad de un material es la propiedad que refleja la facilidad con la que se puede mecanizar, la capacidad del material para ser cortado con unos parámetros de mecanizado determinados. Hay varios factores que influyen en la maquinabilidad de un material, como su composición química, dureza, método de obtención, etc. El índice o factor de maquinabilidad es el parámetro que representa cómo de fácil (o difícil) es cortar un material, en comparación con un material de referencia, y en la actualidad está definido para casi todos los materiales de ingeniería, para lo que ha sido necesario realizar miles de pruebas y análisis.

Supongamos que seleccionamos un material y lo mecanizamos con una herramienta con la geometría de corte adecuada para definir la velocidad de corte, lo que nos dará una duración de herramienta predeterminada y garantiza un acabado superficial aceptable. Consideraremos este material como referencia, y que su índice de maquinabilidad es del 100% (o 1)

Repetimos la misma prueba con otro material para calcular la velocidad de corte a la que obtenemos la misma duración de la herramienta. El índice de maquinabilidad de este material será la relación entre la velocidad de corte calculada y la del material de referencia:

$$K_m = v_{cm} / v_{cr}$$

en valores numéricos, (5.1a)

o

$$K_m \% = v_{cm} / v_{cr} \times 100\%$$

en porcentaje (5.1b)

### donde

$K_m$  y  $K_m\%$  – índice o factor de maquinabilidad del material, en números o porcentaje

$v_{cr}$  – Velocidad de corte para mecanizar el material de referencia para una duración de la herramienta T

$v_{cm}$  – Velocidad de corte con la que se obtiene una duración de la herramienta T

Con este método podemos estimar la maquinabilidad de diferentes materiales de ingeniería. Por ejemplo, considerando que la maquinabilidad del acero de fácil mecanización es del 100%, el índice estimado de algunos grupos de materiales sería como se indica en la Tabla 5.1.

Material	Maquinabilidad %
Acero no aleado, de fácil mecanización	100
Acero de baja aleación, recocido	60
Acero de alta aleación, recocido	50
Acero inoxidable austenítico, recocido	40
Titanio puro comercial	43
Titanio Ti-6Al-4V, recocido	25

#### Maquinabilidad de algunos grupos de materiales

Cuanto menor es el valor de  $K_m$  de un material, más difícil es su mecanización, lo que quiere decir que tiene menor maquinabilidad

### Acero de fácil mecanización

Los aceros de fácil mecanización son aceros al carbono con un mayor contenido de azufre que otros aceros con un porcentaje de carbono similar. El resultado de este mayor contenido de azufre es una mejor maquinabilidad y control de viruta.

Los valores nominales de la tabla 5.1 son orientativos, en la práctica se requiere un análisis y una especificación más detallada. En algunas ocasiones, para determinar el índice de maquinabilidad se agrupan los materiales atendiendo a su designación y a su condición de suministro.

Según la norma AISI, el material de referencia es el acero de fácil mecanización 1212 (~DIN W.-Nr. 1.0711) con una dureza de 160 HB. El índice de maquinabilidad de este acero se considera del 100% ( $K_m=1$ ). Las pruebas realizadas con diferentes materiales, uno a uno, permiten conocer su índice de maquinabilidad en comparación con el acero AISI 1212. Estos valores están registrados en una base de datos pública. En el sector del mecanizado de metales, el índice de maquinabilidad es una característica de un gran valor práctico.

**Ejemplo:** En una prueba de mecanizado en laboratorio de un acero AISI 1212, HB 160, con una fresa con plaquitas intercambiables, a una velocidad de corte de 190 m/min, se obtiene una duración de la herramienta de 40 min por filo de corte. Calculamos ahora la velocidad de corte necesaria para igualar la duración de la misma herramienta en una operación de mecanizado de una pieza de acero de baja aleación AISI 5120 (~DIN W.-Nr. 1.7027), con una dureza de 170..190 HB y un índice de maquinabilidad de 0,72.

$$V_{cr}=190 \text{ m/min.}$$

Debido a que ambos aceros tienen una dureza similar

$$V_{c \ 5120} = V_{cr} \times K_m = 190 \times 0.72 \\ = 137 \text{ (m/min)}$$

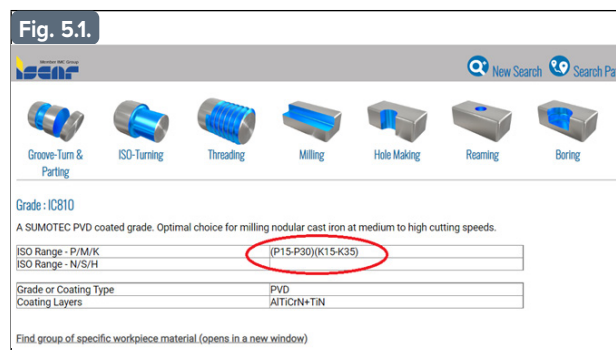
## Materiales de Ingeniería y para Herramientas de Corte

Generalmente, los materiales de corte son más duros que los de las piezas, por lo que una calidad del material de corte normalmente puede mecanizar diferentes materiales de ingeniería. Sin embargo, en algunos casos, una calidad puede resultar beneficiosa y en otros inefectiva. Por lo tanto, la calidad del material de corte define el campo de aplicación de la herramienta, que indica el tipo de material de ingeniería que se puede mecanizar utilizando una herramienta fabricada con esa calidad específica. Según la norma ISO 513, el campo de aplicación se denomina grupo principal de aplicaciones, que corresponde con el de los materiales a mecanizar y cada uno tiene una letra y color identificativos. Por ejemplo, el grupo P (azul) se utiliza para el mecanizado de aceros, el M (amarillo) es para aceros inoxidables dúplex y austeníticos, el K (rojo) es para fundiciones, etc.

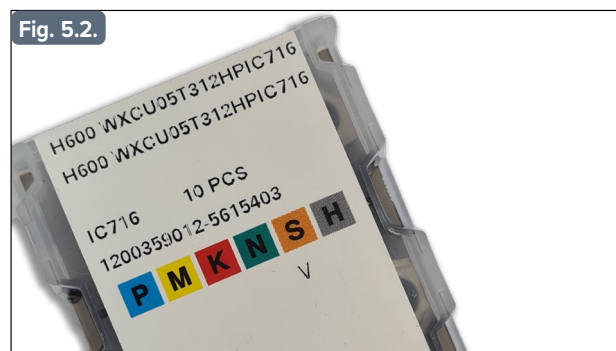
Además, la norma divide el grupo principal de aplicaciones en diferentes grupos de aplicación, que determinan la posición de una calidad en una escala de dureza-tenacidad. Esta posición se indica con números. Cuanto mayor es el número, mayor es la tenacidad, y cuanto menor es el número, mayor es la dureza. Desde un punto de vista práctico, los números altos implican unas condiciones de corte más altas y viceversa.

Este sistema permite clasificar las calidades de los materiales de corte en función de su campo de aplicación y así poder facilitar los datos relevantes a los usuarios. Los fabricantes de herramientas de corte, junto con su propia designación de la calidad del material, indican sus grupos de aplicación del material (P10-P25), (M10-M20). En caso de que el espacio disponible para esta denominación sea limitado,

se indicarán los grupos principales de aplicación, como se muestra en las Fig. 1 y 2, marcado con un óvalo rojo.



**Identificación de los grupos de aplicación de la calidad de metal duro IC810 en el catálogo electrónico de ISCAR**



**Información sobre el grupo de aplicación principal para la calidad de metal duro IC716 en una caja de plaquetas**

### Apuntes de Lingüística: Identificación de los Principales Grupos de Aplicación

La norma ISO implementó los principios de clasificación de los materiales desarrollados en Alemania y, por tanto, sus letras de identificación son de origen alemán. Por ejemplo, la letra K tiene su origen en la palabra “Kurzspanend” (de virutas cortas), y la “H” proviene de “Hart” (duro), por poner un ejemplo.



## Clasificación de los Materiales de Ingeniería

Según la norma ISO 513, los materiales de ingeniería se dividen en grupos que hacen referencia a la aplicación de la herramienta de corte. Sin embargo, esta clasificación recoge materiales de diferente maquinabilidad dentro de un mismo grupo, lo que resulta problemático. Volviendo a la tabla 5.1, vemos que la maquinabilidad media de los diferentes tipos de aceros varía significativamente. Por ejemplo, la maquinabilidad del acero de alta aleación es la mitad de la del acero de fácil mecanización. Desde el punto de vista de la maquinabilidad, esta clasificación no es suficiente, es necesaria una agrupación de materiales más definida y detallada.

Los fabricantes de herramientas han desarrollado su propio sistema de clasificación de los materiales de ingeniería con objeto de facilitar al cliente toda la información técnica sobre la aplicación de la herramienta y las condiciones de corte recomendadas para el material específico. Dada la demanda actual de la industria y la tendencia a unificar la representación de datos, estos sistemas están cada vez más cerca.

El criterio de **ISCAR** de clasificación de materiales de ingeniería se basa en las normas ISO 513 y **VDI 3323**. De acuerdo con este enfoque, los principales grupos de aplicaciones, que especifican clases de materiales mecanizados, se dividen en subgrupos de materiales (Fig. 5.3).

Dentro del grupo principal de aplicación hay subgrupos de materiales con diferente maquinabilidad. En el caso del mecanizado de materiales específicos, la pertenencia a algún subgrupo permite determinar las condiciones de corte con mayor precisión.

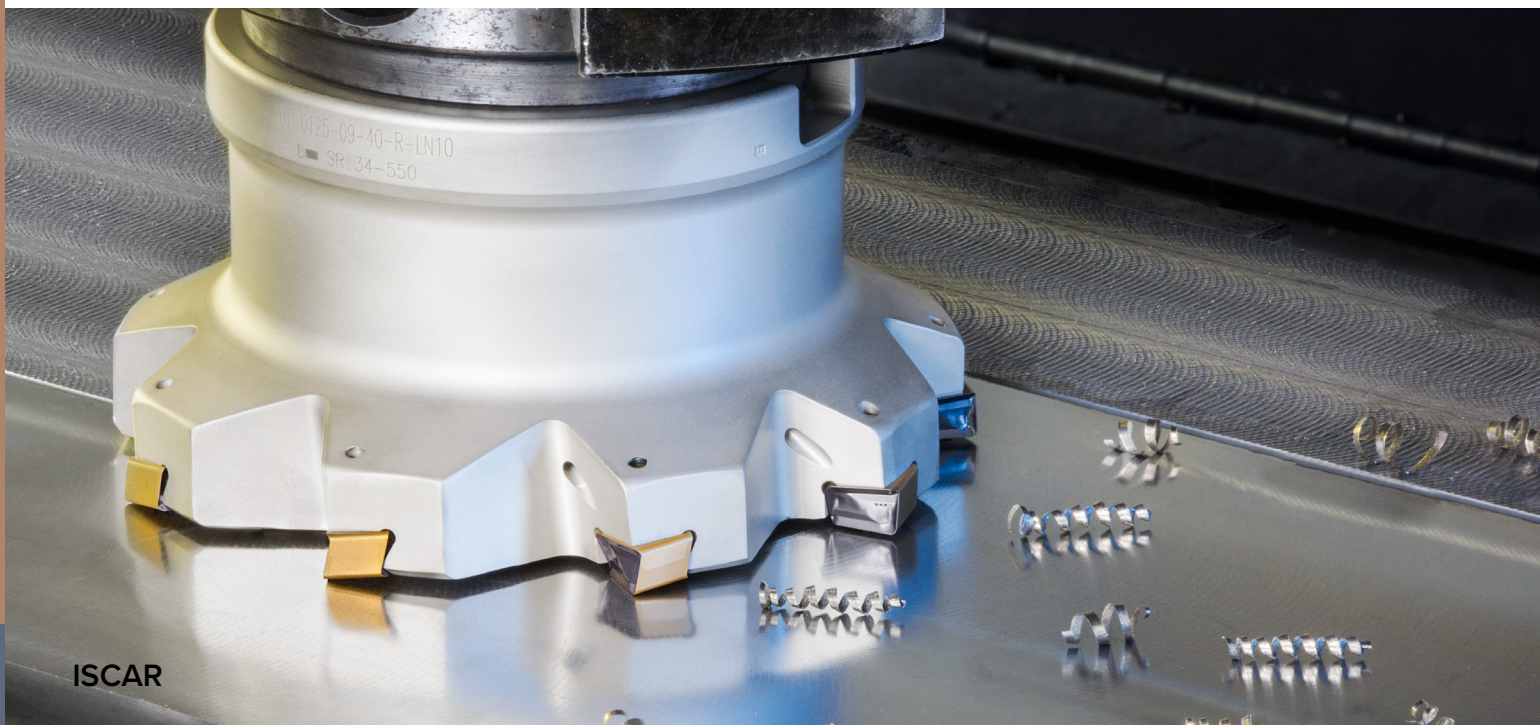
### Aplicaciones fuera de la norma ISO

La norma ISO 513 establece seis grupos principales de aplicaciones que corresponden a determinadas clases de materiales a mecanizar. Al mismo tiempo, la industria moderna ha adoptado materiales de ingeniería adicionales, que no están recogidos en la norma, pero se utilizan habitualmente (diferentes composites, grafito, etc.). La nueva versión de los grupos de materiales de la norma **VDI 3323** incluye el grupo "O" (Otros), que los fabricantes de herramientas utilizan según el mismo principio de clasificación, definiéndolo como aplicaciones o materiales "no ISO" (fuera de la ISO).

Fig. 5.3.

ISO 513		Grupos de materiales ISCAR según norma VDI 3323				Condición	Resistencia a la Tracción [N/mm <sup>2</sup> ]	Dureza HB	
Letra de Identificación	Materiales	Descripción del Subgrupo de Materiales	Estructura/ Composición	Subgrupo de Aplicación (anterior)	Subgrupo de Aplicación (nuevo)				
P	Aceros: Todos los tipos de aceros y aceros fundidos, excepto los aceros inoxidables austeníticos	Aceros no aleados y de fácil mecanización	<0.15% C	1	P1	Recocido	420	125	
			<0.45% C	2	P2	Recocido	650	190	
			<0.45% C	3	P3	Bonificada	850	250	
			<0.75% C	4	P4	Recocido	750	220	
			<0.75% C	5	P5	Bonificada	1000	300	
		Aceros de baja aleación y fundidos		6	P6	Recocido	600	200	
				7	P7	Bonificada	930	275	
				8	P8		1000	300	
				9	P9		1200	350	
		Aceros de alta aleación, fundidos y de herramientas		10	P10	Recocido	680	200	
				11	P11	Bonificada	1100	325	
		Aceros bainíticos y con un contenido en carbono ultra elevado			P12	Aceros bainíticos templados	1300	380	
		Aceros sinterizados (pulvimetalúrgicos)			P13	Producto HIP	950	280 (250-340)	
		Aceros inoxidables y fundidos	Ferrítico / Martensítico	12	P14	Templado	680	200	
				Martensítico	13	P15	Templado	820	240
				Martensítico		P16	Endurecido por precipitación (PH)	1200	350

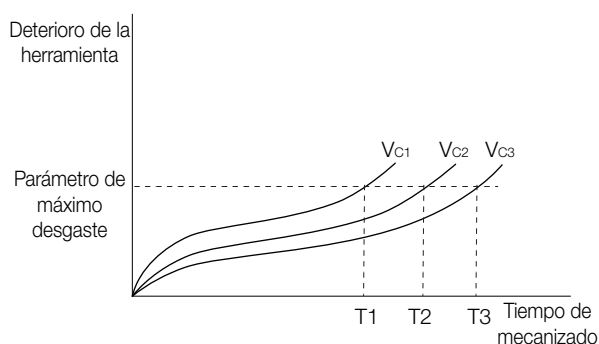
Clasificación de los grupos de materiales ISCAR (fragmento)



# Duración Estimada de la Herramienta

El gráfico de la Fig. 4.11, visto con anterioridad, muestra un desarrollo típico del desgaste durante el mecanizado de un material a una velocidad dada. El incremento de la velocidad de corte, manteniendo invariables los valores del resto de parámetros, acelera el desarrollo del desgaste (Fig. 6.1).

Fig. 6.1.



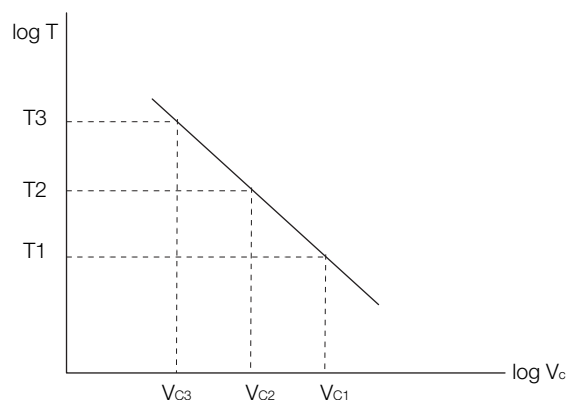
$$V_{c1} > V_{c2} > V_{c3}$$

**Desgaste de la herramienta en función de la velocidad de corte**

Como ya hemos mencionado, el parámetro de desgaste máximo hace referencia a la duración de la herramienta, el tiempo de mecanizado que transcurre hasta que la herramienta no puede volver a utilizar.

En la Fig. 6.1, el mecanizado a velocidades de corte  $v_{c1}$ ,  $v_{c2}$  y  $v_{c3}$  nos da una duración de la herramienta  $T1$ ,  $T2$  y  $T3$ , respectivamente. La representación gráfica de la relación entre la duración de la herramienta y la velocidad de corte en coordenadas logarítmicas conocida, como diagrama  $vT$  (Fig. 6.2), lo ilustra mejor.

Fig. 6.2.



**Diagrama  $vT$  en coordenadas logarítmicas**

El análisis del desarrollo del desgaste para predecir la duración de una herramienta comienza con un estudio empírico. Se realizaron ininidad de pruebas que han permitido crear las curvas del desarrollo del desgaste para los diferentes tipos de daños controlados y a diferentes velocidades de corte.

La primera fórmula empírica para determinar la duración de la herramienta fue propuesta por F. W. Taylor en la década de 1900, fruto de incontables pruebas llevadas a cabo durante muchos años. La investigación de Taylor marcó el inicio de los estudios serios sobre el desgaste y la determinación de la duración de las herramientas. Con estas pruebas, Taylor parecía ser el primero que definió un patrón de desarrollo del desgaste y lo dividió en tres etapas: en una primera fase, al inicio del mecanizado, el desgaste aumenta rápidamente para después estabilizarse en una segunda fase y, finalmente, en la tercera fase, experimentar un brusco incremento hasta alcanzar el desgaste crítico (Fig. 4.11). La fórmula de Taylor para la duración de la herramienta es la siguiente:

$$V_c \times T^m = C \quad (6.1)$$

donde C y m son constantes empíricas, que dependen del material de corte y del de la pieza.

### Apuntes de Historia: Frederick Winslow Taylor

Frederick Winslow Taylor pasó a la historia como un ingeniero mecánico de talento, un inventor brillante, el creador de la gestión científica y el presidente de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME). En 1906, F.W. Taylor derivó una ecuación que permitía estimar la duración de una herramienta para una velocidad de corte variable. La derivación de esta ecuación fue precedida por 12 años de innumerables pruebas de torneado y análisis de los resultados de estas pruebas.

En cuanto a las etapas antes mencionadas de desarrollo del desgaste, la fórmula de Taylor se refiere a la segunda etapa, cuando el desgaste aumenta de manera uniforme y gradual. Esta fórmula refleja un caso de desgaste por abrasión que se observa cuando se mecaniza a velocidades de corte dentro de un intervalo razonable, mientras que los demás parámetros, como el avance, la profundidad y ancho de corte, etc., permanecen invariables. Por otro lado, la fórmula no tiene en cuenta la geometría de corte de la herramienta.

Los estudios posteriores y la modelización del mecanismo de desgaste han permitido ampliar y mejorar las ecuaciones de la duración de la herramienta, que se basan en la variación de parámetros, coeficientes empíricos, constantes y exponentes. Se trata de ecuaciones complejas, más adecuadas para sistemas computerizados que para cálculos en taller. A continuación detallamos una de estas ecuaciones:

$$V_c \times h^p \times T^m = C \quad (6.2)$$

A partir de la fórmula de Taylor, la ecuación muestra un término adicional: el espesor de viruta  $h$  equivalente a la potencia  $p$ . Si  $p$  es constante, el espesor equivalente de viruta representa una función del avance, de la profundidad de corte y de la geometría.

Los progresos en tecnología y ciencias aplicadas han mejorado la forma de predecir la duración de las herramientas hasta otros niveles.

La utilización de modelos junto con los complejos cálculos realizados por los ordenadores actuales permiten considerar los diferentes factores que pueden influir en la duración de la herramienta y mejorar significativamente la precisión de este parámetro. Al mismo tiempo, dependiendo de las características específicas de una operación de mecanizado, los resultados de la estimación contrastados con los valores reales indican que unos modelos proporcionan datos más precisos que otros. Por tanto, la evaluación precisa de la duración de la herramienta sigue siendo una parte fundamental dentro de las tareas de investigación continua.

Si consideramos la fórmula de Taylor desde el punto de vista actual, vemos claramente que esta es incompleta. Sin embargo, esta fórmula fue el punto de partida para las posteriores búsquedas de ecuaciones, que expresan matemáticamente la duración de la herramienta en función de las condiciones de corte y de los parámetros de la herramienta. Además, en algunos casos esta fórmula todavía se puede utilizar.

**Por ejemplo:** En una operación de fresado de acero inoxidable martensítico AISI 420 (DIN W.-Nr. 1.4021) a una velocidad de corte de 150 m/min, la duración de la plaquita de metal duro es alrededor de 40 min por punta. ¿Cómo variará la duración de la plaquita si aumentamos la velocidad a 200 m/min?. Los demás datos no varían. Según la ecuación (6.1)

$$V_{c1}/V_{c2} = (T_2 / T_1)^m, \text{ y } T_2 = T_1 \times (V_{c1}/V_{c2})^{1/m}.$$

El valor de la constante  $m$  para cortar aceros con herramientas de metal duro está entre 0,2 y 0,4, por lo que consideraremos que  $m = 0,3$ .

Por tanto,  $T_2 = 40 \times (150/200)^{1/0.3} = 15.3$  (min).

Para  $m = 0.4$   $T_2 = 40 \times (150/200)^{1/0.4} = 19.5$  (min).

El caso práctico muestra que, en una operación de fresado, el aumento de la velocidad de corte en un 33% reduce la duración de la herramienta aproximadamente un 50%.

# Parámetros y Condiciones de Corte

Generalmente, los datos de corte se refieren a variables cuantitativas que determinan numéricamente un proceso de mecanizado, y también se pueden denominar parámetros de corte. Los datos de corte son:

- Velocidad de corte
- Avance
- Profundidad de Corte
- Ancho de Corte
- Margen de mecanizado (creces)
- Número de Pasadas
- Voladizo de la herramienta

y otros parámetros que dependen de las características específicas de una operación de mecanizado en concreto, como, por ejemplo, la velocidad del husillo en una pieza rotativa, el movimiento primario de una herramienta y el desplazamiento radial (solape) y axial (penetración) después de cada pasada de fresado, entre otros.

Aunque los datos de corte suelen identificarse con las condiciones de corte, esto no es del todo cierto. Las condiciones de corte incluyen factores difíciles de cuantificar. Por ejemplo, unas condiciones de corte desfavorables pueden ser debidas a una gran cantidad de razones:

- Pieza con una capa exterior (silícea o de escoria, por ejemplo)
- Margen de mecanizado tan significativamente variable que implica el cambio de la profundidad de corte
- Considerable carga de impacto ocasionada por la no uniformidad de la superficie mecanizada
- Superficie con partículas muy abrasivas

## Condiciones de Corte Desfavorables e Inestables

Aunque estos dos términos no son intercambiables, las condiciones tienen una relación de causa-efecto y, en algunos casos, se utilizan como sinónimos.

Por otro lado, el término condiciones de corte inestables se refiere a una baja estabilidad del sistema de mecanizado al completo (máquina herramienta, fijación de la pieza y de la herramienta, tipo de pieza) debido a:

- Insuficiente fijación de la herramienta y de la pieza
- Gran voladizo de la herramienta
- Máquinas herramienta con escasa rigidez
- Pieza de paredes delgadas

En la clasificación de las herramientas de corte, los términos “mecanizado pesado” o “mecanizado de carga pesada” se utilizan incorrectamente. Además, a veces estos dos términos se consideran erróneamente como sinónimos. En principio, “mecanizado pesado” se refiere a piezas pesadas de gran tamaño mecanizadas en máquinas de gran potencia, a las dimensiones y masa de la pieza. “Carga pesada” especifica el grado de carga sobre la herramienta, se trata del modo de mecanizado.

## Regla de Oro para Ingenieros de Producción, Planificadores de Procesos y Operarios

¡Evitar el mecanizado pesado en condiciones desfavorables, especialmente si el sistema tecnológico es inestable!

En definitiva, una descripción general de las condiciones de corte depende de diferentes aspectos difíciles de definir. En muchos casos, la búsqueda de estos parámetros para una operación de mecanizado específica se basa en lo que el usuario considera como condiciones de corte ligeras, medias o pesadas.

En el movimiento primario, los puntos del filo de corte de la herramienta se mueven con velocidades adecuadas, siendo la máxima la velocidad de corte  $v_c$ . Por ejemplo, para taladrar un agujero con una broca que gira a una velocidad de rotación  $n$ , la velocidad de corte es la velocidad tangencial en el punto más alejado del eje de la herramienta (en el diámetro máximo) (Fig. 7.1). De hecho, es la velocidad lineal relativa entre la herramienta de corte y la superficie mecanizada de una pieza, en el punto de contacto.

Para un cuerpo rotativo de diámetro  $R$ , la velocidad tangencial se define con la siguiente ecuación:

$$v = \omega \times R \quad (7.1)$$

donde  $\omega$  es la velocidad angular en radianes por segundo (s<sup>-1</sup>)

En mecanizado, la velocidad angular se expresa en revoluciones por minuto (RPM, rpm), en lugar de radianes por segundo, y la velocidad de corte en metros por minuto (m/min).

$v_c$  se puede calcular de la siguiente manera:

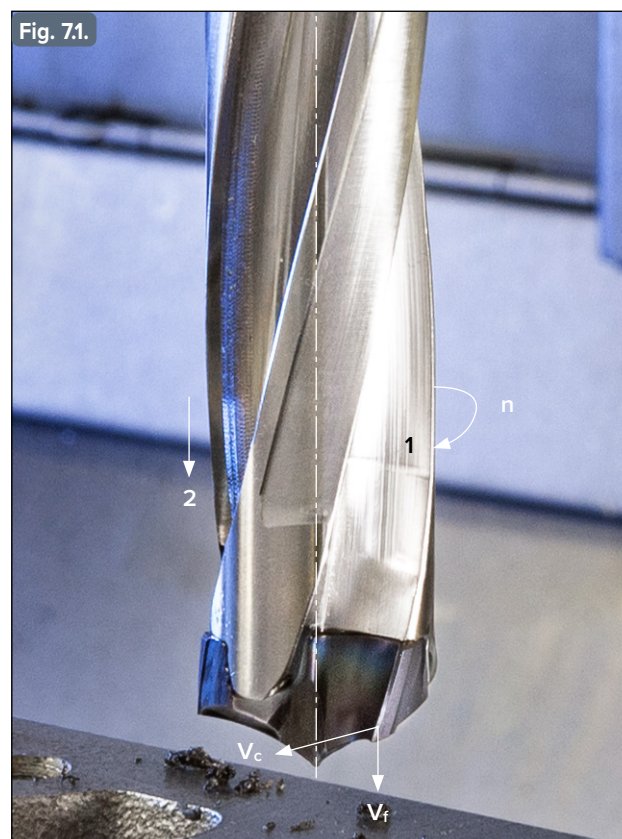
$$V_c = \pi \times d \times n / 1000 \text{ m/min} \quad (7.2a)$$

y

$$v_c = \pi \times d \times n / 12 \approx d \times n / 3.82 \text{ sfm} \quad (7.2b)$$

$d$  es el diámetro de la parte rotativa del sistema, ya sea la herramienta (en fresado, taladrado, etc.) o la pieza (en torneado), expresado en mm (ecuación 7.2)

Dado que tanto la herramienta rotativa como la pieza están montadas en un husillo de la máquina (que es una pieza diseñada para transmitir el par), a la velocidad de rotación se le suele denominar velocidad del husillo.



**Movimientos y velocidades en taladrado**  
 1 – Movimiento primario (rotación de la broca con velocidad angular  $n$ )  
 2 – Movimiento de avance (movimiento rectilíneo de la broca a lo largo de su eje)  
 $V_c$  – velocidad de corte,  $v_f$  = velocidad de avance

Existe otra velocidad, la de avance  $v_f$ , que determina el movimiento de avance. Es decir, se trata de la velocidad a la que la herramienta avanza a través de la pieza. El avance es la distancia que recorre un punto del filo de corte a lo largo de la trayectoria del movimiento de avance durante un ciclo (una vuelta de la herramienta en fresado o de la pieza en torneado o una pasada en perfilado, son ejemplos de ciclos). En el caso de taladrado, un ciclo es una vuelta de la broca.

Dado que el avance se produce durante una vuelta de la herramienta o de la pieza, se denomina avance por vuelta, y se designa con la letra  $f$  o, más raramente,  $f_r$ . El avance por vuelta es un parámetro muy utilizado en procesos de mecanizado como torneado, taladrado, avellanado, etc.

### Terminología

En América del Norte, normalmente se utiliza el término “índice de avance” en lugar de la denominación ISO “velocidad de avance”. A esta velocidad también se le denomina “avance por diente” y “avance por minuto”, y los fabricantes la llaman “avance de mesa”.

El término original proviene de cuando el movimiento de avance se generaba por los movimientos de la mesa de una máquina clásica.

En procesos como perfilado, planeado y ranurado, el movimiento de avance consta de dos pasadas, hacia delante (corte) y de vuelta, y se les denomina procesos de doble pasada  $f_s$  (a veces se omite la palabra “doble”), aunque en muchos casos también se denomina  $f$ .





En herramientas de corte con múltiples dientes o labios, se utiliza el avance por diente  $f_z$ , que es el que corresponde a la rotación de un paso angular de un diente o labio de la herramienta.

Es fácil ver que

$$f = f_z \times z \quad (7.3)$$

donde  $z$  es el número de dientes (labios) de la herramienta

Además,

$$v_f = f \times n \quad (7.4)$$

y

$$v_f = f_z \times z \times n \quad (7.5)$$

**Ejemplo:** Se utiliza un escariador con una cabeza de metal duro de 8 labios para un agujero pasante de  $\varnothing 32H7$  mm en una pieza de acero con una dureza de 51-53 HRC. El fabricante del escariador recomienda las siguientes condiciones de corte iniciales:

$V_c = 40$  m/min y  $f_z = 0.1$  mm/diente.

Buscar la velocidad del husillo y de avance.

De las ecuaciones (7.5) y (7.2):

$$\begin{aligned} n &= 1000 \times v_c / (\pi / d) = 1000 \times 40 / (\pi / 32) \\ &= 398 \text{ (rpm)}. \quad v_f = f_z \times z \times n \\ &= 0.1 \times 8 \times 398 = 318.4 \text{ (mm/min)} \end{aligned}$$

·  
·

## ¿Carga de Virutas o Avance?

En fresado, el término “carga de viruta” se suele considerar como sinónimo de “avance por diente”, sobre todo en américa del norte. Sin embargo, el sinónimo correcto de “carga de viruta” es “espesor de viruta”. En taller, cuando se dice “carga de viruta” suelen referirse al espesor máximo de viruta.

La profundidad de corte  $a_p$  es otro parámetro de corte que indica la distancia entre la superficie mecanizada y sin mecanizar de una pieza, y se mide en la dirección de una normal a la superficie mecanizada (Fig. 7.2). En la práctica, es la distancia que se adentra el filo de corte en la pieza. La profundidad de corte se conoce a menudo con la abreviatura DOC.



Profundidad de corte en torneado

Si  $D$  y  $D_1$  son los diámetros de las superficies mecanizada y sin mecanizar respectivamente,  $a_p$  en operaciones de torneado longitudinal exterior se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$a_p = (D_1 - D) / 2 \quad (7.6a)$$

En mandrinado (torneado interior), el diámetro del agujero mecanizado es mayor que el del agujero a mecanizar, por lo que la ecuación anterior queda como sigue:

$$a_p = (D - D_1) / 2 \quad (7.6b)$$

En operaciones de tronzado, la profundidad de corte es igual al ancho del filo de corte.

En ranurado, la profundidad de corte es el ancho de la ranura producida de una sola pasada. Si el ancho de la ranura es igual que el del filo de corte y la ranura se genera de una sola pasada, entonces la profundidad de corte es el ancho del filo.

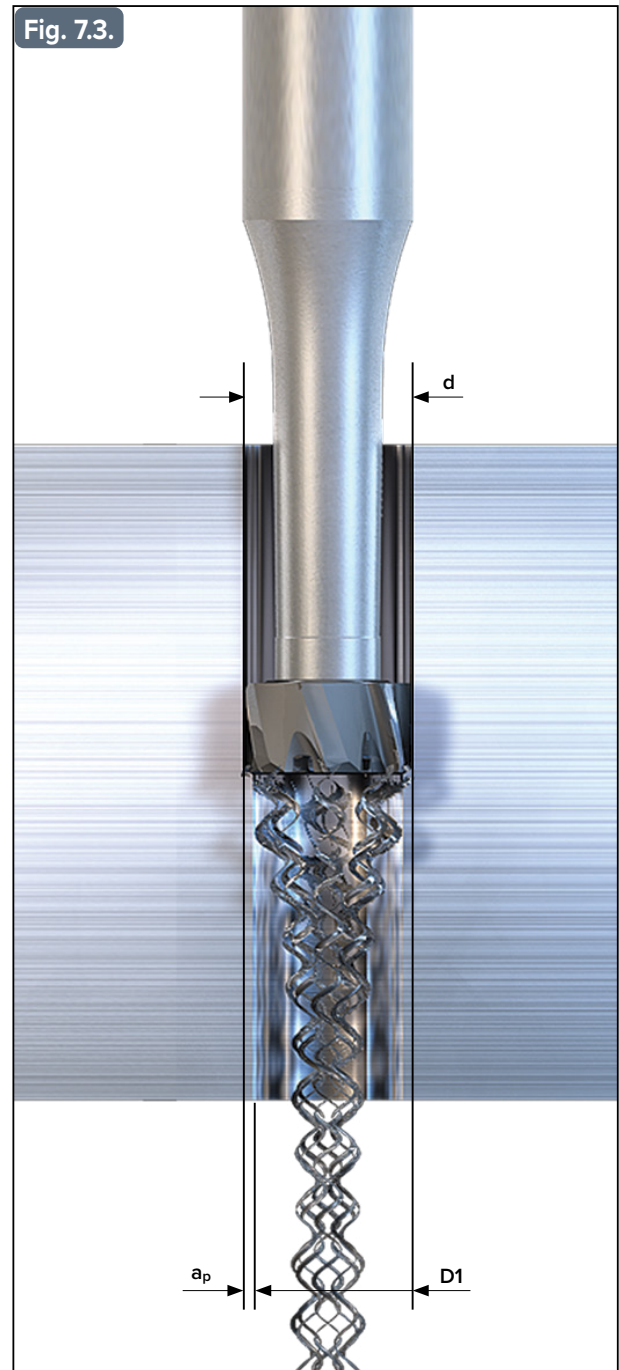
Para operaciones de avellanado y escariado (Fig. 7.3), la profundidad de corte se calcula con la siguiente ecuación:

$$a_p = (d - D_1) / 2 \quad (7.6c)$$

$d$  es el diámetro de la herramienta

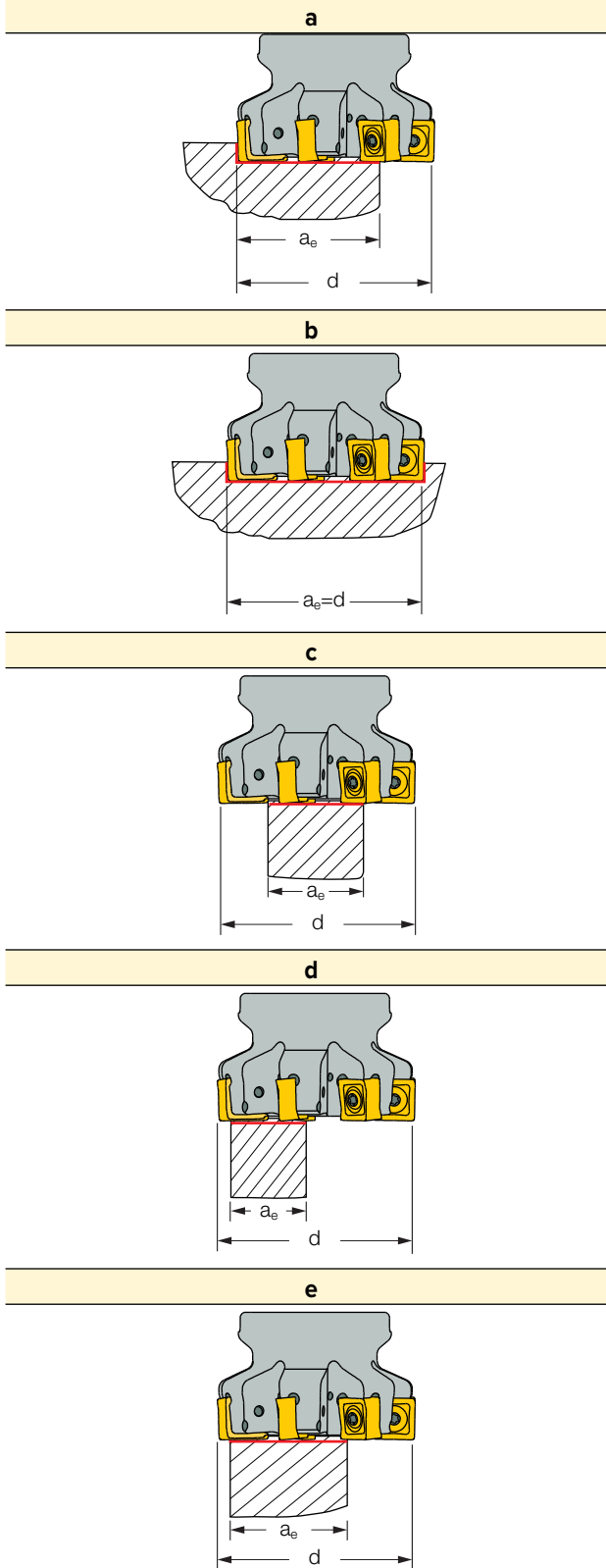
Una fresa típica extrae material con dos partes a la vez: la cara frontal y la periférica. Por tanto, en fresado la profundidad de corte depende de dos parámetros que se miden en dos direcciones diferentes:

- La profundidad de corte axial  $a_p$ , medida a lo largo del eje de la herramienta
- La profundidad de corte radial  $a_e$ , medida radialmente en el fresado de superficies, escuadras y ranuras. Es más conocida como ancho de corte, que es el ancho de la capa de material extraída de una sola pasada (Fig. 7,4).



Profundidad de corte en escariado

Fig. 7.4.



Profundidad y ancho de corte en fresado

## Solape y Penetración

El solape y la penetración suelen identificarse con ancho y profundidad de corte. En operaciones de mecanizado de múltiples pasadas, los dos términos se refieren a la distancia entre dos pasadas contiguas.

“Solape” indica la distancia que recorre lateralmente la herramienta para realizar la siguiente pasada, mientras que “penetración” hace referencia a la distancia que tiene que bajar la herramienta para la siguiente pasada. A veces se les denomina “paso lateral” y “paso hacia abajo”, pero es menos frecuente.

El margen de mecanizado (creces de mecanizado o material excedente) es el espesor de la capa de material que hay que eliminar mediante el mecanizado. El margen puede ser total o del proceso. El margen del proceso se refiere al material extraído en un proceso específico, como la fase de torneado, de fresado, etc., y el margen total hace referencia a todo el material eliminado durante la fabricación de una pieza. El margen total incluye los márgenes de todos los procesos de mecanizado necesarios para producir una pieza. Los márgenes de proceso se pueden dividir en los de determinadas operaciones de dicho proceso, por ejemplo: torneado de desbaste, de semiacabado o acabado. Estas operaciones se pueden realizar con una o varias herramientas.

## Planificación del Proceso

La determinación del margen (o creces) del mecanizado es una de las tareas más importantes de la planificación del proceso de mecanizado – un sector de la ingeniería de fabricación que tiene por objeto especificar y detallar los procesos de mecanizado y sus operaciones para garantizar la fabricación eficiente de una pieza, utilizando las mejores capacidades tecnológicas disponibles, como máquinas, útiles, herramientas de corte, sistemas CAD/CAM, etc.

Los márgenes del mecanizado están relacionados con la herramienta de corte específica para la aplicación. Dependiendo de los requisitos de precisión y acabado superficial y de las posibles limitaciones de la herramienta (por ejemplo, que la profundidad de corte máxima permitida por la herramienta sea menor que el margen del mecanizado), la extracción de metal se realizará de una o múltiples pasadas.

A la hora de definir las condiciones de corte para el mecanizado de una pieza de un material determinado en una máquina dada, hay que seguir ciertos principios. En mecanizado de desbaste, la profundidad de corte debe ser lo mayor posible, preferiblemente será igual que el margen máximo de la operación. Este mismo principio es aplicable al avance, que será el más alto que permitan las limitaciones técnicas, como potencia de la máquina, condiciones de corte, resistencia de la herramienta, etc.

En el mecanizado de acabado, los factores clave para determinar la profundidad de corte y el avance son los requisitos de precisión y acabado superficial y la calidad superficial obtenida en la operación anterior. La velocidad de corte depende de las características del material de corte, de las condiciones de corte, del tipo de mecanizado y de la duración estimada de la herramienta.

La evolución de las tecnologías de precisión para dar forma a los metales, como la fundición y el forjado de precisión y la impresión 3D, pueden dar a la pieza una forma muy próxima al perfil final, por lo que los procesos tradicionales de extracción de viruta han disminuido significativamente. Como resultado, las necesidades de operaciones de mecanizado en los procesos de ingeniería están cambiando. Es de esperar que el mecanizado productivo y preciso, con pequeños márgenes y altas velocidades y avances crezca sustancialmente, y las industrias metalúrgicas necesitarán una amplia gama de herramientas que sean más precisas y duraderas.

## Parámetros de Corte en Función de las Condiciones de Corte

Las condiciones de corte influyen directamente en los parámetros de corte. En general, entre estas dos variables hay una relación muy simple: condiciones de corte más duras equivalen a parámetros de corte más pequeños.

# Cálculos de Mecanizado

## Índice de Extracción de Metal, Fuerzas de Corte y Consumo de Potencia

El índice de extracción de material Q, el volumen de material que la herramienta extrae por unidad de tiempo, es un indicador clave de la productividad del mecanizado. Cuanto mayor sea el valor de Q, mayor es la productividad. El cálculo del índice de extracción de material depende del proceso de mecanizado.

### MRR: ¿Material o Metal?

Debido a que tradicionalmente los principales materiales de ingeniería eran metales, con frecuencia al índice de extracción de material se le denomina índice de extracción de metal.

Por ejemplo, en torneado:

$$Q = v_c \times a_p \times f \quad (8.1)$$

Y en fresado:

$$Q = a_p \times a_e \times v_f \quad (8.2)$$

Las unidades de MRR en el sistema métrico son mm<sup>3</sup>/min o cm<sup>3</sup>/min

En taladrado

$$Q = v_c \times a_p \times f_z \quad (8.3)$$

Ya que  $a_p = d/2$  y  $f_z = f/z$   
(ver el apartado anterior)

$$Q = v_c \times a_p \times f_z = \pi \times d \times n \times d / 2 \times f / z = \pi \times d^2 / (2 \times z) \times n \times f = \pi \times d^2 / (2 \times z) \times v_f$$

Para una broca de dos labios,  $z = 2$

$$Q = \pi \times d^2 / 4 \times v_f \quad (8.3a)$$

### Cálculos de Mecanizado: Concordancia de las Unidades

A la hora de realizar los cálculos, se debe prestar atención a la concordancia de las unidades de medida de las variables de la ecuación. No se pueden mezclar unidades discordantes, ya que el resultado sería erróneo. Por ejemplo, si para calcular el MRR utilizamos los valores de profundidad y ancho de corte en mm y la velocidad de corte dada está en m/min, el resultado será un grave error.

**Ejemplo:** Calcular el MRR para una operación de mecanizado utilizando una fresa hueca, dados los siguientes datos:

- Profundidad de corte= 5 mm
- Ancho de corte= 180 mm
- Velocidad de corte= 120 m/min
- Avance= 0,25 mm/diente

De las ecuaciones (7.5) y (7.2), tenemos:  
 $v_f = f_z \times z \times n$  y  $n = 1000 \times v_c / (\pi \times d)$ .

$$n = 1000 \times 120 / (\pi \times 250) = 153 \text{ (rpm)}$$

$$v_f = 0.25 \times 10 \times 153 = 382.5 \text{ (mm/min)}$$

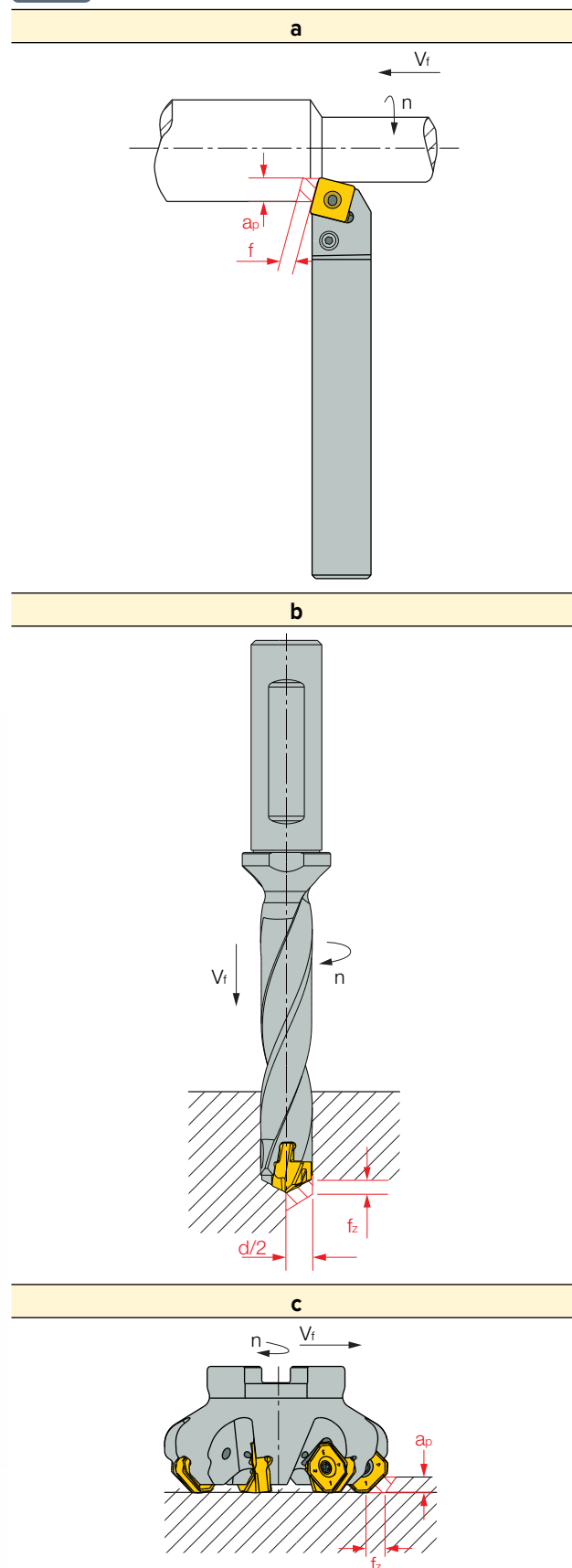
Utilizando la ecuación (8.2)

$$Q = a_p \times a_e \times v_f = 5 \times 180 \times 382.5 = 344250 \text{ (mm}^3\text{)} = 344.25 \text{ cm}^4$$

·  
·

Según la ecuación (8.1), el producto de  $a_p$  por  $f_z$  define el área de la capa de material arrancada, como puede verse en el ejemplo de una operación de torneado en la Fig. 8.1, donde el área de material extraído está marcada en rojo.

Fig. 8.1.



Área de la capa de material eliminada en torneado (a), taladrado (b) y fresado (c).



Así pues, el índice de extracción de metal es una importante variable del mecanizado que refleja la productividad. Sin embargo, este índice no está aislado de otros parámetros del proceso, como la duración de la herramienta. No tiene sentido mecanizar con un índice de extracción muy alto si la herramienta se rompe nada más iniciar el corte, debido a la pesada carga causada por valores extremos de avance y velocidad. Otro de estos parámetros es el consumo de potencia.

Durante el mecanizado, la herramienta, que entra en el material de la pieza, experimenta la acción de la fuerza de resistencia del material. Esta fuerza es conocida como fuerza de corte total o resultante, y su magnitud y dirección dependen del proceso de mecanizado, de la maquinabilidad del material, de las condiciones de corte y de la geometría de corte de la herramienta. En sistemas de coordenadas rectangulares, la fuerza de corte resultante  $F$  tiene tres componentes:

- Fuerza de corte tangencial  $F_t$
- Fuerza de corte radial  $F_r$
- Fuerza de corte axial  $F_a$

Las palabras “de corte” en la denominación de una componente de una fuerza se omiten habitualmente.

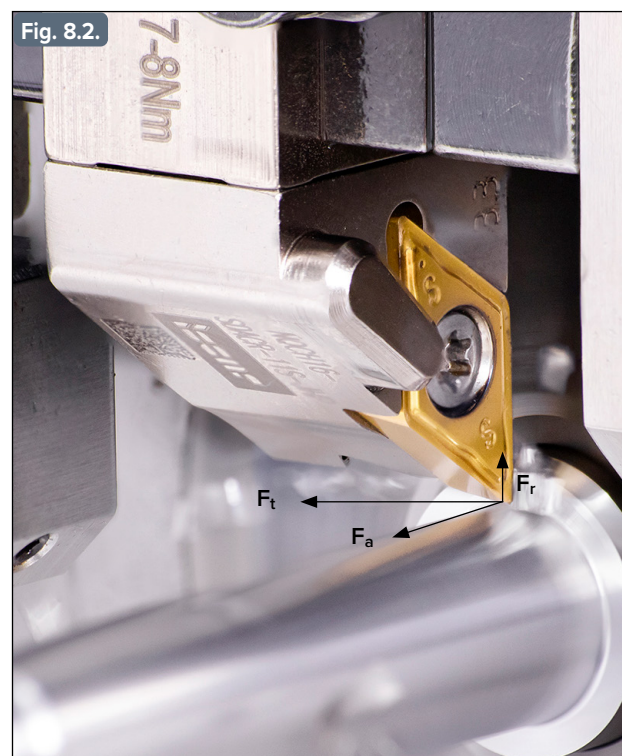
Las fuerzas de corte tangencial, radial y axial suelen designarse como  $F_z$ ,  $F_y$  y  $F_x$  respectivamente.

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_r^2 + F_a^2} \quad (8.4)$$

El efecto de las fuerzas sobre la herramienta es diferente para cada tipo de mecanizado, y la relación las magnitudes de dichas fuerzas entre sí es variable.

En operaciones de mecanizado cuyo movimiento primario es de rotación, la fuerza tangencial  $F_t$  es la mayor de las tres componentes, se le considera como la principal componente, y determina el par y consumo de potencia necesarios para una acción de corte.

En torneado (Fig. 8.2), la fuerza radial  $F_r$ , dirigida radialmente desde el eje de rotación de la pieza, empuja a la herramienta para alejarla de la pieza. Este empuje puede producir vibraciones que afectan a la precisión y al acabado superficial. La fuerza axial  $F_a$ , con dirección longitudinal paralela al eje de rotación, actúa contra el avance. En torneado a esta fuerza se le denomina “longitudinal”.



Fuerzas de corte en torneado

En fresado (Fig. 8.3), igual que en torneado, la fuerza radial  $F_r$  empuja la herramienta para alejarla de la pieza. La fuerza resultante  $F_b$  de  $F_r$  y  $F_t$ , llamada fuerza de flexión, causa el pandeo de la fresa. La proyección de esta resultante sobre el eje del movimiento de avance forma la fuerza de reacción generada por el accionamiento de avance de la máquina. La fuerza axial  $F_a$ , que actúa a lo largo del eje de la fresa, incide sobre los rodamientos del husillo.



Fuerzas de corte en fresado

En taladrado (fig. 8.4), la fuerza axial  $F_a$  corresponde a los filos (labios) principales. Esta fuerza comprime la broca a lo largo de su eje y, junto con la fuerza  $F_{ch}$  (la que actúa sobre el desahogo del filo), determina el consumo de potencia de un dispositivo de avance.



Fuerzas de corte en taladrado

El cálculo de las fuerzas de corte es fundamental para determinar la máquina herramienta, el sistema de fijación de la pieza y la herramienta y el comportamiento estático y dinámico de la herramienta, y para realizar un análisis de la rigidez del sistema tecnológico completo, compuesto por la máquina, la herramienta, las fijaciones y la pieza.

Las fuerzas de corte se calculan mediante ecuaciones empíricas. Cuantos más factores se tengan en cuenta, más complejas son las ecuaciones. Otro planteamiento es el basado en la relación entre fuerzas. En función del proceso de mecanizado, las fuerzas tienen relación entre ellas. Esta relación sería:

$$F_t:F_a:F_r=1:x:y \tag{8.5}$$



Los coeficientes  $x$  e  $y$  dependen de varios factores, como las operaciones de mecanizado, la geometría y el material de corte, entre otros. En la práctica, los valores medios de  $x$  e  $y$  se utilizan con buenos resultados. Por tanto, una vez conocida la fuerza tangencial  $F_t$ , componente principal de la fuerza de corte total, las otras componentes se calculan fácilmente con la ecuación (8.5).

Para calcular la fuerza tangencial  $F_t$  se utiliza un método basado en los valores de la fuerza específica de corte. La fuerza de corte específica real  $k_c$  es la fuerza necesaria para extraer una viruta de material con un área de  $1 \text{ mm}^2$ , que es el espesor medio de viruta, denominado  $hm$ .

$$K_c = k_{c1} \times hm^{-mc} \quad (8.6)$$

donde  $k_{c1}$  es la fuerza de corte específica para extraer  $1 \text{ mm}^2$  de viruta de  $1 \text{ mm}$  de espesor.

$mc$  es el factor de espesor de viruta, que indica la relación entre  $k_c$  y  $k_{c1}$  cuando dicho espesor varía  $1 \text{ mm}^2$ .

$k_{c1}$  y  $mc$  son características del material a mecanizar calculadas en base a los resultados de pruebas realizadas. El análisis de los datos empíricos ha permitido determinar estas constantes como los valores medios de cada uno de los grupos de materiales. En diversas publicaciones de datos de mecanizado,  $k_{c1}$  se refiere al mecanizado de un material utilizando una herramienta de corte con ángulo de desprendimiento cero ( $\gamma=0^\circ$ ). Si el desprendimiento real es significativamente diferente de cero, la ecuación se corrige de la siguiente manera:

$$K_c = k_{c1} \times hm^{-mc} \times (1 - \gamma/100) \quad (8.7)$$

Conociendo la fuerza específica y el área de la sección transversal de la capa de material eliminado  $A$ , la fuerza tangencial se puede determinar fácilmente.

**Ejemplo:** Utilizamos una fresa a  $90^\circ$  para mecanizar una escuadra con una sección transversal de  $4 \text{ mm} \times 9,5 \text{ mm}$  en una pieza de acero de alta aleación recocido AISI H13 (DIN W.-Nr. 1.2344). El ángulo de desprendimiento de la fresa es  $10^\circ$ . Necesitamos saber la fuerza de corte tangencial para mantener un espesor medio de viruta de  $0,1 \text{ mm}$ .

Según el apartado de Materiales y Calidades del Catálogo de Fresado de **ISCAR**, el material mecanizado pertenece a un grupo con

$$K_{c1} = 2450 \text{ N/mm}^2 \text{ y } mc = 0,23$$

Fuerza de corte real, según la ecuación (8.7:  $k_c = 2450^{0,23} \times 0,1^{-0,23} \times (1 - 0,1) = 3745 \text{ N/mm}^2$

### Prevención de Errores: Fuerza de Corte Específica

En la documentación técnica, la fuerza de corte específica real puede designarse por  $k_{c1}$ , y la fuerza de corte específica para eliminar un área de viruta de material de  $1 \text{ mm}^2$  con  $0,1 \text{ mm}$  de espesor por  $k_{c1.1}$ . El número "1" que sigue al índice "c" se refiere a un área de viruta de  $1 \text{ mm}^2$ , y la adición "1.1" indica "un área de viruta de  $1 \text{ mm}^2$  con  $0,1 \text{ mm}$  de espesor". ¡¡No confundir!!.

La fuerza de corte tangencial nos permite calcular el consumo de potencia P y, por consiguiente, la potencia que debe tener el husillo principal de la máquina.

$$P = F_t \times v_f = A \times k_c \times v_f \quad (8.9)$$

Si a y b son la profundidad y el ancho de corte de la sección transversal de la capa de material eliminada, se puede aplicar la siguiente fórmula de conversión de unidades:

$$P = (a \times b \times k_c \times v_f) / (6 \times 10^7) \text{ kW} \quad (8.10a)$$

donde a y b se expresan en mm,  $K_c$  en  $N/mm^2$  y  $v_f$  en mm/min

$$P = (a \times b \times k_c \times v_f) / (12 \times 33000) = (a \times b \times k_c \times v_f) / 396000 \text{ hp} \quad (8.10b)$$

$$P = (a \times b \times k_c \times v_f) / (12 \times 33) = (a \times b \times k_c \times v_f) / 396 \text{ hp} \quad (8.10c)$$

**Volvamos al ejemplo anterior:** Calcular el consumo de potencia si la fresa es de 4 labios y 16 mm de diámetro, la velocidad de corte es 120 mm/min y el avance 0,1 mm/diente.

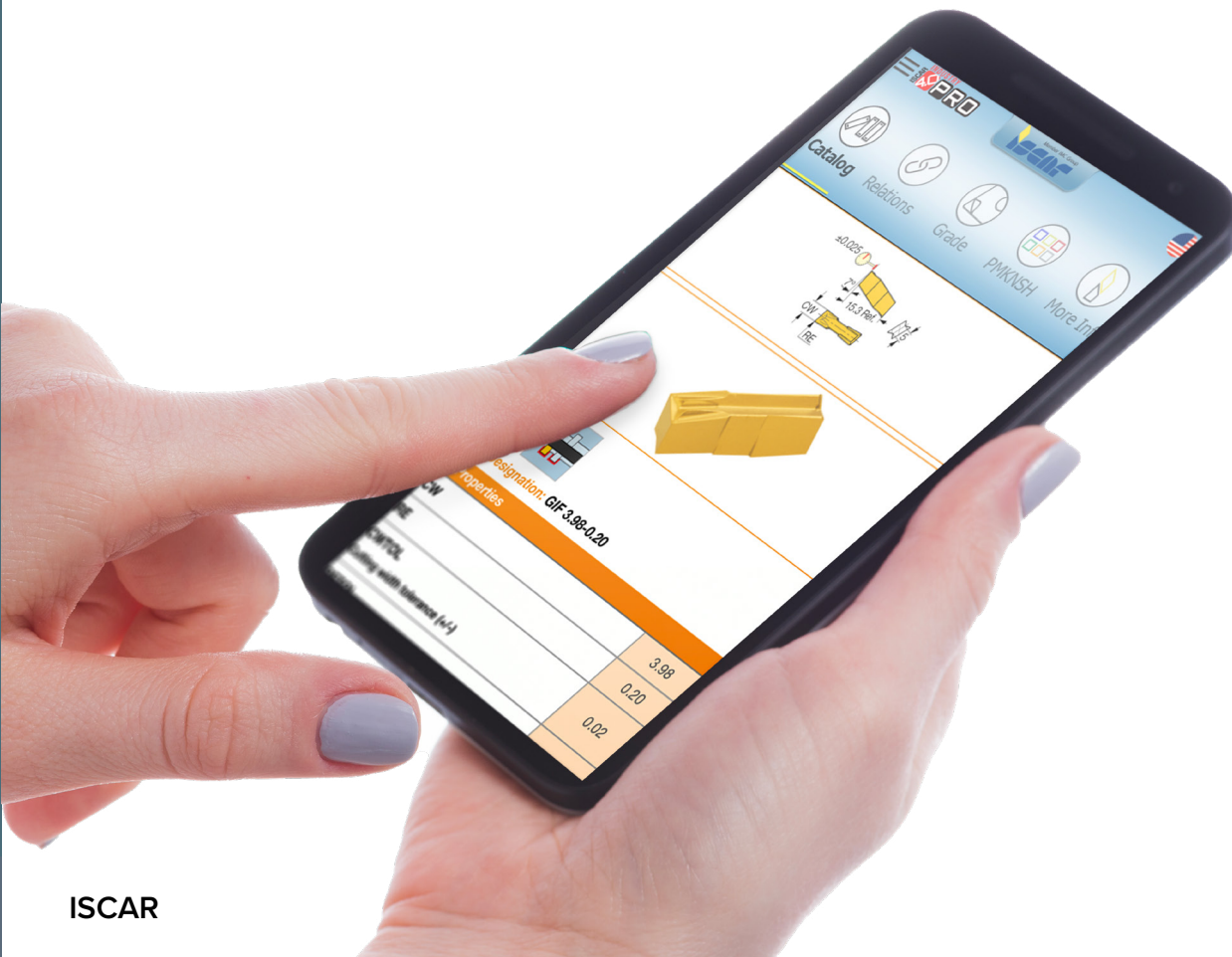
Utilizamos una fresa a 90° para mecanizar una escuadra con una sección transversal de 4 mm x 9,5 mm en una pieza de acero de alta aleación recocido AISI H13 (DIN W.-Nr. 1.2344). El ángulo de desprendimiento de la fresa es 10°. Para saber la fuerza de corte tangencial para mantener un espesor medio de viruta de 0,1 mm:

Con la ecuación (7.2) calculamos la velocidad del husillo:

$$n' = (1000 \times 120) / (\pi \times 16) = 2387 \text{ (rpm)}$$

### Prevención de Errores: Factor K

El factor K también se refiere al factor de forma del filo de corte, que refleja la simetría de un filo de corte redondeado.



El consumo de potencia también se puede calcular utilizando el factor unitario de potencia (factor específico de potencia) K, que define la potencia necesaria para mecanizar un material específico con un índice de extracción de material de una unidad de volumen por minuto, por ejemplo, 1 cm<sup>3</sup>/min.

$$P=Q \times K \quad (8.11)$$

donde Q es el índice de extracción de metal en cm<sup>3</sup>/min y K el factor de unidad de potencia en kW/ cm<sup>3</sup>/min

**Ejemplo:** Utilizamos los ejemplos anteriores en torneado. Una guía de referencia recomienda utilizar K=0.042 kW/ c<sup>m3</sup>/min para aceros con dureza entre 280 y 320 HB.

Utilizando la ecuación (8.2)

$$Q' = a_p \times a_e \times v_f = 4 \times 9.5 \times 954.8 = 36282 \text{ (mm}^3/\text{min)} = 36.28 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Según la ecuación (8.11)

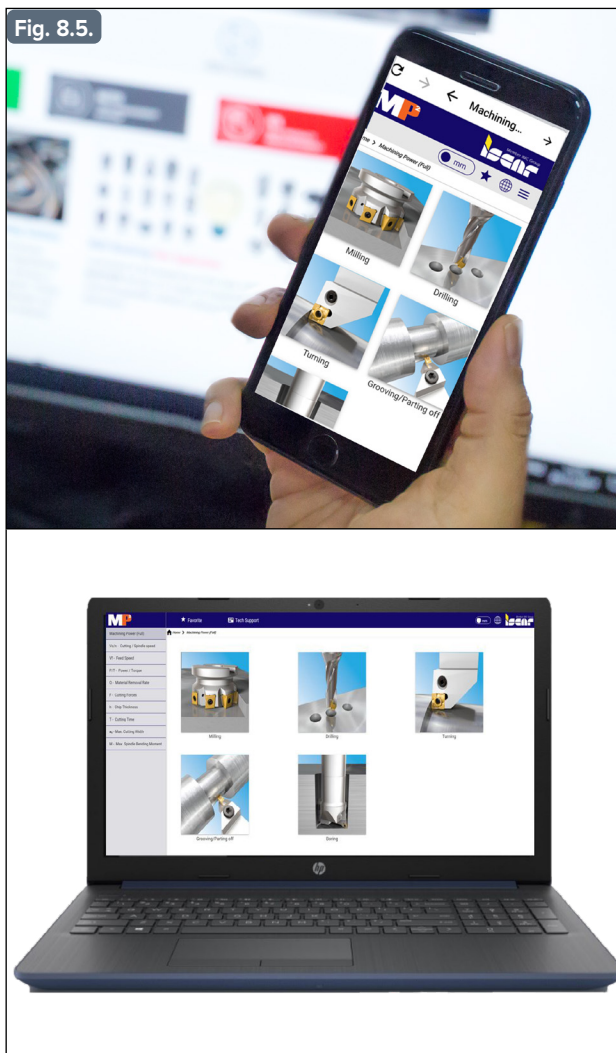
$$P' = Q' \times K = 36.28 \times 0.042 = 1.52 \text{ (kW)}$$

## Precisión en los Cálculos

Los dos últimos ejemplos muestran los resultados de los cálculos de consumo de potencia, realizados por dos métodos diferentes, y podemos ver que varían notablemente, con una diferencia del 30%. Esto pone de manifiesto la importancia de considerar que los materiales se pueden clasificar según las fuerzas de corte o el factor específico de potencia, dependiendo de su contenido y propiedades mecánicas, para obtener resultados precisos.

## Calculadora ISCAR de Potencia de Mecanizado

La informatización del mecanizado de metales ha ampliado las posibilidades de realizar cálculos de ingeniería precisos. El software avanzado permite realizar complicados modelos empíricos que generan nuevos niveles de cálculo. La Calculadora de Potencia de Mecanizado de ISCAR es capaz de calcular el consumo de potencia, las fuerzas de corte, el momento de flexión, las variaciones de carga, gráficos y otros parámetros importantes en el mecanizado. Esta Calculadora está disponible para PC y dispositivos móviles.



La aplicación Calculadora ISCAR de Potencia de Mecanizado está disponible en versión para PC y para dispositivos móviles.

# Plaquetas Intercambiables

La industria comenzó a utilizar plaquetas de metal duro para mecanizado en la década de 1930, y desde entonces el metal duro se ha convertido en el material más utilizado para la fabricación de herramientas de corte, con diferencia. Algunas herramientas de tamaño relativamente pequeño se fabricaban íntegramente en metal duro y mientras que otras sólo presentaban metal duro en el elemento de corte. Inicialmente, la zona de corte consistía en una punta de metal duro soldada al cuerpo de la herramienta. Pero, en la década de 1940, los fabricantes empezaron a producir de herramientas de corte formadas por segmentos de metal duro montados en el cuerpo de la herramienta con fijación mecánica.

Esta inteligente e innovadora solución y las fijaciones mecánicas, que ofrecen una rigidez y resistencia mucho mayor que las conexiones soldadas anteriores, se consideran actualmente como dos excepcionales logros en el campo de la fabricación de herramientas, que han mejorado la eficiencia de todas las industrias del metal.

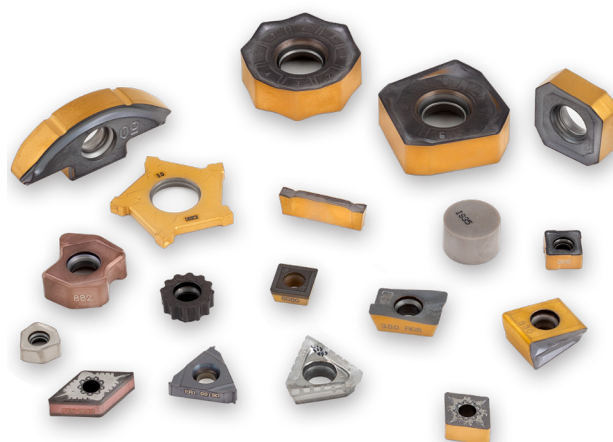
Este importante avance dio lugar a impresionantes incrementos en la productividad de las operaciones de mecanizado. Permitted aumentar la carga sobre la herramienta y los índices de extracción de material operacionales de inmediato. Además ser un sistema extremadamente rentable, que garantiza la sustitución simple y económica del elemento de corte en caso de desgaste o rotura, también permite fabricar el segmento de corte y el cuerpo de la herramienta por separado.

Es posible realizar una rápida sustitución de una arista de corte gastada mediante diferentes métodos, dependiendo de la forma de las plaquetas utilizadas, como puede ser girando la plaqueta sobre su eje o dándole la vuelta. Al principio, a los nuevos segmentos de corte tenían varias denominaciones, como plaquetas desechables, reemplazables o sustituibles, pero, a partir de la década de 1960, se utiliza ampliamente el término genérico “plaquetas intercambiables”.

Las plaquetas intercambiables (Fig. 9.1), con diferentes dimensiones y precisión, se pueden clasificar atendiendo a diferentes características, como:

- Material de corte
- Forma
- Perfil de la sección transversal
- Con y sin agujero
- Una y dos caras entre otras

Fig. 9.1.



Hay una gran variedad de formas y tamaños de las plaquetas intercambiables

**Material de corte**

Las mayor parte de las plaquitas intercambiables se fabrican en calidad de metal duro, aunque también hay un número importante de plaquitas fabricadas en cerámicas, cermet y nitruro de boro cúbico (CBN). Cuando se utiliza el diamante policristalino (PCD) como material de corte, la base es una plaquita de metal duro cuyas puntas se recubren con el costoso PCD (Fig. 9.2). Por este mismo motivo, también existen plaquitas con puntas recubiertas de CBN.

Fig. 9.2.



**Plaquetas Intercambiables con Punta PCD**

**Forma de la Plaquita**

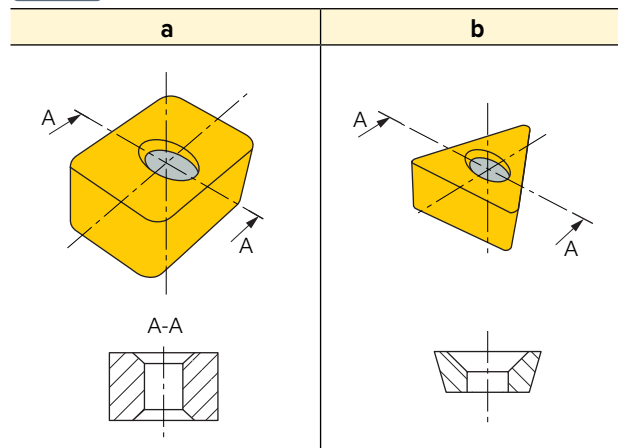
Una plaquita tiene varias caras: superior, inferior y lateral o periferia. Al menos una de las dos superficies superior e inferior se cruza con la lateral, formando el filo de corte. La vista de planta de la plaquita muestra la cara superior, delimitada por los filos de corte, que forman el contorno de la plaquita. Esta vista determina la forma de la plaquita, que puede ser poligonal, redonda o con un perfil complejo.

La forma de la plaquita depende de los diferentes compromisos irrenunciables del diseño, como los requisitos del proceso de mecanizado, la geometría de corte óptima, maximizar el número de filos de corte intercambiables, el uso eficiente de los materiales de corte, el principio de fijación, etc.

**Perfil de la Sección Transversal**

Según el perfil de su sección transversal, las plaquitas pueden ser positivas o negativas (Fig. 9.3). Las plaquitas positivas tienen la cara lateral inclinada con respecto a la inferior un ángulo inferior a 90°, mientras que en las negativas, este ángulo es de 90°. Por tanto, en las plaquitas positivas la cara inferior es más pequeña que la superior, y en las negativas son iguales. Este ángulo de inclinación se denomina ángulo de incidencia o, simplemente, incidencia de la plaquita.

Fig. 9.3.

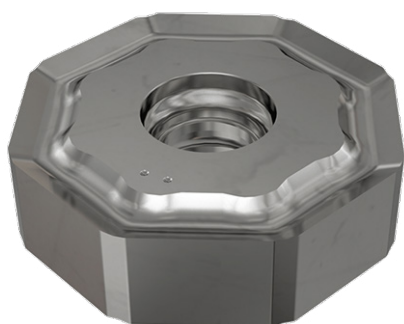


Plaquita negativa (a) y positiva (b)

Cada una de las formas presenta ventajas e inconvenientes. Por ejemplo, la forma negativa permite que la plaquita tenga filos de corte superiores e inferiores, por lo que, al aumentar el número de filos, la plaquita es más rentable (Fig. 9.4).

Por otro lado, un perfil positivo permite más opciones para optimizar la geometría de corte y garantizar un desprendimiento positivo de la herramienta en dirección radial y axial.

Fig. 9.4.



Plaquita negativa de doble cara ONHU 0806 con 16 filos de corte

Fig. 9.5.



Plaquita positiva de una cara HM390 TDKT 1907 con tres filos de corte.

## Prevención de Errores: Plaquetas Positivas

El término “plaqueta positiva”, inicialmente relacionado con el perfil de la sección transversal de la plaqueta, tiene otro significado. Este término se utiliza también para especificar las plaquetas cuya cara superior está considerablemente inclinada con respecto a su filo de corte. Cuando se monta en una herramienta, forma un ángulo de desprendimiento positivo. Los avances en pulvimetalurgia permiten fabricar plaquetas con una inclinación más pronunciada. Esto da lugar a un significativo incremento en el desprendimiento de una herramienta con plaquetas intercambiables. El término “plaqueta muy positiva” indica esta característica. Es importante tener en cuenta que esta definición se corresponde con el estado actual de la tecnología. Es decir, lo que hoy consideramos como “muy positivo”, mañana puede ser “normal”.

### Agujero Central

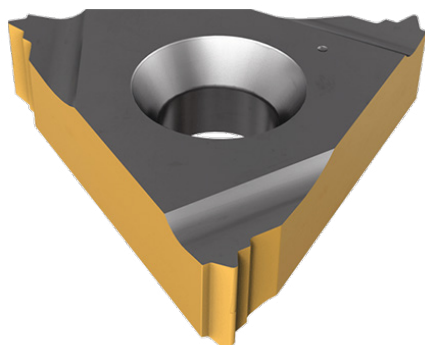
Las plaquitas intercambiables pueden estar diseñadas con y sin agujero central.

Fig. 9.6.



Plaquita con agujero completamente cilíndrico

Fig. 9.7.



Plaquita con agujero avellanado

### Plaquetas de Una y Dos Caras

En plaquetas de una sola cara, sólo tiene filos de corte la cara superior (Fig. 9.5). Las plaquetas de doble cara, de forma negativa, permiten filos de corte tanto en la cara superior como en la inferior (Fig. 9.4). En plaquetas de doble cara, un filo de corte gastado se sustituye dándole la vuelta a la misma plaqueta, sin necesidad de sustituirla. Por tanto, a las plaquetas de doble cara también se les llama “reversibles”.

### Montaje de la Plaqueta

Una plaqueta intercambiable monta en una cavidad con una forma específica que hay en el cuerpo de la herramienta y que se denomina “asiento de la plaqueta” (Fig. 9.8). Esta cavidad está formada por una base y unas paredes que sujetan la parte inferior de la plaqueta.

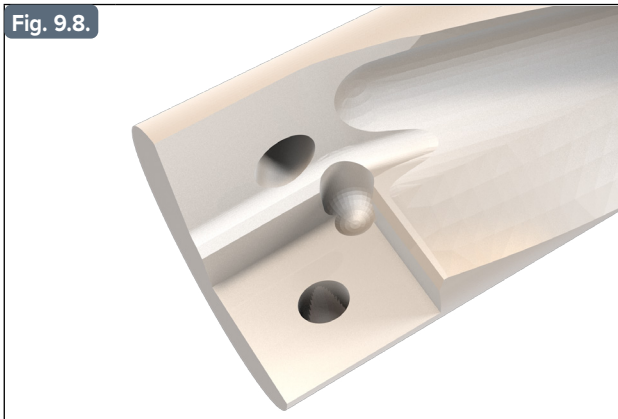
### ¿Filo o Punta de Corte?

Históricamente, en una plaqueta de torneado los filos y las puntas de corte se consideraban sinónimos, e incluso en la actualidad, a veces a los filos se les denomina “puntas de corte”.

Sin embargo, esto no es correcto. Es más, un filo de corte suele incluir una punta como elemento de corte o de transición.

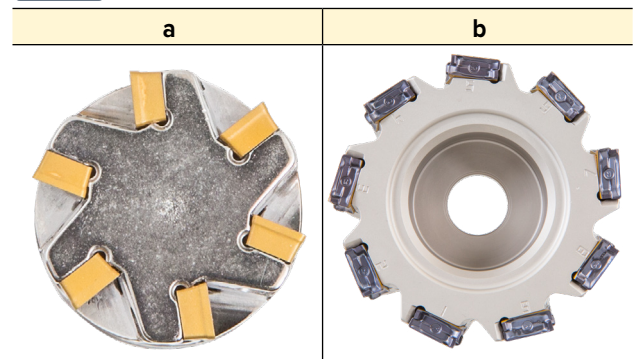
La base tiene una mayor superficie de contacto que las paredes. La forma más habitual de montaje de la plaquita utiliza el desequivocador de la cara inferior, que monta en la base del asiento, y el componente principal de la fuerza que actúa a lo largo de la base del asiento. En herramientas rotativas, las plaquitas montadas de esta manera se denominan radiales (Fig. 9.9a).

Otra forma es la fijación tangencial, que requiere cambiar la posición del asiento y montar las plaquitas verticalmente (Fig. 9.9b). La principal ventaja de este tipo de fijación es la efectiva orientación de la sección transversal de la plaquita con respecto a la carga exterior, generada por la fuerza de corte tangencial (Fig. 9.10). Por similares motivos se ha implementado el diseño de cambio de posición del asiento a las herramientas estacionarias (Fig. 9.12), donde el término “fijación tangencial” y sus derivados son ya habituales.



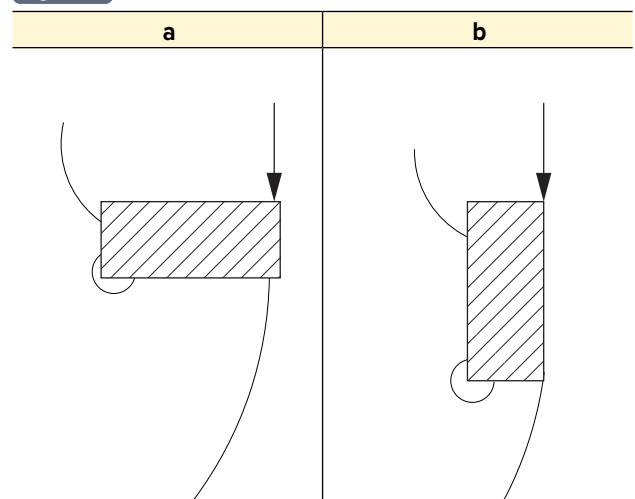
Asiento de la plaquita

Fig. 9.9.



Fresa con plaquitas radiales (a) y tangenciales (b)

Fig. 9.10.

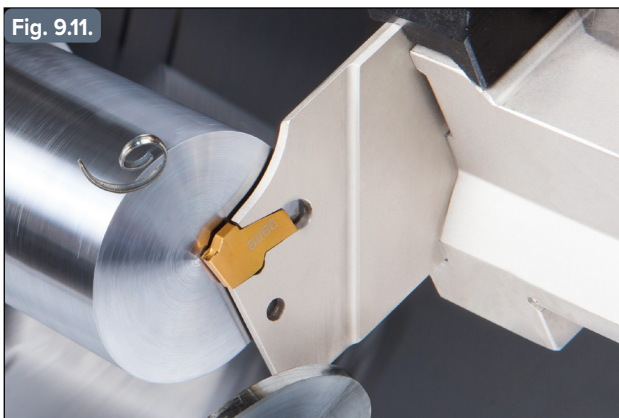


Montaje radial (a) y tangencial (b) de la plaquita



## Concepto de Autofijación de la Plaquita

Las plaquitas se fijan en los asiento mediante elementos mecánicos, como tornillos, palancas, bridas, etc. En los años setenta, ISCAR lanzó la línea SELF-GRIP, un nuevo y revolucionario concepto de herramientas de tronzado (Fig. 9.11). Según este diseño, la plaquita se fijaba a la lama de la herramienta aprovechando las fuerzas elásticas de dicha lama, sin necesidad de ningún otro elemento de fijación. Entonces, otros fabricantes también intentaron utilizar este principio en sus herramientas de tronzado, pero fue ISCAR quien inventó un concepto fiable y realmente viable que supuso un punto de inflexión y cambió las reglas de juego de las aplicaciones de tronzado.



Herramienta de tronzado SELF-GRIP. La plaquita queda fija en su asiento sin utilizar elementos mecánicos.



Herramienta de torneado con una plaquita tangencial

### Par de Apriete

La correcta fijación de la plaquita por tornillo, o cualquier otro elemento roscado, requiere aplicar el par de apriete (momento de fijación) correcto. Los fabricantes de herramientas indican estos valores en las especificaciones, además de marcarlos en el cuerpo de la herramienta.

Los fabricantes de herramientas suministran como accesorios las diferentes llaves diseñadas para proporcionar el par de apriete correspondiente. Además, existen las llaves dinamométricas de par ajustable o prefijado (Fig. 9.13), que son una buena opción para aplicar el par correcto. El tornillo de fijación, que es la pieza más pequeña y débil de un sistema de herramientas, tiene un gran impacto en la fiabilidad del sistema. El apriete excesivo puede causar fallo por fatiga en el tornillo o dificultad para extraer la plaquita tras el mecanizado, por lo que las llaves dinamométricas son muy recomendables para una fijación fiable de la plaquita.

Fig. 9.13.



**Ejemplo de llave con par de apriete prefijado**  
Hay un doble sistema de verificación para garantizar el correcto montaje de la llave: el color y el valor numérico del par que aparecen tanto en la punta como en el mango deben coincidir.

## Tornillo de Fijación

Es imprescindible realizar una inspección visual concienzuda del tornillo de fijación antes de utilizarlo.

La rosca y la cabeza del tornillo, así como la huella para la llave, deben estar en buenas condiciones de funcionamiento, por lo que requieren una especial atención.

Si alguna de las partes está dañada o el tornillo está torcido, hay que sustituirlo inmediatamente. A la hora de apretar un tornillo, es fundamental aplicar el par correcto y utilizar la llave apropiada para prolongar su duración. No olvide aplicar el lubricante anti gripado cuando se sustituye una plaquita, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Siguiendo estas instrucciones aumentará la duración del tornillo de fijación.

## Fabricación de Plaquitas

La tecnología utilizada en la fabricación de plaquitas de metal duro se basa en la pulvimetalurgia, y comprende las siguientes fases o procesos:

- Preparación del polvo de metal duro (mezcla)
- Prensado del polvo (compactación)
- Sinterizado del polvo compactado
- Proceso de post-sinterizado
- Recubrimiento

En principio, estas fases han permanecido sin variaciones a lo largo de muchas décadas. Los avances de la ciencia y la tecnología han influido notablemente en el proceso de fabricación de plaquitas.

En el pasado, las plaquitas se fabricaban con máquinas manuales, ya que era muy difícil o incluso imposible llevar a cabo complejos procesos pulvimetalúrgicos. Los avances en equipamiento industrial, con control computerizado y automatizado, hicieron que los procesos fueran más estables, controlables y fiables. En consecuencia, las propiedades mecánicas de las plaquitas se hicieron más uniformes, predecibles y repetibles. Estos factores propiciaron espectaculares mejoras en cuanto a la precisión de las plaquitas sinterizadas, ya que permitieron reducir las tolerancias de fabricación.

En la actualidad, una prensa de fabricación de plaquitas es un dispositivo de alta ingeniería controlado por ordenador. Un punzón móvil puede estar formado por varios “subpunzones”, cada uno de los cuales funciona por separado. Algunos diseños de prensas incluyen opciones de prensado multiaxial. El notable progreso en la tecnología de prensas permite la producción de plaquitas de formas complejas que se caracterizan por tener alturas de punta variables (Fig. 9.14). Esto permite realizar una geometría de corte óptima, lo que garantiza no sólo un mecanizado suave y estable, sino también una mayor precisión de la superficie mecanizada.

Además, los sistemas CAD/CAM actuales hacen posible mejorar el diseño y las piezas que generan las formas de las plaquitas de las matrices de prensado. La posibilidad de simular el proceso de prensado de los nuevos productos sinterizados, cuando todavía están en las fases iniciales de su diseño, es una ventaja que permite realizar aún más modificaciones y mejoras en el diseño.

Fig. 9.14.



Plaquita H690 TNKX 1005, caracterizada por la pronunciada diferencia de alturas entre sus puntas.

## Precisión de la Plaquita

Las plaquitas intercambiables son el elemento de corte de una herramienta, por lo que su precisión tiene un impacto directo en la de la herramienta. Operativamente, la precisión requerida varía en función de la aplicación, mientras que la obtenida depende de la tecnología de fabricación de la plaquita. Las plaquitas se fabrican con productos metalúrgicos en polvo sinterizados, por lo que las características de los procesos de prensado y sinterizado determinan en gran medida la precisión de la plaquita. Con el nivel tecnológico actual, una plaquita completamente sinterizada garantiza un nivel de precisión satisfactorio, que puede aumentar con operaciones de reafilado. Aunque el reafilado del lateral de la plaquita sería suficiente, para obtener la mayor precisión también se reafila la cara superior para plaquitas de una cara, y la superior e inferior en caso de plaquitas de doble cara. Para garantizar el correcto posicionamiento de la plaquita, las superficies planas correspondientes suelen estar rectificadas. En este caso, el proceso de rectificado no garantiza una mayor precisión de la plaquita.

## Plaquetas y Formación de Viruta

Cuando está montada en la herramienta, la cara superior de la plaqueta se convierte en la cara de desprendimiento de la herramienta. El diseño de la cara de desprendimiento de las plaquetas requiere un alto nivel de ingeniería: el conocimiento de la teoría del mecanizado de metales y del proceso de formación de viruta, el entendimiento de las características específicas del mecanizado de los diferentes materiales, así como conocer los principios de la pulvimetalurgia y los límites de la fabricación de productos sinterizados y poseer la suficiente experiencia y formación en el diseño de herramientas. La cara de desprendimiento determina la geometría de una herramienta, su capacidad total de corte, por lo que una cara de desprendimiento óptima es clave para el diseño de la plaqueta.

A lo largo de los años, las opciones tecnológicas disponibles para los fabricantes de herramientas de corte han determinado la forma de la cara de desprendimiento. Por ejemplo, las primeras herramientas intercambiables montaban plaquetas con desprendimiento plano. Para fragmentar las virutas largas en operaciones de torneado realizadas con este tipo de herramientas, con frecuencia era necesario utilizar láminas adicionales que se instalaban en la herramienta, sobre la plaqueta. En algunos diseños, incluso la brida superior de fijación de la plaqueta actuaba como rompevirutas. Otra solución muy habitual para plaquetas de torneado con desprendimiento plano era

mecanizar una cavidad que hacía que la viruta se rizase en forma espiral, y entonces se rompía en tirabuzones más o menos controlables. Estas dos soluciones fueron idóneas para esa época, pero estaban muy lejos de ser perfectas.

La lámina montada en la herramienta a modo de rompevirutas obstaculizaba el flujo de virutas. Estas virutas ocasionaban una intensa abrasión en la lámina, reduciendo significativamente su vida efectiva. En la otra solución la forma y dimensiones de la cavidad estaban limitadas por la muela de afilar. Pero el principal problema era la necesidad de realizar pruebas a largo plazo para desarrollar un rompevirutas que pudiera garantizar un rendimiento estable en el mecanizado de diferentes materiales. En cierto modo, el diseño del rompevirutas era un proceso de ensayo y error

Los avances en pulvimetalurgia cambiaron esta situación espectacularmente, con nuevas máquinas y sistemas computerizados que mejoraron sustancialmente la estabilidad y fiabilidad de una gran cantidad de procesos. La tecnología de productos de metal duro sinterizado hacía posible dar diferentes formas a las caras de las plaquetas y acabó con los dos sistemas de control de virutas anteriores. La cara de desprendimiento combinaba formas cóncavas y convexas, protuberancias, etc. Esta compleja geometría fue diseñada para permitir la formación necesaria de viruta y un efectivo control de la misma. Las caras de desprendimiento de las plaquetas actuales presentan el mismo aspecto.



### Impacto del Diseño Asistido por Ordenador (CAD)

La introducción de los sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD) en la investigación y Desarrollo (I+D) de las herramientas de corte, tuvo un impacto muy significativo en la forma de la cara de desprendimiento. Los sistemas CAD ofrecen a los diseñadores de herramientas un poderoso mecanismo para realizar complejos modelos 3D, cálculos de ingeniería, análisis de las posibles limitaciones de la plaquita y, por supuesto, su cara de desprendimiento. La combinación de la más vanguardista tecnología de sinterizado, los avanzados sistemas CAD y las modernas máquinas CNC ha supuesto un enorme salto cualitativo para la industria de las herramientas de corte. Además de permitir la fabricación de plaquitas de geometrías complejas, ha reducido considerablemente el proceso de diseño.

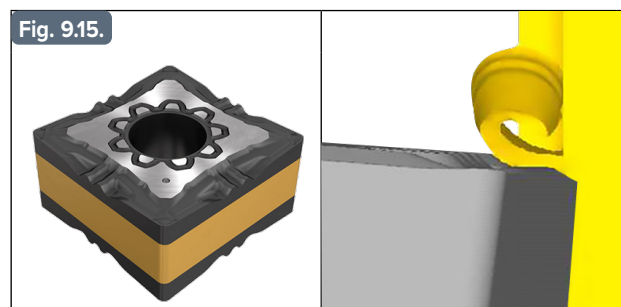
Aunque estos nuevos niveles de tecnología y diseño de herramientas de corte redujeron significativamente la necesidad de realizar pruebas, el tiempo necesario para estudiar la capacidad de corte de una nueva geometría de plaquita mediante pruebas de mecanizado seguía siendo considerable.

Esto ocurre con el diseño de todo tipo de plaquitas, no sólo de torneado. En el caso de plaquitas de fresado, la forma de la cara de desprendimiento se considera principalmente desde el punto de vista de formación de viruta, ya que se trata de un proceso de mecanizado interrumpido para el que la rotura de viruta no es una dificultad. Por este motivo, en el caso de plaquitas de fresado se habla de conformador de viruta, y para las de torneado se denomina rompevirutas. Para que quede claro, la cara de desprendimiento de las plaquitas de torneado debe dar forma las virutas, además de fragmentarlas. En cuanto a la geometría, la cara de desprendimiento de todas las plaquitas es una combinación de zonas cóncavas y convexas.

### Impacto del Modelado 3D

La realización de numerosas pruebas e investigaciones científicas y el análisis de la información acumulada en el campo del mecanizado de metales, junto con los importantes avances informáticos, han facilitado a esta industria una nueva y poderosa herramienta de diseño: la creación de modelos de formación de viruta en tres dimensiones. Los primeros modelos de formación de viruta en 3D estaban basados en datos empíricos y calculados, y presentaban importantes imprecisiones. Posteriormente, basándose en el método de elementos finitos, estos sistemas de modelado alcanzaron niveles totalmente nuevos. Actualmente, los diseñadores de herramientas de corte utilizan un avanzado software que permite una simulación del proceso de formación de viruta muy próxima a la realidad. Aunque este software no puede sustituir a las pruebas de mecanizado, contribuye en gran medida al efectivo diseño de las plaquitas y, sobre todo, de sus caras de desprendimiento.

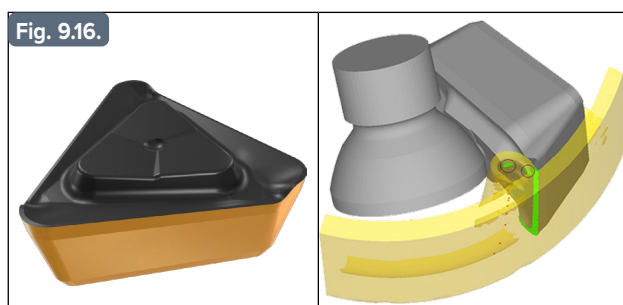
**Ejemplo:** Durante el diseño de la plaquita de torneado CNMG 120404-F3P se observó que la simulación del mecanizado también era útil para configurar la forma de la superficie superior de la plaquita (Fig. 9.15). Aunque inicialmente este sistema no fue ideado con este fin, gracias al equipo de I+D de **ISCAR**, se ha comprobado que las simulaciones con modelos son extremadamente valiosos para garantizar los mejores resultados de corte.



Los modelos de formación de viruta ha contribuido significativamente a optimizar la cara de desprendimiento de la plaquita CNMG 120404-F3P

**Ejemplo:** NANMILL es una familia de fresas intercambiables de pequeño diámetro (hasta 10 mm). Aunque este tamaño se considera tradicionalmente como más adecuado para fresas integrales, esta nueva familia representa una atractiva y económica alternativa, especialmente en operaciones de desbaste.

Esta familia de fresas incorpora un nuevo concepto de diseño con un tornillo de fijación situado por encima de la plaquita y otro que actúa como una cuña. Sin embargo, para evitar cualquier tipo de contacto entre la cabeza del tornillo y las virutas generadas (como consecuencia potencial de este diseño), el conformador de virutas precisaba una adaptación adicional. La simulación del proceso de formación de viruta fue fundamental para solucionar el problema con éxito (Fig. 9.16).



**La simulación de la formación de virutas es actualmente un valioso sistema para dar forma correcta a la cara de desprendimiento de la plaquita, garantizando el flujo de virutas requerido.**

La simulación de la formación de virutas es actualmente un valioso sistema para dar forma a la cara de desprendimiento de la plaquita. Los futuros progresos en modelado llevarán a los diseñadores de herramientas a lograr las geometrías óptimas y mejorarán significativamente la calidad de la herramienta.

## Denominación de la Plaquita

Cada fabricante de herramientas tiene su propio código de denominación de plaquitas, lo que dificulta su identificación, por lo que con frecuencia se requiere la referencia del catálogo del fabricante para aclarar los detalles. A su vez, las diferentes organizaciones internacionales y nacionales de normalización (como ISO y ANSI, por ejemplo) han desarrollado normas específicas para que la identificación de las plaquitas sea homogénea y fácil. La norma ISO 1832 establece un sistema que permite conocer de manera rápida y fácil los principales parámetros de la plaquita, como forma, dimensiones, precisión, etc., y que da cobertura a diferentes materiales de corte, incluyendo plaquitas con puntas recubiertas. Las plaquitas que cumplen esta norma se denominan plaquitas ISO, y la mayor parte de ellas están relacionadas con el torneado.

Según la norma ISO 1832, la denominación de una plaquita está formada por un conjunto de símbolos que son letras y números. Algunos de estos símbolos (los siete primeros para plaquitas integrales y los 12 primeros para plaquitas con punta recubierta) son obligatorios, mientras que los demás sólo se utilizan si son necesarios.

El primer símbolo es una letra que especifica la forma de la plaquita: A, B y K – Forma de paralelogramo de diferentes ángulos: 85°, 82° y 55° respectivamente, H – Hexagonal, O – Octogonal, W – Trigonal, etc.

El segundo símbolo es una letra que representa la incidencia, por ejemplo: A – 3°, D – 15°, P –, y así sucesivamente.

El tercero es una letra que describe la precisión de la plaquita, es decir, la clase de tolerancia para las siguientes dimensiones críticas: el ancho de la plaquita (el diámetro del círculo inscrito), el espesor y la cota que, en función de la forma, permita calcular directa o indirectamente la altura de la plaquita.

El cuarto símbolo hace referencia a la cara de desprendimiento (con o sin rompevirutas, en una o dos caras) y al agujero central de fijación (con o sin agujero, recto o avellanado, etc.)

### Prevención de Errores: IC

Las siglas “IC” significan “círculo inscrito”. Aunque “IC” también se puede referir a la abreviatura utilizada por ISCAR para designar sus calidades de metal duro (“ISCAR’s carbide”).

El quinto es un número que indica el tamaño de la plaquita. Dependiendo de la forma de la plaquita, este valor es el total redondeado de diferentes parámetros como la longitud del filo principal, el diámetro nominal, etc.

El sexto dígito es un número entero redondeado que indica el espesor de la plaquita.

El séptimo símbolo puede ser un número o una letra y describe la configuración de la punta de la plaquita.

**Ejemplo:** La plaquita ISO CNMG 120404 es una plaquita rómbica de 80° (C), negativa o, lo que es lo mismo, con incidencia cero (N), clase de tolerancia M, y tiene un agujero central recto y rompevirutas en la cara superior e inferior. El tamaño de la plaquita es 12,7 mm (12), el espesor es 4,76 mm (04) y tiene un radio de punta de 0,4 mm (04).



## Sistema de Denominación ISCAR para Plaquetas Intercambiables

El sistema ISO de denominación de plaquetas intercambiables ha contribuido considerablemente a la normalización y unificación de las plaquetas.

Sin embargo, junto con sus innegables ventajas, este sistema también presenta inconvenientes. El primero de ellos lo encontramos en las características de la cara de desprendimiento:

La norma ISO indica la presencia o ausencia de rompevirutas.

El segundo está relacionado con la forma de la plaqueta. Los avances en pulvimetalurgia permiten fabricar plaquetas con formas muy complejas, que son muy difíciles de identificar con el sistema ISO. ISCAR utiliza este sistema, aunque le añade ciertos símbolos o prefijos a la denominación ISO original. Volvamos a la plaqueta de torneado CNMG 120404-F3P. Los primeros siete caracteres cumplen a la perfección la norma ISO 1832, pero el resto no. Los otros tres símbolos F3P significan:

F – Rompevirutas diseñado principalmente para operaciones de acabado,  
3 – campo de aplicación relativo en función de la carga

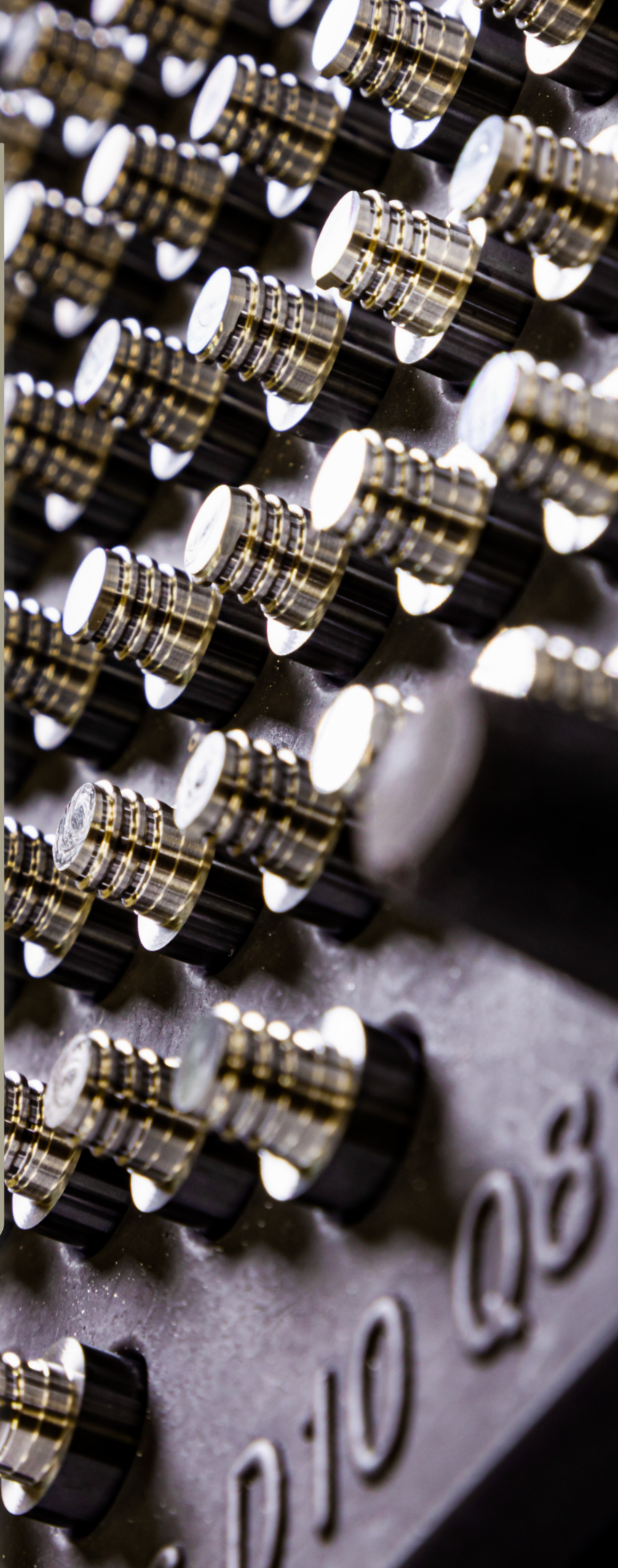
(“3” significa carga normal),

P – Plaqueta diseñada principalmente para aceros (materiales del grupo ISO P).

Otro ejemplo sería el de la plaqueta de fresado T490 LNHT 1306PNTR.

“T490” indica que es una plaqueta tangencial (T)

con cuatro filos de corte (“4”) que monta en fresas a 90° (“90”).





# Fresas de Metal Duro Integral

Históricamente, las herramientas integrales son el origen de todas las demás.

El material de la herramienta es el mismo material de corte, aunque éste ha ido cambiando con los avances tecnológicos: aceros al carbono, aceros rápidos, metal duro sinterizado, etc. Actualmente, las herramientas integrales (Fig. 9.17-9.20) se fabrican principalmente en metal duro y acero rápido, con diferentes diseños según la aplicación: herramientas de torneado, machos, brocas, fresas, etc. Las herramientas de acero rápido son ya un clásico, por lo que cuando se habla de herramientas integrales, normalmente se trata de metal duro, y en cuanto a las herramientas integrales rotativas, suelen denominarse cilíndricas.

Las herramientas cilíndricas se fabrican por rectificado de piezas redondas (varillas de metal duro integral). Los sistemas CAD de hoy en día y las avanzadas rectificadoras CNC han provocado un replanteamiento total de los procesos de diseño y fabricación de herramientas, ya que han dado alas al modelado 3D para optimizar complejas geometrías de corte (Fig. 9.21) y a las geometrías actuales, aprovechando todos los avances y capacidades de las máquinas.

Cuando las tenemos en la mano, todas las herramientas cilíndricas integrales del mismo tipo, como brocas o fresas, y tamaño son parecidas, incluso idénticas. Sin embargo, esta semejanza es sólo aparente, los ingenieros de diseño tienen la difícil tarea de encontrar la geometría óptima para cada una de ellas. El diseño de avanzadas herramientas cilíndricas está ahora de máxima actualidad, ya que las rectificadoras CNC evolutivas producen geometrías según los parámetros dados y con el software integrado en la máquina.

Otro factor que contribuye al éxito de las herramientas cilíndricas está relacionado con la rigurosa aplicación de la tecnología y la disciplina del taller, ya que la excelente calidad y ejecución del proceso tiene un impacto directo en el rendimiento y duración de la herramienta. Además de esto, la calidad del metal duro es el tercer factor para producir herramientas efectivas.

Por este motivo, las herramientas cilíndricas, tan parecidas entre ellas a primera vista, son tan diferentes en cuanto a capacidad de corte y precio.

Fig. 9.17.



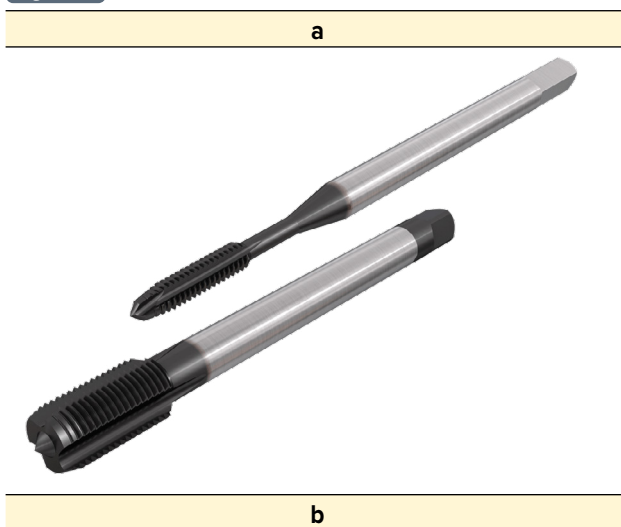
Herramientas de metal duro integral: brocas helicoidales (a) y herramienta de ranurado miniatura (b).

Fig. 9.18.



Las fresas de metal duro integral permiten una gran variedad de geometrías de corte.

Fig. 9.19.



Herramientas integrales de roscado: Machos de acero rápido (a) y fresas de roscado (b).

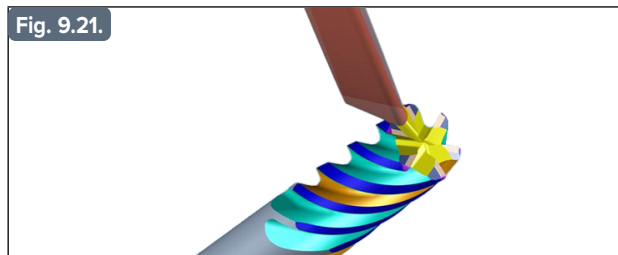
Fig. 9.20.



Escariador de metal duro integral

La ventaja más importante de las herramientas integrales es su precisión, no contiene elementos extraños, están fabricadas de una sola pieza y con filos de corte formados por superficies mecanizadas. Por ejemplo, en condiciones de corte normales, la precisión estimada de los agujeros producidos por una broca con plaquitas intercambiables tiene tolerancia ISO IT12, mientras que con una broca integral se consigue una tolerancia IT10-IT9, e incluso IT8.

Fig. 9.21.



La simulación de proceso de rectificado, incluso desde la etapa de diseño, es extremadamente eficaz para lograr la geometría de corte correcta y minimizar los costes de producción.

La mayoría de las herramientas cilíndricas desgastadas pueden reafilarse, y recuperar con precisión la geometría de corte y el recubrimiento. Esta operación permite una utilización eficaz y sostenible del material de corte. Si es necesario reafilarse una herramienta, debe tenerse en cuenta el diseño de su geometría de corte.

## Reafilado de Herramientas Integrales

Normalmente, la duración de las herramientas reafiladas es menor, debido a que quedan zonas sin recubrimiento o con un recubrimiento defectuoso. Sin embargo, la razón principal de la pérdida de eficiencia es la reducción del diámetro de la herramienta, ya que implica la disminución de los ángulos de desprendimiento y de la profundidad del labio. Como resultado, el mecanizado es más difícil y la capacidad de control de viruta también se ve reducida. En fresas de metal duro integral, como media, cada vez que se reduce el diámetro de la herramienta un 1%, su rendimiento baja un 2-3%, y a partir del valor de reducción definitivo, el rendimiento de la herramienta desciende drásticamente. Es muy importante seguir las instrucciones de reafilado del fabricante de la herramienta para evitar los aspectos negativos de esta operación.

El concepto de herramienta integral tiene otra ventaja más importante. Además de su elevada precisión, las herramientas integrales cilíndricas tienen mejor simetría axial que las que montan plaquitas intercambiables. Normalmente, las herramientas integrales tienen menor diámetro y, por tanto, requieren una mayor velocidad de rotación para la misma velocidad de corte.

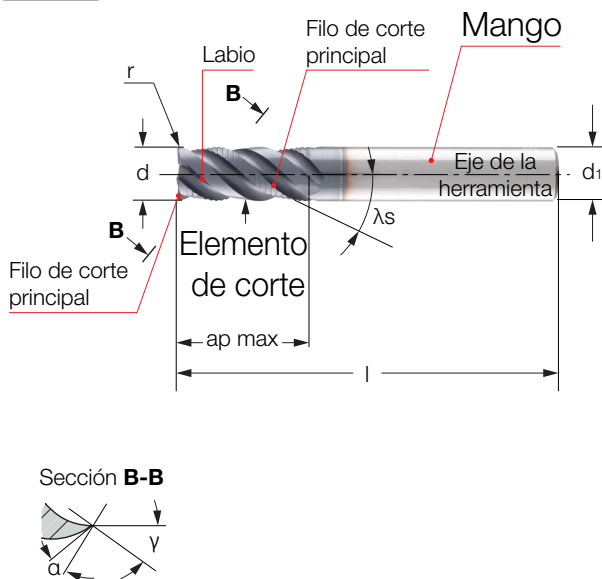
Esto explica por qué la mayoría de herramientas diseñadas para mecanizado a alta velocidad son integrales.

En herramientas cilíndricas, el filo de corte se genera en la línea de intersección de dos superficies complejas: la cara de desprendimiento y la periférica o flanco. Estas dos superficies se obtienen mediante operaciones de mecanizado, normalmente rectificadas. La cara de desprendimiento o labio es una ranura, casi siempre helicoidal, a lo largo de la herramienta. Además de formar los filos de corte, los labios también garantizan la evacuación de las virutas producidas durante el mecanizado. La forma del labio obtenido por reafilado es el resultado directo de los movimientos de la rectificadora, en combinación con el perfil de la muela abrasiva utilizada. La optimización del perfil de los labios para obtener los ángulos de desprendimiento requeridos y una evacuación de viruta efectiva es una parte esencial del diseño de la herramienta, que determina en gran medida su rendimiento. Esto vuelve a poner de manifiesto la importancia de la simulación de la superficie rectificada utilizando los avanzados sistemas CAD/CAM.



La Fig. 9.22 muestra las partes de las fresas integrales. Los labios se definen por el ángulo de su hélice  $\lambda_s$ . El número de labios es el número de filos de corte o dientes. Otra característica de los dientes es el paso angular, que es la distancia entre dos puntos idénticos de dientes adyacentes medida a lo largo de un arco con centro en el eje de la herramienta. El paso puede ser fijo (uniforme, regular) o variable (desigual, irregular). Por ejemplo, para una fresa de cinco dientes y paso fijo, la distancia sería de  $72^\circ$ . La misma fresa de cinco dientes con paso variable se puede representar por diferentes combinaciones de paso, como, por ejemplo:  $73^\circ-71^\circ-72^\circ-73^\circ-71^\circ$  o  $74^\circ-72^\circ-70^\circ-71^\circ-73^\circ$ .

Fig. 9.22.



Partes principales de una fresa de metal duro integral.

Normalmente, la relación entre el voladizo y el diámetro de las fresas integrales, en especial las de metal duro, es mayor que el de la herramientas con plaquitas intercambiables. Esta particularidad, combinada con una forma del labio que debilita la sección transversal de la herramienta, hace necesario prestar especial atención a la resistencia a las vibraciones de las fresas integrales. Para mejorar la estabilidad dinámica, los ingenieros de diseño combinan un paso angular de diente desigual con una hélice del labio variable. Esto contradice el principio de simetría axial y puede dar el resultado inverso. Por tanto, un diseño óptimo e inteligente de fresas de metal duro integral requiere ingenio y compromiso.

### Hélice Variable

El término “hélice variable” se refiere al ángulo de la hélice en los diseños antivibratorios de las fresas de metal duro integral (SCM), basados en el principio de control de paso. Una SCM típica dispone de labios helicoidales, y el ángulo de esta hélice determina la inclinación del filo de corte. En el caso de fresas convencionales, este ángulo es el mismo para todos los labios, aunque varía en las configuraciones antivibratorias. El concepto de “hélice variable” se utiliza habitualmente para referirse a dos tipos de diseño:

1. El ángulo de la hélice varía a lo largo del labio.
2. Combina labios con diferentes ángulos de hélice, aunque cada labio tenga ángulo de hélice fijo. Sin embargo, lo correcto es utilizar el término “hélice variable” para el diseño 1, y “hélice diferencial” o “ángulo de paso variable” para el 2.

Las fresas integrales de desbaste están diseñadas para un mecanizado con elevados índices de extracción de metal. Para ello tienen un diseño fragmentador de viruta que se caracteriza por los filos de corte dentados o estriados (Fig., 9.23), que dividen las virutas anchas en pequeños fragmentos para facilitar su evacuación y control. Además, la fragmentación de viruta incrementa la resistencia a vibraciones de la fresa.

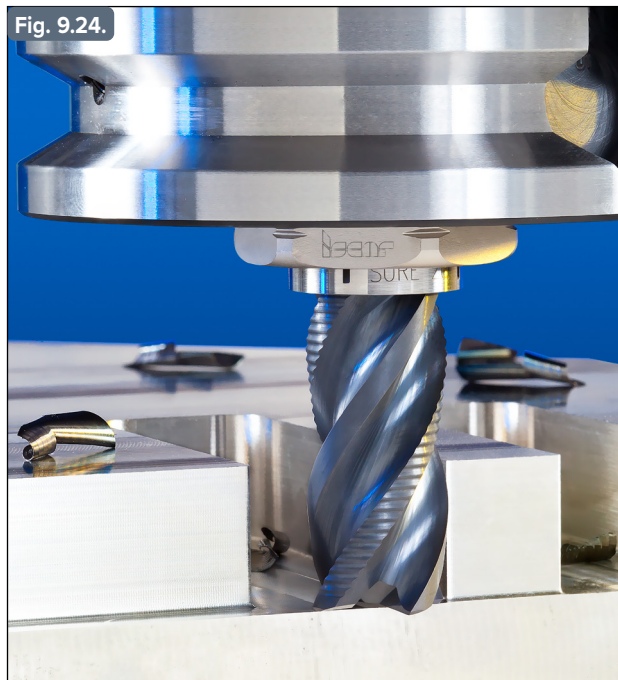
Fig. 9.23.



Fresa de desbaste con filos de corte dentados

## Dos en Una

Las fresas FINISHRED de ISCAR tienen cuatro labios, dos dentados y dos lisos, que integran dos geometrías de corte en la misma herramienta, proporcionando la ventaja “dos en uno”: desbaste (filos de corte dentados fragmentadores de viruta) y acabado (filos de corte continuos). Aplicando parámetros de mecanizado de desbaste, se puede conseguir una calidad superficial de semiacabado o incluso de acabado. Este tipo de herramienta puede sustituir a dos fresas de desbaste y acabado, lo que reduce el tiempo de corte y el consumo de potencia, a la vez que aumenta la productividad.



Fresa FINISHRED, “dos en una”.

El ángulo de la hélice  $\lambda_s$  determina la inclinación del filo de corte y la dirección de la fuerza de corte total, controla el flujo de virutas e influye en la suavidad de entrada de la fresa en el material. Dependiendo de la dirección de la hélice, se considera positivo si la hélice es a derechas (Fig. 9.22) y negativo si es a izquierdas. Si se trata de labios rectos, el ángulo de la hélice es cero. La mayoría de las fresas integrales tienen una hélice a derechas, mientras que la hélice a izquierdas es más común para escariadores (Fig. 9.20). También existen fresas que combinan hélices a derechas y a izquierdas, como, por ejemplo, las diseñadas para composites (Fig. 9.25). En las herramientas derechas, hay que tener en cuenta que el ángulo de la hélice influye sobre la fuerza axial que actúa sobre el mango, que podría ocasionar la expulsión de la herramienta del husillo. Por lo tanto,  $\lambda_s$  es un elemento importante para la resistencia a las vibraciones de las fresas integrales.

El ángulo de la hélice se determina en función del tipo de mecanizado y del material a mecanizar.

Cuando se diseñan fresas de metal duro integral, la elección del ángulo de hélice constituye un compromiso entre el rendimiento y el campo de aplicación.

A diferencia de las fresas con plaquitas intercambiables, las integrales (SCEM) pueden tener un mayor número de dientes en el mismo diámetro nominal. Además, un incremento de diámetro requiere más cantidad de metal duro, con el consiguiente aumento del coste.

A partir de ciertos valores del diámetro, el precio de las fresas integrales empieza a ser tan alto que la configuración de herramienta integral no es rentable.

Por este motivo, la mayoría de fresas integrales tienen un diámetro de hasta 25 mm.



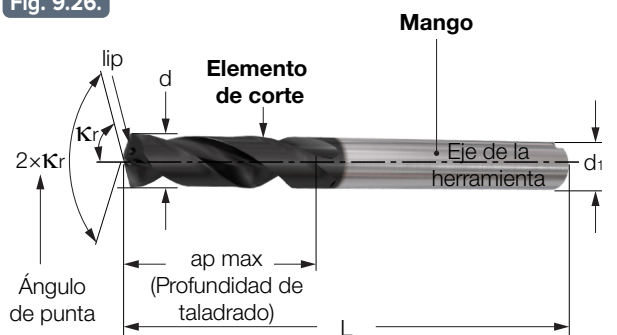
Fig. 9.25. Fresa de metal duro integral con filos de corte helicoidales a derechas y a izquierdas para el mecanizado de composites.

Con las herramientas para el mecanizado de agujeros ocurre algo similar, el diámetro de las brocas helicoidales de metal duro integral no supera los 20 mm. Se trata de brocas de dos labios, por lo que ni la cantidad de material extraído ni los costes de producción justifican la fabricación de herramientas de mayor diámetro.

La tecnología moderna permite la fabricación de brocas de metal duro integral con conductos interiores helicoidales para el suministro de refrigerante a la zona de corte, lo que aumenta considerablemente su rendimiento.

Los principales parámetros de las brocas helicoidales de metal duro integral (Fig. 9.26) son: el diámetro  $d$  y su tolerancia, el ángulo de la punta, la geometría de corte, el diámetro del mango  $d_1$  y la relación entre profundidad de taladrado y diámetro de la broca. Es fácil ver que el ángulo de la punta es dos veces el ángulo del filo de corte  $\kappa_r$  (ver los tipos de herramientas de corte y sus elementos principales en el apartado anterior). El ángulo de la punta y otros parámetros de la geometría de corte dependen del material a mecanizar. Igual que en el caso de las fresas integrales, para ampliar el campo de aplicación de las brocas helicoidales, los ingenieros de diseño deben encontrar la solución óptima de ángulo de la punta y de los labios, etc. Por ejemplo, un ángulo de punta de  $140^\circ$  es muy común para brocas de metal duro de uso general, mientras que para las de acero rápido, es más habitual que este ángulo sea de  $118^\circ$ .

Fig. 9.26.



Partes de una broca helicoidal de metal duro integral.

## Fresa de Taladrar

“Fresa de taladrar” es el nombre dado a una fresa que corta en línea recta como una broca. Tienen al menos un diente de corte central y se utilizan principalmente para producir chaveteros. Suelen tener dos labios, pero pueden tener tres e incluso cuatro.

Las brocas helicoidales tienen normalmente dos labios (Fig. 9.27), pero también las hay de tres labios para una mayor productividad, especialmente en el taladrado de materiales que generan virutas cortas, como la fundición.

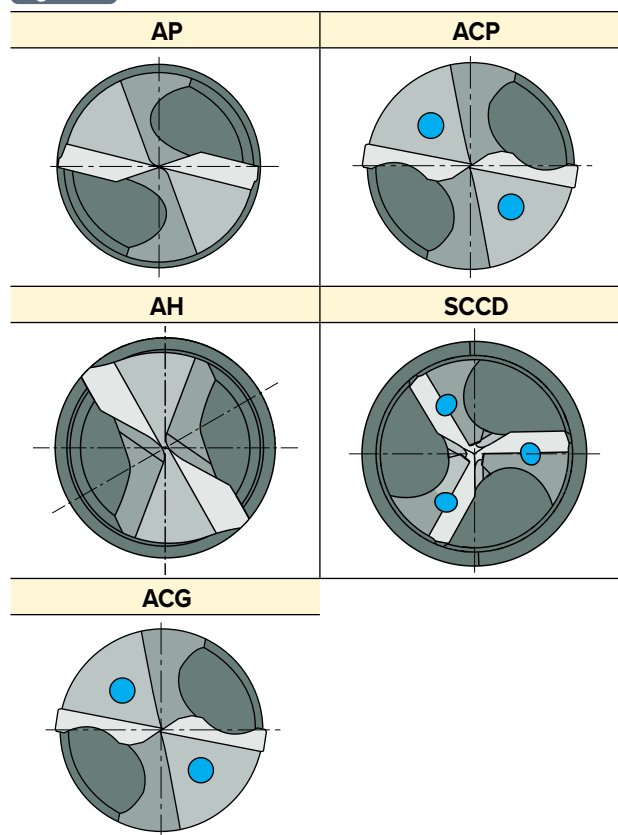
Fig. 9.27.



Broca de metal duro integral de dos labios con conductos de refrigeración interna.

Las brocas integrales tienen diferentes configuraciones de filos de corte, algunas son muy comunes y se consideran como soluciones estándar. Como ejemplo, en la Fig. 9.28 se muestran las configuraciones de las brocas integrales más habituales de **ISCAR**.

Fig. 9.28.



Configuraciones del Filo de Corte

## Longitud de las Herramientas

Las herramientas integrales cilíndricas de la misma familia, tipo y diámetro se diferencian por su longitud total, pudiendo ser cortas, de longitud media o largas. También se utilizan longitudes adicionales, como extra cortas o extralargas. Como norma general, las herramientas de longitud corta garantizan una mayor resistencia y rigidez y las extralargas se utilizan sólo en aplicaciones de largo alcance.

# Herramientas Soldadas

Todos conocemos las brocas con punta de metal duro para taladrar agujeros en hormigón, de uso doméstico. Esta broca es un buen ejemplo de herramienta soldada, tiene un cuerpo de acero y una punta de corte de metal duro soldada al cuerpo.

La “edad de oro” de las herramientas soldadas (Fig. 10.1) acabó cuando se empezó a utilizar el metal duro sinterizado para fabricar plaquitas intercambiables.

Fig. 10.1.



**Herramientas soldadas típicas. Este tipo de herramientas fue el más utilizado durante mucho tiempo.**

A diferencia de las herramientas de metal duro integral, las herramientas soldadas, como ocurre con las que montan plaquitas intercambiables, hacen un uso efectivo del costoso metal duro. Además, este diseño garantiza una gran precisión, ya que el filo de corte se ha generado por rectificado, y puede volver a reafilarse en caso de desgaste. Estas son las principales ventajas de las herramientas soldadas, pero también presentan inconvenientes que limitan su uso.

## ¿Soldadura Fuerte o Blanda?

En general, la soldadura fuerte y la blanda se refieren al mismo proceso: la unión de diferentes metales entre sí, utilizando como material de aporte metal fundido con un punto de fusión más bajo que el de los metales a unir. La principal diferencia entre la soldadura fuerte y blanda es la temperatura del proceso, que es más baja para la soldadura blanda, y el material de aporte. La soldadura fuerte es más resistente que la blanda. Para herramientas de corte se utiliza la soldadura fuerte, y la denominamos simplemente “soldadura”.

El punto débil de este concepto es el proceso de soldadura fuerte en sí. El problema es que las piezas a unir deben calentarse, y el coeficiente de expansión térmica del metal duro es notablemente menor que el del acero. Esta diferencia genera tensiones en la punta que conllevan riesgo de rotura.

El mecanizado de superficies planas con una herramienta con puntas de metal duro soldadas no da ningún tipo de problema, la dificultad está en generar el complejo perfil de la punta. Esto limita la posibilidad de contar con un rompevirutas efectivo en la parte superior, a diferencia de las plaquitas intercambiables.

La fabricación de herramientas soldadas es un proceso lento y complejo que necesita equipos especiales. A pesar de los indudables avances en la tecnología de la soldadura fuerte, una unión soldada requiere una inspección concienzuda y pruebas de resistencia.



Fig. 10.2.



Cabeza para el sistema de taladrado profundo de tubo simple con puntas soldadas

Las herramientas soldadas se pueden reafilar, aunque no se trata de un proceso económico. Tras el reafilado, la posición del filo de corte cambia, por lo que es necesario realizar algunos ajustes. En cambio, en herramientas con plaquitas intercambiables, la sustitución del filo dañado se lleva a cabo cambiando la posición de la plaquita o montando una nueva. Para enviar una herramienta soldada gastada a reafilar hay que retirarla de la máquina y montar una nueva en su lugar para continuar con el mecanizado. Con esta idea en mente, las empresas que utilizan herramientas soldadas cuentan con varias herramientas de repuesto.

Sin embargo, el concepto de herramienta soldada sigue siendo muy utilizado (Fig. 10.2), especialmente para herramientas de gran tamaño. Además, la tecnología de soldadura fuerte se utiliza para fijar puntas de materiales de corte ultraduros y caros, como el nitruro de boro cúbico (CBN) o el diamante policristalino (PCD), sobre plaquitas intercambiables o herramientas integrales (Fig. 10.3 y 10.4).

Fig. 10.3.



Plaquitas de torneado con punta soldada de CBN

Fig. 10.4.



Brocas integrales para composites, con lámina (izquierda) y punta (derecha) PCD.

# Cabezas Intercambiables de Metal Duro Integral

El concepto de herramientas con cabezas de corte intercambiables está entre el de las herramientas con plaquitas intercambiables y el de las integrales. Son especialmente interesantes las cabezas de metales duros, que tienden un puente entre estos dos conceptos. Aunque pueda sonar paradójico, la definición “herramientas de metal duro integral intercambiables” se ajusta a la perfección a varias familias de herramientas con cabezas de metal duro.

Un buen ejemplo es la familia de cabezas intercambiables de metal duro integral **MULTI-MASTER** (Fig. 11.1).

Los tres principios del concepto **MULTI-MASTER** se basan en el contacto frontal entre la cabeza y el mango, centrando la cabeza mediante un corto cono y fijándola con una conexión roscada. El contacto frontal garantiza que el voladizo de la cabeza se mantiene dentro de los estrictos límites de tolerancia, que resulta en una elevada repetición dimensional del conjunto. El cono de centrado también proporciona un alto nivel de precisión y la conexión roscada hace que la sustitución de la cabeza sea rápida y fácil.

Las herramientas **MULTI-MASTER** cumplen perfectamente el lema “sin puesta a punto”. Dado que la sustitución de una cabeza se lleva a cabo sin desmontar la herramienta de la máquina, no es necesario ningún tipo de ajuste posterior, lo que minimiza el tiempo de parada de máquina. La conexión roscada **MULTI-MASTER** permite que el cuerpo de la herramienta, denominado “mango”, pueda montar diferentes cabezas y viceversa, por lo que se convierte en universal, reduciendo así el gasto en herramientas y almacenaje.

La línea **MULTI-MASTER** cubre un amplio espectro de aplicaciones de fresado, mecanizado de agujeros, grabado y tallado de engranajes. Las aplicaciones de fresado incluyen escuadrado, planeado, perfilado de superficies 3D, chaflanado, fresado de cavidades, cajas y ranuras, roscado y fresado a alta velocidad y con alto avance. Las operaciones de mecanizado de agujeros comprenden el taladrado al centro, punteado, avellanado, etc.

Fig. 11.1.



Línea **MULTI-MASTER**

La familia **MULTI-MASTER** incluye una gran variedad de mangos integrales con diferentes tipos de adaptación, como la **HSK** (DIN 69893, Forma A), la **CAMFIX** (ISO 26623-1) o una adaptación directa para portapinzas ER.

Esto amplía las opciones de montaje, garantizando un movimiento axial y rotacional de gran rigidez y seguridad que minimiza el voladizo de la herramienta. Estas particularidades contribuyen a un mecanizado de elevada efectividad, especialmente para la producción de grandes series de piezas pequeñas en máquinas multifunción y tornos de cabezal móvil. Además, la amplia gama de extensiones y reductores permiten configurar la herramienta para mecanizar las zonas de difícil acceso.

## Material de los Mangos MULTI-MASTER

Los mangos MULTI-MASTER se fabrican en acero, metal duro y metal pesado (una aleación con un contenido de tungsteno de, al menos, el 90%).

En cuanto a funcionalidad, los mangos de acero son los más versátiles. Debido a su rigidez, los mangos de metal duro están pensados principalmente para operaciones de acabado y semiacabado, mecanizado con grandes voladizos y fresado de ranuras circulares internas. En caso de corte inestable, los mangos de metal pesado ofrecen buenos resultados debido a sus propiedades antivibratorias. Sin embargo, los mangos de metal pesado no se recomiendan para mecanizados pesados.

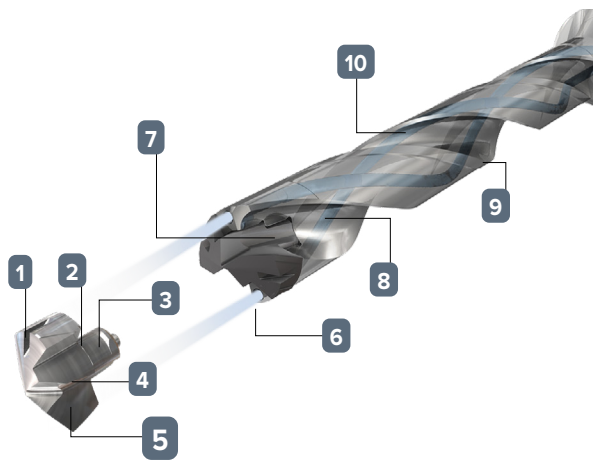
Las cabezas **MULTI-MASTER** son un buen ejemplo de “puente” entre los conceptos de herramientas intercambiables e integrales. La combinación de dos tipos de cabezas complementan ambos diseños: cabezas completamente rectificadas fabricadas a partir de blanks de metal duro integral, y cabezas fabricadas con blanks sinterizados preformados. La elección de la configuración correcta para diferentes operaciones de mecanizado es mucho más fácil si hay una gran diversidad de cabezas, mangos, adaptadores y reductores. Aparte de esto, esta línea es ideal para la fabricación de herramientas especiales. Todo esto hace que **MULTI-MASTER** sea una línea de productos efectivos y robustos que combinan con éxito las ventajas del diseño de las herramientas intercambiables con el de las integrales.

Otro ejemplo son las brocas helicoidales con puntas de taladrar intercambiables. En la familia de brocas **SUMOCHAM** (Fig. 11.2), las puntas intercambiables montan en cuerpos de acero con un mecanismo de autofijación basado en las propiedades elásticas del cuerpo. El concepto de punta de taladrar intercambiable permite montar la misma punta en cuerpos con diferentes profundidades de taladrado (Fig. 11.3). Además, un mismo cuerpo puede montar puntas con diferentes geometrías diseñadas para grupos de materiales específicos o para el taladrado de agujeros de fondo plano, por ejemplo.



Fig. 11.2.

Punta de taladrar de metal duro integral  
Cuerpo de acero duro integral



- 1 Ranura para la llave de fijación
- 2 Superficie para centrado de precisión
- 3 Tope axial
- 4 Tope radial
- 5 Punta especialmente diseñada para un control de viruta efectivo
- 6 Refrigeración Frontal
- 7 Avanzado diseño del asiento
- 8 Conductos helicoidales de refrigeración
- 9 Acero de alta resistencia
- 10 Canales pulidos con forma especial

Estructura de una broca SUMOCHAM

Normalmente, las puntas de taladrar **SUMOCHAM** tienen dos filos de corte, que se corresponden con los dos labios de la broca. Para aumentar la productividad, especialmente en el taladrado de metales que producen virutas cortas, se ha desarrollado la familia de brocas de tres labios **LOGIQ-3-CHAM** con puntas de taladrar intercambiable de tres filos de corte.

## La Auto-Fijación Revoluciona el Sector

La base de SUMOCHAM y sus familias de brocas es el diseño con autofijación, según el cual, la punta de taladrar se fija a la broca utilizando las fuerzas elásticas del cuerpo. En los años 70, este principio se puso de manifiesto con la familia de herramientas de tronzado **SELF-GRIP**, que revolucionó completamente las operaciones de ranurado y tronzado. Con el nivel de tecnología adecuado, se ha aplicado el concepto de fijación **SELF-GRIP** a las herramientas de taladrado, demostrando una vez más su enorme potencial.

Fig. 11.3.



Brocas SUMOCHAM para diferentes profundidades de corte

En ambos casos, la compleja forma de las cabezas es el resultado de combinar la tecnología de las herramientas integrales y la de las intercambiables. Se fabrican a partir de blanks preformados mediante pulvimetalurgia, y sólo se rectifican las superficies que requieren una elevada precisión.

Siguiendo con el mecanizado de agujeros, otro ejemplo de herramienta con cabezas intercambiables es la familia de escariadores de alta velocidad **BAYO-T-REAM** (Fig. 11.4). Las cabezas de metal duro integral montan en el cuerpo mediante un mecanismo de cambio rápido de tipo bayoneta. Estas cabezas de escariado tienen varios labios, cuya dirección dependerá del tipo de agujero a escariar (ciego o pasante).

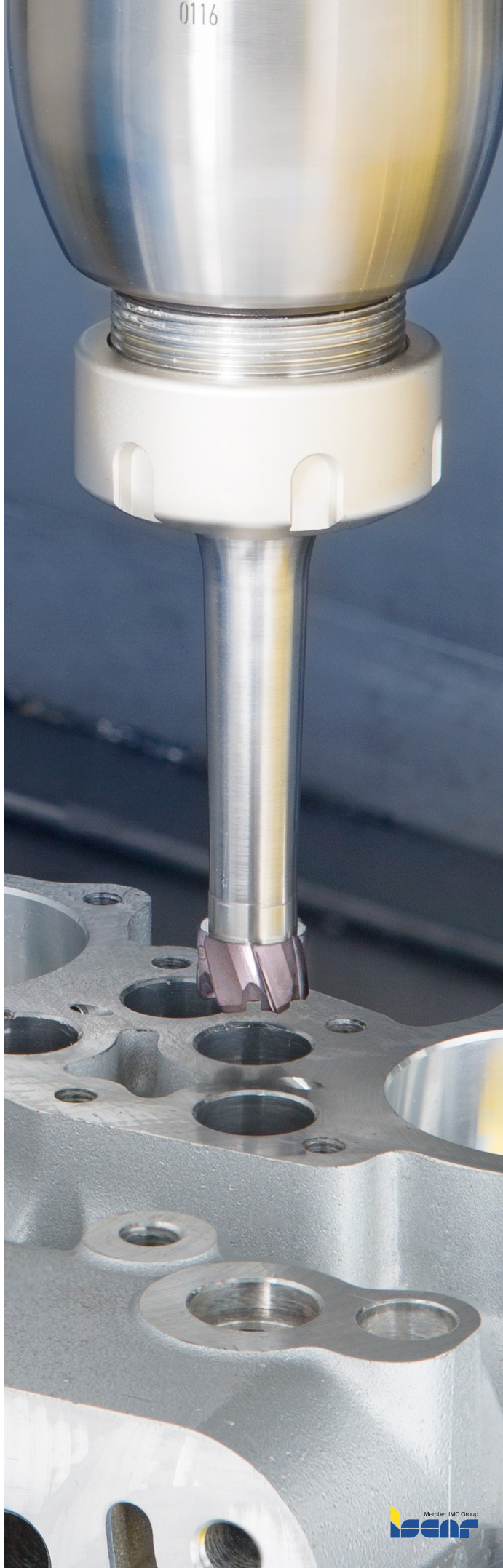
Fig. 11.4.



#### Escariador de alta velocidad BAYO-T-REAM

Las principales ventajas de las herramientas con cabezas intercambiables son las siguientes:

- 1 Versatilidad: un mismo cuerpo puede montar diferentes cabezas, y una misma cabeza puede montar en diferentes cuerpos.
- 2 Fácil de utilizar: la cabeza se sustituye de manera rápida y simple.
- 3 “Sin puesta a punto: permiten sustituir una cabeza gastada sin desmontar la herramienta de la máquina, eliminando la necesidad de operaciones adicionales de puesta a punto.



# Herramientas Cilíndricas Intercambiables vs Integrales

## ¿Intercambiables, Integrales o Ambas?

En este apartado vamos a analizar qué concepto es mejor para las herramientas cilíndricas: intercambiable o integral. Como muchos otros aspectos relacionados con la tecnología, no existe una respuesta absoluta. Sin embargo, sí podemos obtener una respuesta concreta si sopesamos las ventajas e inconvenientes de ambos conceptos en función de las condiciones específicas de una aplicación.

En una herramienta con plaquitas intercambiables, concepto común en la industria desde la década de 1960, el elemento de corte es la plaquita. El cuerpo está fabricado en acero y sirve de soporte para plaquitas de una forma específica y fabricada a partir de diferentes materiales de baja maquinabilidad (por ejemplo, metal duro sinterizado, nitruro de boro cúbico CBN, cermet, etc.)

Fig. 11.5.



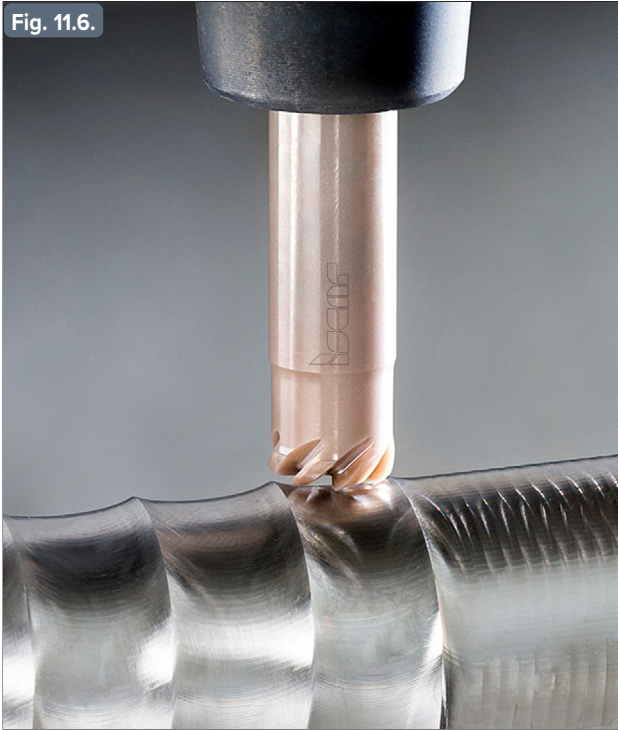
La tecnología pulvimetalúrgica actual permite producir plaquitas intercambiables para formas complejas.

Las plaquitas se diferencian entre sí por la superficie de formación de viruta, que genera la geometría de corte requerida. La correcta fijación de la plaquita, que cuenta con la geometría y el material de corte idóneos, da como resultado la herramienta óptima para la pieza a mecanizar. Cada plaquita tiene diferentes filos de corte. Si uno de ellos está gastado, se puede sustituir girando o invirtiendo la posición de la plaquita. La utilización de filos de corte intercambiables garantiza un uso rentable del material de corte.

La plaquita se fabrica mediante tecnología pulvimetalúrgica, que permite crear la particular forma de las superficies de formación de virutas, ya que con otro método productivo es extremadamente difícil obtener esta forma con filos de corte excepcionalmente resistentes para soportar pesadas cargas de trabajo.

Pero las herramientas intercambiables también tienen inconvenientes. En primer lugar, su precisión es menor que la de las herramientas integrales. En segundo lugar, no permiten pequeños diámetros (por ejemplo, menores de 8-10 mm). La reducción del diámetro implica disminuir el tamaño de todos los componentes de la herramienta, incluyendo la plaquita y su fijación (que suele ser un tornillo), que suele tener una barrera dimensional. Además, el filo de corte es resistente, pero no tan afilado como el de una herramienta integral. Para mecanizar materiales blandos que requieren filos de corte vivos, como cobre, titanio puro comercial o aluminio, es necesario una operación de rectificado adicional.

Fig. 11.6.



Fresa integral fabricada con material de corte cerámico.

La principal ventaja de una herramienta integral rectificada es su excelente precisión, mucho mayor que la de las herramientas intercambiables. Una herramienta integral no puede sustituir su elemento de corte, pero se puede reafilarse.

Como ocurre con las herramientas intercambiables, las integrales también tienen límites dimensionales que afectan al coste de la herramienta. A diferencia del concepto intercambiable, una herramienta integral no puede tener un diámetro grande, no suele superar los 25 mm, ya que este tipo de herramientas requiere una cantidad de material de corte significativamente mayor y se tarda más tiempo en su fabricación (rectificado), lo que incrementa en gran medida el coste de la herramienta. En comparación con una herramienta intercambiable, el filo de corte de una herramienta integral es más vivo, pero menos resistente,

Fig. 11.7.



Brocas de metal duro integral. En el centro, broca integral con punta de taladrar intercambiable,

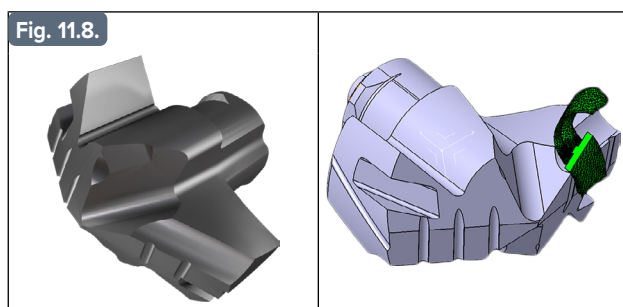
Las dimensiones de la superficie a mecanizar pueden determinar cual de los dos conceptos se debe aplicar a una operación. Por ejemplo, para taladrar un agujero de 3 mm de diámetro se utilizará una broca integral. Aparte del aspecto dimensional, para la correcta selección de la herramienta se deben tener en cuenta otros principios.

Para mecanizado pesado (normalmente desbaste y semidesbaste), caracterizado por grandes fuerzas de corte y un elevado consumo de potencia, la mejor solución es una herramienta con plaquitas intercambiables. Si se trata de una operación de mecanizado ligero que requiere gran precisión y excelente acabado superficial, es preferible una herramienta integral.

Durante los últimos años se han producido cambios espectaculares en este tradicional concepto. La búsqueda de nuevas soluciones para incrementar la productividad, junto con los avances de ingeniería de las máquinas herramienta, han dado como resultado estrategias de corte eficientes y máquinas acordes. Un número significativo de las máquinas actuales se caracterizan por tener menos potencia pero una velocidad mucho mayor, así como avanzados sistemas de control numérico informatizados para el mecanizado de alta velocidad, realizado por herramientas de pequeño diámetro que se mueven en la trayectorias óptima para una carga constante de la herramienta. Este cambio, junto con los progresos en las tecnologías de reafilado y recubrimiento, ha impulsado la utilización de herramientas integrales en operaciones de desbaste. Además, los avances de los materiales de corte permiten un mayor nivel de dureza de las piezas a mecanizar. En la actualidad, una fresa de metal duro integral es capaz de mecanizar a alta velocidad una pieza de acero de hasta 65 HRC.

Los fabricantes de herramientas se dieron cuenta de las ventajas de combinar los conceptos integral e intercambiable en un único diseño para adaptarse a los últimos avances. Las herramientas con cabezas intercambiables de metal duro integral, como las familias **MULTI-MASTER** y **SUMOCHAM** de **ISCAR**, por ejemplo, son un claro ejemplo de los beneficios de esta combinación. En estas familias, una misma cabeza puede montar en diferentes cuerpos y un mismo cuerpo puede montar diferentes cabezas.

Entonces, ¿qué concepto es mejor? La industria necesita los dos tipos de herramientas. La relación entre el número actual de herramientas intercambiable y las integrales o “integrales intercambiables” en el mercado es de 1:1, lo que pone de manifiesto que el desarrollo de las herramientas de corte progresa en ambas direcciones. En cualquier caso, los avances y mejoras tecnológicos y de procesos harán que los requisitos de las herramientas, ya sean intercambiables o integrales, sean cada vez más exigentes.



La simulación del flujo de virutas es fundamental a la hora de diseñar las superficies para el conformado de virutas de una punta de taladrar **SUMOCHAM**



# Herramientas Modulares

Los sistemas modulares de diferentes tipos y sectores han conseguido introducirse en la vida cotidiana de muchas personas, desde los juguetes de construcción LEGO hasta los muebles modulares de IKEA.

En el sector del mecanizado de metales, los fabricantes también han desarrollado herramientas, máquinas y equipamientos modulares que, tras demostrar su eficiencia, son ampliamente utilizados.

Los principales beneficios de los sistemas modulares son la versatilidad y el ahorro de tiempo. El concepto modular facilita el rápido y sencillo montaje de elementos estándar para formar la herramienta de corte óptima, totalmente personalizada. Si se necesita una herramienta de manera inmediata para producir una pieza, la solución adecuada está al alcance de la mano. Este concepto también contribuye a disminuir el número de herramientas almacenadas, con la consiguiente reducción de costes.



Sin embargo, el concepto de herramienta modular también plantea inconvenientes. El primero de ellos es la pérdida de rigidez. Un conjunto de diferentes elementos no es tan firme como un producto integral, por lo que la estructura ensamblada tendrá menos precisión que el diseño de una sola pieza.

A la hora de definir una herramienta en particular, se deben sopesar las ventajas e inconvenientes del concepto modular. El usuario debe decidir cuál es la mejor herramienta para sus necesidades, en función de su estrategia de producción, la demanda actual de fabricación o la necesidad de tener inmediatamente la herramienta. El fabricante de herramientas de corte debe proporcionarle los medios que le permitan tomar la decisión correcta y a la vez continuar desarrollando productos modulares que ofrezcan mayor adaptabilidad, rigidez y precisión. Un vistazo a algunas de las herramientas de corte modulares pone de manifiesto las ventajas de diseño del producto.

La familia de herramientas **FLEXFIT** (Fig. 12.1) es la línea modular más antigua de **ISCAR**. La conexión **FLEXFIT** está formada por una sección cilíndrica o pista de ajuste y centrado y una rosca métrica estándar (M8...M16) de seguridad.



Fig. 12.1.



Familia de herramientas modulares FLEXFIT con diferentes tipos de cabezas intercambiables.

La sencillez y facilidad de mantenimiento han hecho que este sistema de herramientas rotativas sea muy popular en el mercado. En la actualidad, **FLEXFIT** dispone de una amplia variedad de mangos, adaptadores y cabezas con plaquitas intercambiables, que se utilizan principalmente en operaciones de fresado, como el mecanizado de superficies 3D complejas y ranuras. Los mangos están fabricados en acero y metal duro. Los mangos de metal duro aumentan la rigidez, lo que reduce sustancialmente las vibraciones, especialmente en aplicaciones con grandes voladizos.

La Fig. 12.2 muestra algunos elementos de un sistema de herramientas de torneado modular que incluye barras cilíndricas, cabezas intercambiables con plaquitas y adaptadores. Inicialmente el sistema se diseñó para mandrinado, pero, a la hora de seleccionar una barra de mandrinar, tuvo más peso la relación entre el voladizo y el diámetro de la barra.

Fig. 12.2.



Elementos de un sistema modular de torneado con barras cilíndricas antivibratorias.

Hay tres tipos de barras que cubren toda la gama de aplicaciones de mandrinado con un voladizo de hasta 10 veces el diámetro de la barra. Aunque las barras de acero permiten una relación de hasta 4 veces y las de metal duro de hasta 7 veces, cuando es necesario mandrinar con más voladizo, la utilización de un mango de metal duro reforzado puede verse limitada.

Para relaciones de longitud de voladizo de 7 a 10 veces el diámetro, el sistema dispone de barras antivibratorias que reducen significativamente, e incluso eliminan, las vibraciones durante el mecanizado. El elemento clave de estas barras es el mecanismo antivibratorio, formado por una masa pesada apoyada sobre muelles. El éxito de las barras con cabezas intercambiables para mandrinado originó el desarrollo de este diseño para diferentes aplicaciones, como torneado, ranurado y roscado. Además, un alojamiento para adaptadores, que permite montar portaherramientas de torneado prismáticos estándar para diámetros relativamente grandes, y los mangos cónicos incrementan el campo de aplicación del sistema.

La familia **MULTI-MASTER** de herramientas rotativas está formada por una gran variedad de mangos, extensiones, adaptadores y reductores, por lo que se puede considerar como un sistema modular (Fig. 12.3)

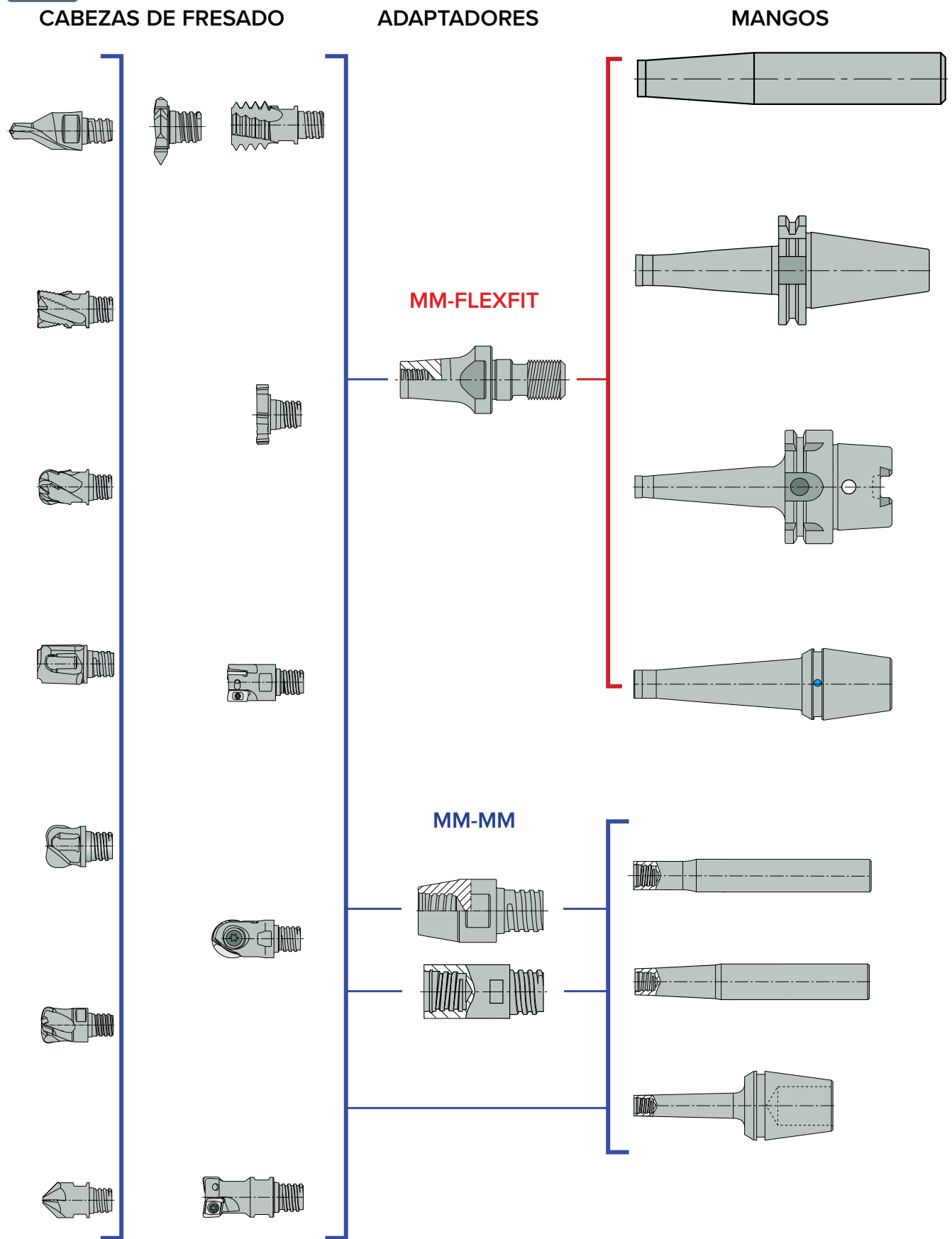
El diseño **MULTI-MASTER** original sólo contemplaba cabezas de metal duro integral, pero en muy poco tiempo la familia se amplió con nuevas cabezas con plaquitas intercambiables. Existen adaptadores especialmente diseñados que conectan las familias **FLEXFIT** y **MULTI-MASTER**, ampliando espectacularmente el campo de aplicación de ambas familias.

Las herramientas de corte modulares son muy utilizadas, con una amplia gama de productos para el mecanizado de lotes de producción de pequeños a medios de la industria de moldes y matrices.

El concepto modular flexible garantiza la capacidad de encontrar rápidamente soluciones de herramientas con programas de producto en constante evolución. La ventaja de un bajo inventario es muy atractiva para los fabricantes, por lo que se seguirán desarrollando nuevas herramientas modulares, fiables y de gran precisión para satisfacer las necesidades de los usuarios.



Fig. 12.3.



La familia MULTI-MASTER como sistema de herramientas modulares.

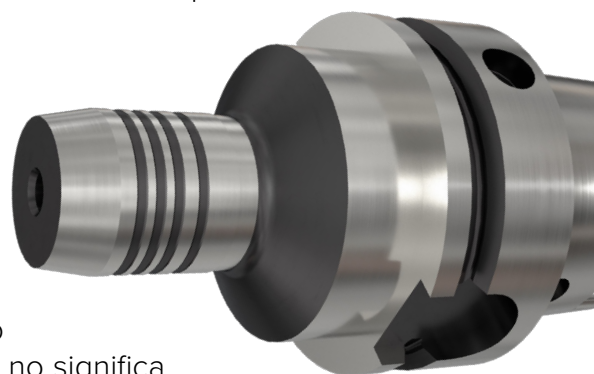
# Tendencias en Sistemas de Fijación

Un portaherramientas es un dispositivo que permite montar una herramienta en una máquina. Uno de sus extremos monta la herramienta y el otro se fija a la máquina, el portaherramientas es la conexión entre la máquina y la herramienta. El portaherramientas garantiza la correcta fijación de la herramienta a la máquina (al husillo o al cargador) y facilitan la transmisión del par del husillo de la máquina a la herramienta rotativa. Existen normas que especifican una amplia gama de portaherramientas que cumplen los requisitos de diferentes fabricantes. Estas normas incluyen desde portas simples de cambio manual en máquinas convencionales hasta los portaherramientas o adaptadores equilibrados más avanzados para mecanizado a alta velocidad. Esta gran variedad proporciona soluciones efectivas en función de los objetivos de producción y de la maquinaria disponible. Los principios establecidos de sujeción de herramientas exigen una gran intercambiabilidad y unificación que han dado lugar a normas bien definidas que especifican parámetros detallados de los portaherramientas.

## Etimología: HSK

Las siglas HSK tienen su origen en el término alemán “Hohlshafte Kegel”, que significa mango cónico hueco.

En general, los equipos de sujeción de herramientas no han experimentado cambios drásticos desde hace mucho tiempo. Aunque se han producido algunos avances notables, como la introducción del sistema de cambio rápido en la década de 1970 y la aparición de sistemas modulares que utilizan el acoplamiento cónico poligonal (especificado como norma ISO 26623) y sistemas basados en la adaptación **HSK** para altas velocidades de rotación en la década de 1990, el desarrollo de las fijaciones se rige por el viejo dicho: “si funciona, no lo toques”.



Pero esto no significa que los progresos e innovaciones se han acabado. El tiempo impone nuevas exigencias al mecanizado, que se ha transformado en nuevos requisitos para las máquinas herramienta y, en consecuencia, en las herramientas de corte y los portaherramientas, ambos son elementos de una cadena que permite el conocimiento de las capacidades de la máquina herramienta cuando un mecanizado parte de una superficie. El portaherramientas se relaciona con el eslabón más “conservador” de la cadena y ha sufrido menos cambios revolucionarios por las razones señaladas.

La digitalización de la industria y la filosofía INDUSTRIA 4.0 han tenido un fuerte impacto en los sistemas de fijación. La fabricación inteligente del futuro exige portaherramientas inteligentes, capaces de intercambiar datos en el mundo del Internet de las Cosas (IoT). Esto dará como resultado la creación de portaherramientas con más capacidad de información al añadirle cada vez más unidades electrónicas. En la actualidad ya existen portaherramientas con chips integrados que comunican sus datos a las máquinas herramienta, robots industriales y sistemas de almacenamiento, entre otros.

La incorporación de la nueva función de datos es, sin duda, extremadamente importante para el desarrollo de los portas. Sin embargo, los ingenieros de I+D siguen buscando opciones de mejora para los portaherramientas como sistemas mecánicos.

Las recientes mejoras en el diseño de los portaherramientas se observan claramente en los siguientes aspectos:

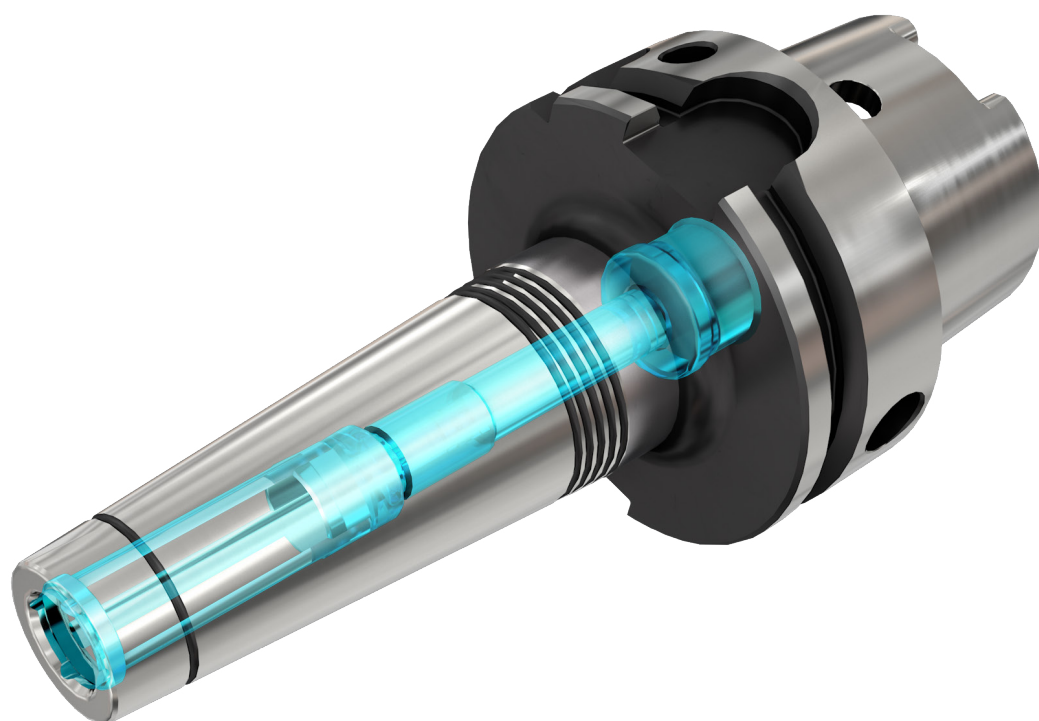
## Equilibrado de Masas

El equilibrio de masas es un nombre general que se da a los métodos de diseño que hacen que la distribución de la masa de un cuerpo rotativo sea teóricamente simétrica en relación al eje del cuerpo.

Mediante estos métodos, los ingenieros intentaban garantizar los parámetros de equilibrado necesarios en la fase de diseño previa a la producción. El modelado en 3D en un entorno de sistema CAD amplía considerablemente las posibilidades de realizar un equilibrado de masas correcto.

Dado que este equilibrado de masas es virtual, no puede sustituir al proceso “físico” con piezas reales. Sin embargo, un diseño de equilibrado de masas reduce sustancialmente el desequilibrio del futuro producto, y facilita en gran medida el equilibrado físico.

Los principios del equilibrado de masas son fundamentales para un diseño eficiente de portaherramientas rotativos.



### 1 Portapinzas Térmicos

Los métodos de mecanizado a alta velocidad (HSM) han elevado las exigencias de equilibrado de herramientas a un nivel superior. En HSM, las características dinámicas de una herramienta no se pueden separar del portaherramientas, se debe prestar especial atención al conjunto formado por la herramienta y el porta. Minimizar el desequilibrio de un conjunto es uno de los retos a los que se enfrentan los ingenieros de diseño de herramientas, ya que deben garantizar los parámetros de equilibrado necesarios en la fase de diseño previa a la producción. Este equilibrado de masas virtual no puede sustituir al proceso “físico” con piezas reales, aunque reduce sustancialmente el desequilibrio del futuro producto y facilita en gran medida el equilibrado físico. Los portapinzas térmicos axialmente simétricos cumplen a la perfección los requisitos de un portaherramientas equilibrado para HSM en la fase de diseño. Esto explica por qué el avance de los portapinzas térmicos es tan importante.

### 2 Refrigeración

El suministro de refrigerante a través del cuerpo de la herramienta y con salida dirigida a los filos de corte aumenta significativamente el rendimiento del mecanizado. La industria requiere portaherramientas más avanzados con opción de refrigeración interna, especialmente para el mecanizado con alta presión de refrigerante.

### 3 Sistema Modular de Cambio Rápido

Un diseño modular simplifica considerablemente la búsqueda de la configuración óptima del conjunto de herramientas y reduce la necesidad de herramientas especiales.

### 4 Aplicaciones de Largo Alcance

Las aplicaciones de mecanizado de largo alcance tienen poca estabilidad, debido a que requieren conjuntos de herramientas con grandes voladizos. Otro objetivo del desarrollo de los sistemas de fijación es incrementar la resistencia a las vibraciones.

### 5 Conexiones Cónicas Poligonales

Se trata de un tipo de conexión ISO muy utilizada en máquinas multifunción y centros de torneado.

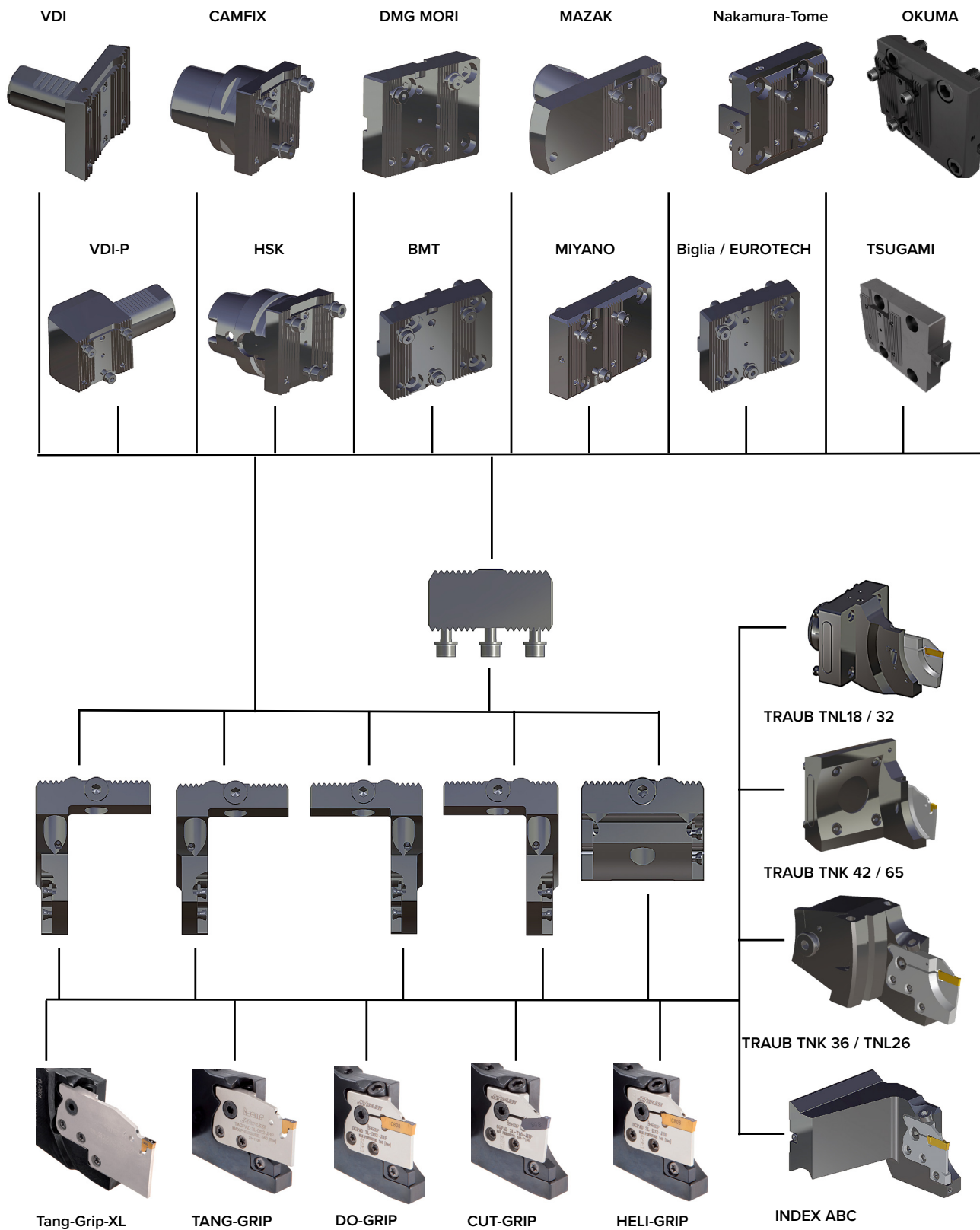
## ¿Los Términos “Sistemas de Sujeción” y ‘Utillaje’ son Sinónimos?

El término ‘sistemas de sujeción’ se refiere habitualmente a los sistemas de fijación de herramientas entre los que se encuentran diversos tipos de dispositivos como, portafresas, portapinzas o adaptadores, y sus accesorios (extensiones, reductores, anillos, casquillos, etc.). “Utillaje” es una definición mucho más amplia. “Utillaje” puede referirse al conjunto de herramientas de corte junto a los dispositivos de fijación destinados a una máquina-herramienta. Sin embargo, “utillaje” trata en muchas ocasiones a la gestión de herramientas, y en muchas otras puede referirse también a los sistemas de sujeción de la pieza.

Estas son sólo algunas de las principales indicaciones para el desarrollo de portaherramientas. Las demás están relacionadas con soluciones para obtener una elevada transmisión del par, evitar la caída de la herramienta debida a una alta fuerza de corte axial, incrementar la precisión y aumentar la ergonomía, entre otras. La percepción de que los avances en el diseño de portaherramientas están estancados es totalmente errónea.

Fig. 13.1.

Revisión del Sistema



Todas las marcas y logos son propiedad de sus respectivas compañías

Sistemas de Fijación Modulares ISCAR para Tornos



Fig. 13.2.

**Portapinzas ER Estándar**

DIN 69871 30, 40, 50



HSK 40, 50, 63, 100



BT 30, 40, 50



CAMFIX C4-C8



DIN 2080 30, 40, 50



SHORTIN DIN69871 40, 50 BT 40, 50 HSK 63, 100



HSK E SRK 32-40-50-63



BT40-SRK DIN69871-40 SRK



**Portapinzas Térmico SHRINKIN ER SRK Compatible con las Pinzas ER DIN 6499 Estándar**

ER20



ER25



ER32



# Las Herramientas y la Informática, Compañeras Inseparables

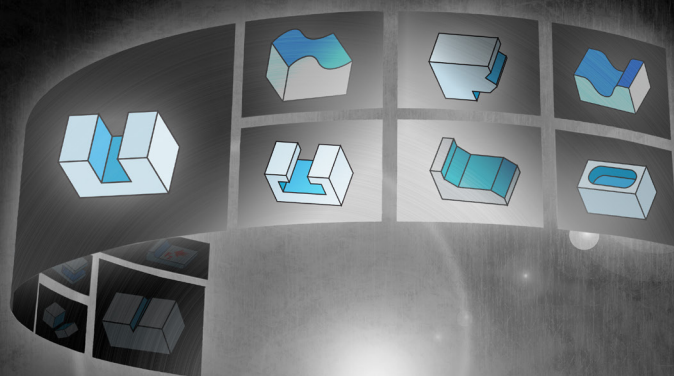
Actualmente, el escenario típico de una planta o taller de mecanizado está formado por filas de máquinas CNC, que comparten espacio con robots industriales que transportan las piezas y un mínimo número de operarios de máquinas. Las máquinas CNC han sido el catalizador creado por la tecnología informática para hacer posible esta nueva realidad. Las nuevas máquinas multitejes facilitan la fabricación de formas muy complejas con el mínimo tiempo de puesta a punto. Las avanzadas capacidades de fresado y torneado en máquinas multifunción abren nuevas oportunidades para una planificación efectiva de los procesos. Los innovadores sistemas de mecanizado CNC están a punto de cumplir el sueño de cualquier fabricante: producir una pieza completa de en un solo paso. El increíble avance de la tecnología CNC permite comprender de forma práctica los métodos de mecanizado, que durante mucho tiempo han sido únicamente teóricos.

Los progresos en el mundo del control numérico informatizado son impresionantes, con amplia repercusión en los sectores relacionados, como los sistemas de sujeción de la máquina y la herramienta y las herramientas de corte en general.

## Industria 4.0

El término “Industria 4.0” puede tener diferentes significados, por lo que es algo confuso.

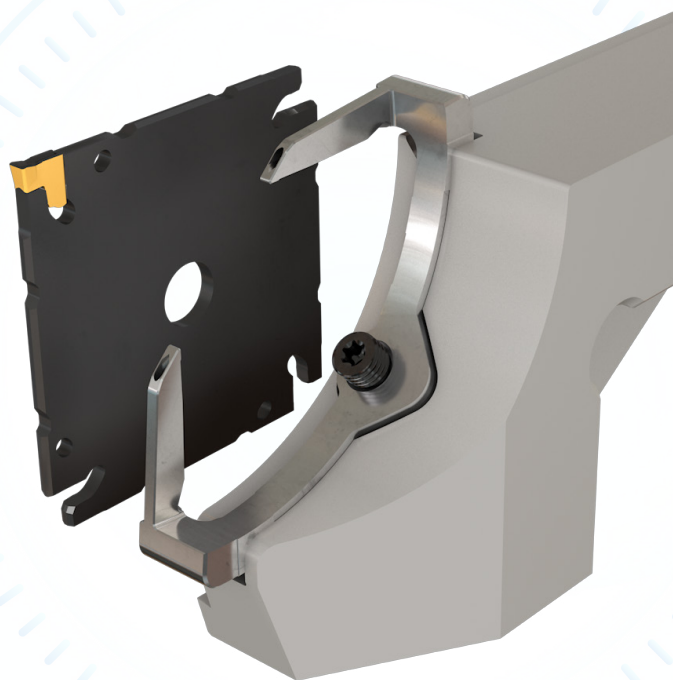
Originalmente, “Industria 4.0” (“Industrie 4.0”) era el nombre dado a una iniciativa gubernamental alemana para la digitalización de las industrias productivas nacionales, con un plazo de ejecución de 10-15 años. El concepto Industria 4.0 ha introducido la idea de informatización compleja y automatización de la producción, intercambio de información entre los sistemas de procesos industriales entre sí y procesos de toma de decisiones a niveles nuevos y antes impensables.



¿Qué esperan los fabricantes de máquinas herramienta de los de herramientas de corte? ¿Qué requisitos deben cumplir las nuevas herramientas de corte? ¿Cómo deben proceder los fabricantes de herramientas a la hora de planificar su plan de producción a corto plazo? La respuesta es simple...¡La próxima generación de herramientas debe ser mejor! Mecanizar más rápido, garantizando una mayor duración de la herramienta y un excelente acabado superficial y mucho más. Son exigencias obvias e irrefutables a las que todo fabricante de herramientas debe hacer frente para asegurar su futuro. Sin embargo, el progreso de la tecnología CNC ha puesto de manifiesto la necesidad de una nueva faceta del diseño de herramientas: el componente digital. Este elemento virtual se ha convertido en una parte integral de la herramienta de corte del mañana.

La evolución de la fabricación inteligente en la actualidad está basada en las tecnologías de red. En una factoría inteligente, las máquinas CNC trabajan en tiempo real y realizan el intercambio mutuo de información y datos de un entorno que mezcla los mundos real y virtual. Los sistemas interactúan con el entorno a través del Internet de las Cosas, denominada IoT (Internet of Things). Por ejemplo, el mundo real muestra la posición de una herramienta y las fuerzas de corte actuantes, mientras que el mundo virtual especifica las trayectorias de la herramienta en 3D durante una operación en función de las características de la máquina. Finalmente, los mundos real y virtual se complementan en una herramienta de corte.

El componente digital de una herramienta comprende una inmensa cantidad de información y datos, como los modelos 3D y 2D, la duración estimada y el tiempo acumulado de mecanizado, entre otros, así como de sus límites, como la velocidad máxima de rotación, las condiciones de corte óptimas y otros datos adicionales. En el futuro, las puertas de



las factorías inteligentes estarán cerradas para las herramientas que carezcan de componente digital, por lo que los fabricantes de herramientas de corte ya han empezado a prepararse y adaptarse a estos cambios. El elemento virtual se centra ahora en el desarrollo de nuevas herramientas y soluciones de utillaje.

Durante siglos, los planos técnicos han sido considerados como un lenguaje común para definir una herramienta, pero, en la actualidad, los sistemas de ingeniería asistida por ordenados (CAE) y CNC utilizan otros métodos para la transmisión de datos. La cooperación y el esfuerzo de especialistas de todo el mundo, de diferentes campos de la ciencia y la tecnología, han dado como resultado la norma ISO 13399, que especifica cómo deben ser las representaciones informáticas y el intercambio de datos relacionados con las herramientas de corte y sus portaherramientas, como base del nuevo lenguaje. La conformidad con esta norma significa que la base del componente digital de la herramienta sigue siendo independiente y que los sistemas informáticos pueden utilizar los datos sin problemas. Esta nueva norma es sólo el primer paso.

Una factoría inteligente requiere sistemas de producción más inteligentes y herramientas de corte más inteligentes para estos sistemas. La especificación de toda información relacionada con las propiedades de las herramientas, como la duración, su identificación específica o sus limitaciones, y su representación digital requieren una regulación uniforme, como la norma ISO 13399, pero más exhaustiva. Para ello será necesaria la estrecha cooperación entre empresas e instituciones gubernamentales.



La producción actual de herramientas de corte no se entiende sin las máquinas CNC más avanzadas.

Hoy en día, el usuario de herramientas de corte espera recibir, además de la herramienta física, un rápido acceso a la información correspondiente, como puede ser la opción de realizar un montaje virtual para comprobar colisiones, encontrar la configuración óptima de la herramienta, datos de mecanizado claros y saber cómo repercutirá el cambio de los parámetros de corte en la duración de la herramienta. Se trata del componente virtual de la herramienta, cuya importancia no para de crecer.

La información ha acompañado siempre a las herramientas de corte, antes incluso de la digitalización del sector y de la Industria 4.0.

Los datos del catálogo, los planos de la herramienta y las recomendaciones relacionadas con las aplicaciones, que se facilitaban primero en formato impreso y más tarde en formato electrónico, siguen siendo imprescindibles en la industria del mecanizado de metales. La informatización ha ampliado las opciones de la atención al cliente con más recursos en forma de datos, ya que existen diferentes aplicaciones para seleccionar la herramienta óptima y calcular su duración con unas condiciones específicas de mecanizado. Por ejemplo, la Calculadora de Potencia de Mecanizado de **ISCAR** realiza un rápido cálculo de las fuerzas de corte, carga de flexión y consumo de potencia. El usuario puede acceder fácilmente a los datos y a la información relacionada utilizando ordenadores o dispositivos móviles. Los avances en las comunicaciones en red ha introducido el mecanizado de metales en el mundo virtual.

La tecnología de representación digital (gemelo digital), que incluye el modelo de mecanizado, la comprobación de colisiones y la optimización del proceso para obtenerla mejor estrategia de corte, entre otros, complementa los procesos productivos. En una factoría inteligente, el gemelo digital es la pieza más importante de los cimientos. Como es lógico, en el almacén de herramientas de una factoría inteligente sólo entrarán las herramientas que tengan gemelo digital.

El progreso de la tecnología CNC ha generado nuevas exigencias para las herramientas de corte. Se espera que el fabricante de herramientas suministre la propia herramienta como objeto material, su gemelo digital en tiempo real y el software correspondiente. Esto permite la incorporación fluida de los datos de la herramienta a los sistemas CAD/CAM y de producción, y la transmisión directa a través de la red del Internet de las Cosas (IoT) de paquetes de herramientas y conjuntos virtuales.

Fig. 14.2.



Durante el proceso de planificación, las opciones de montaje de herramientas virtual permite encontrar la configuración óptima de la herramienta y simular su trayectoria.



## Herramientas Digitales de ISCAR

En la actualidad, el componente digital de herramientas de ISCAR, que se basa en la norma ISO 13399, incluye las siguientes aplicaciones:

- Catálogo electrónico con diferentes funciones de búsqueda, información actualizada de promociones y datos de interés.
- Fichero .p21 (STEP), que incluye la clase identificativa del productos que permite una exhaustiva representación e intercambio de datos de la herramienta.
- Representación del modelo 3D de la herramienta y programación CNC según norma ISO 10303 (STEP)
- Representación 2D de la herramienta en formato DXF para la documentación de los procesos planificados, esquemas, planos de disposición de la herramienta y hojas de especificaciones.
- Opciones de montaje virtual de herramientas de torneado, fresado y taladrado para la generación de conjuntos digitales gemelos en 3D y 2D
- NEOITA – El Asesor de Herramientas ISCAR es un sistema que recomienda la herramienta óptima para una aplicación específica.
- Calculadora de mecanizado y optimizador de calidades.

Fig. 14.3.

Designation	WF	DCONMS	DMIN	LF	MID
AWC-D32-DDUNL-11T	22.00	32.00	40.00	32.00	DNMG 332-NF
AWC-D32-DDUNL-11T	22.00	32.00	40.00	32.00	DNMG 332-NF
AWC-D40-DDUNL-15T	27.00	40.00	50.00	38.00	DNMG 442-F3M
AWC-D40-DDUNL-15T	27.00	40.00	50.00	38.00	DNMG 442-F3M



El paquete de herramientas digitales de ISCAR está formado por ficheros p.21, representaciones de herramientas en 3D y 2D y otros productos para la avanzada tecnología CNC



# Buscando la Herramienta Óptima

¿Cómo podríamos definir las expectativas puestas por los fabricantes de piezas en los productores de herramientas de corte? Se espera que los fabricantes de herramientas de corte proporcionen la solución óptima de mecanizado para una aplicación dada. Entonces, ¿cómo se define la solución óptima de mecanizado para una aplicación específica? Es obvio que se deben establecer los requisitos para conseguir la solución ideal. Los parámetros de las herramientas de corte también se definen en base a unos principios que permiten seleccionar la herramienta óptima para una aplicación dada. Con frecuencia, la documentación técnica propone una u otra herramienta como la óptima para una aplicación. Por tanto, para obtener la mejor solución, es vital definir claramente todos los requisitos.

Los criterios para encontrar la herramienta de corte óptima dependen de varios factores. El tipo de fabricación (pequeños lotes, grandes series, decoletaje), gama de productos, material a mecanizar, maquinaria utilizada y estrategia de corte, entre otros, tienen un impacto directo a la hora de seleccionar la herramienta más efectiva. El fabricante busca la herramienta que garantice los mayores niveles de rendimiento. Esto se puede lograr optimizando la estrategia de corte y fabricando la herramienta con la calidad de material idónea. Pero, tanto la estrategia de corte como la calidad del material son factores clave asociados al tipo de material a mecanizar. Entonces, ¿cuál es la herramienta de corte ideal? Por ejemplo, una herramienta efectiva para el mecanizado de fundición muy probablemente no será la mejor para súper aleaciones resistentes al calor.

Los fabricantes se enfrentan constantemente a dilemas relacionados con la gran variedad de piezas de diferentes formas y tamaños a mecanizar. El perfil de una aplicación dada puede requerir una herramienta de largo alcance, mientras que, en otros casos, un gran voladizo supone una limitación que reduce la estabilidad del mecanizado, afectando inevitablemente al rendimiento.

La selección de la herramienta óptima es sólo parte de los múltiples factores críticos fundamentales en todos los procesos de mecanizado, aunque sin duda maximiza la rentabilidad del proceso. Para alcanzar este objetivo, se deben considerar otros factores interdependientes, como la utilización efectiva de las máquinas herramienta, la planificación eficiente del proceso, las fijaciones disponibles y la gestión del stock de herramientas, entre otros. Todas estas variables se pueden optimizar, y la búsqueda de la mejor herramienta puede ser el eslabón que permita cumplir este fin.

Los sistemas modernos de producción incluyen las más vanguardistas máquinas herramientas CNC de tecnología punta. Las máquinas de nueva generación son costosas, pero reducen la duración del ciclo de mecanizado, disminuyendo los costes de producción.



La herramienta de corte ideal debe proporcionar la mayor productividad, teniendo una duración estable y razonable. Para determinar la mejor solución, los fabricantes de herramientas desarrollan avanzadas tecnologías de corte, así como nuevas calidades de materiales que permitan un mecanizado fiable con altos índices de extracción de metal (MRR), para los diferentes parámetros de corte. Para cumplir con las expectativas de un mecanizado eficiente de diferentes materiales, las geometrías y calidades deben también ser las óptimas.

La reducción de los tiempos muertos de máquina es otra manera de reducir los costes de producción. Existen otros puntos de referencia relacionados con la herramienta, como garantizar su disponibilidad y minimizar el tiempo de puesta a punto necesario, que contribuyen en gran medida a que la solución elegida sea la idónea. El plazo de entrega de la herramienta es crucial para pasar de “adecuada” a “óptima”.

El lema “la mejor herramienta es la que tienes en la mano” nos ayuda a entender la importancia de este principio, según el que la herramienta ideal es la que está rápidamente accesible.

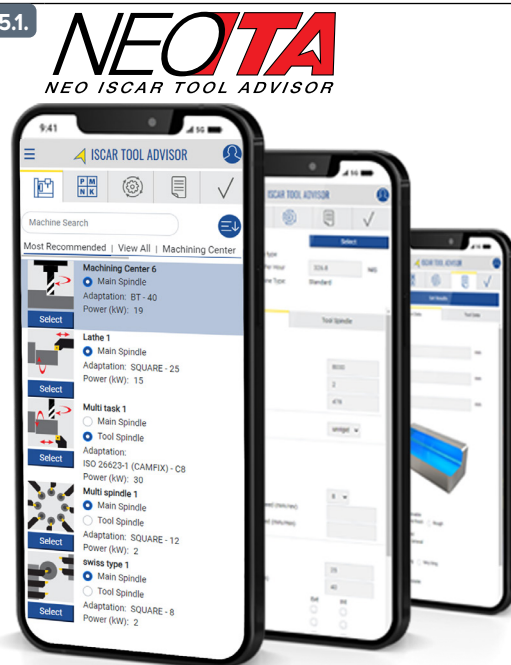
En un mundo perfecto, la herramienta ideal podría mecanizar piezas de diferentes formas, en grandes o pequeñas series, sin pérdida de rendimiento. La fabricación de herramientas a medida es un factor adicional para encontrar la solución óptima.

Las máquinas modernas están preparadas para las más avanzadas estrategias de mecanizado. Estas estrategias se diseñan, programan, comprueban y verifican en un entorno virtual de sistemas de ingeniería asistida por ordenador (CAE) antes de iniciar el proceso en una máquina CNC. Por tanto, la herramienta correcta tendrá un componente virtual, un modelo digital, en los sistemas CAE.

## NEOITA – El Asesor de Herramientas ISCAR

El Asesor de Herramientas de ISCAR, llamado NEOITA, es un motor de búsqueda por parámetros que “piensa” como un ingeniero de procesos y permite encontrar la herramienta óptima para una operación específica de mecanizado. Basándose en los análisis de ingeniería y en extensos conocimientos técnicos, el sistema genera un conjunto de propuestas con las soluciones más eficientes, junto con las condiciones de corte recomendadas, el cálculo del índice de extracción de metal y de la potencia necesaria, etc., y facilita el acceso directo al catálogo electrónico, a la aplicación de detección del desgaste de la plaquita, y más. Una nueva aplicación interactiva ha permitido la llegada de NEOITA a los dispositivos móviles. Gracias a la tecnología basada en la nube, ahora NEOITA está disponible 24/7 y en múltiples idiomas.

Fig. 15.1.



NEOITA, el Asesor de Herramientas ISCAR, está ahora disponible para dispositivos móviles.

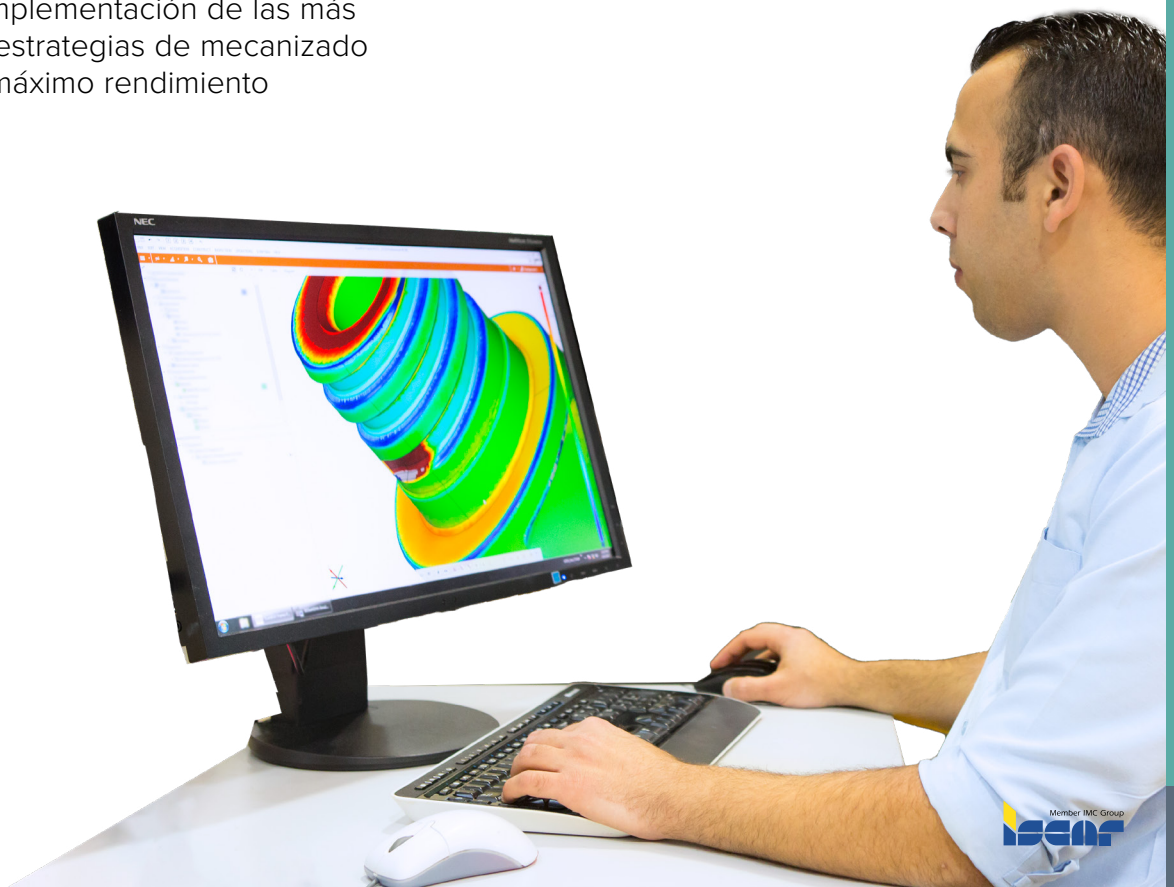


# ...Y la Innovación Nunca Se Detiene

## El Valor y el Desarrollo de las Herramientas de Corte

Imaginemos el taller de una moderna planta de mecanizado. Las innovadoras máquinas CNC de tecnología punta producen componentes complejos a partir de piezas con sofisticadas fijaciones. La herramienta de corte que da forma a la pieza no puede verse debido a su posición dentro de la máquina. En mecanizado, la herramienta de corte da forma a una pieza mediante la extracción de material. El sistema está formado por una máquina herramienta, un sistema de fijación para la pieza y otro para la herramienta. Para dar forma a la pieza se realizan distintos procesos de mecanizado con diferentes estrategias de corte. Los grandes avances de las máquinas herramienta les permiten realizar diferentes procesos que antes se tenían que hacer por separado y garantizan la implementación de las más vanguardistas estrategias de mecanizado para lograr el máximo rendimiento

Una herramienta de corte generalmente es el elemento más pequeño y económico del sistema tecnológico. Sin embargo, el valor real de la herramienta para el sistema es mucho mayor, ya que afecta directamente al rendimiento del mismo. ¿Por qué utilizar una máquina de alta velocidad si la herramienta no puede alcanzar esta velocidad? Las paradas de máquina durante el proceso de mecanizado son muy costosas. Nuestra meta es mecanizar más rápidamente para aumentar la productividad y reducir las paradas de máquina, es la forma de disminuir los costes de producción. La herramienta es nuestro instrumento para derribar la barrera de la productividad y aprovechar todo el potencial de las máquinas más avanzadas.



La herramienta de corte es el componente más pequeño del sistema tecnológico que tiene contacto directo con la pieza, por lo que es el eslabón que conecta la máquina con el material. Para aprovechar todas las ventajas que ofrecen las máquinas herramienta de tecnología punta y las estrategias para un mecanizado productivo, la herramienta de corte debe cumplir ciertos requisitos. La búsqueda de la mejor solución que cumpla con los requisitos de la creciente demanda de la moderna metalurgia es la base para los nuevos progresos en el campo de las herramientas de corte.

En la industria del mecanizado de metales se trabaja con diferentes materiales de ingeniería. Los progresos en la ciencia de los materiales y en metalurgia no sólo han traído nuevos materiales exóticos, sino también la tecnología para crear materiales con unas propiedades previamente definidas. La fabricación de piezas a partir de estos materiales ha mejorado significativamente las condiciones de corte a aplicar, aunque también ha complicado el mecanizado. En muchos casos, la clave para del éxito del mecanizado está relacionada con las limitaciones de la herramienta de corte.

El progreso tecnológico sigue avanzando. El mecanizado de metales está experimentando importantes avances, y el fabricante debe estar preparado para ellos. Los próximos cambios afectarán la producción de herramientas de corte, uno de los eslabones más importantes de la cadena del mecanizado. Por tanto, tener una idea clara de la dirección del progreso y de las nuevas exigencias de la industria es la piedra angular del éxito para los fabricantes de herramientas de corte. Esta es la clave para el desarrollo de nuevas herramientas y la demanda de una amplia gama de productos.

Existen diferentes direcciones para el desarrollo de las herramientas de corte. La forma “tradicional” es hacer las herramientas más resistentes, productivas y económicas. Otras direcciones están relacionadas con las avanzadas tecnologías productivas que han arraigado profundamente en la industria del mecanizado de metales.

### **El Curso de la Naturaleza**

La dirección tradicional del desarrollo acomete la mejora del rendimiento de las herramientas con geometrías de corte innovadoras, calidades de materiales avanzadas y diseños vanguardistas que garanticen una mayor rigidez, duración, etc. Puede parecer que esta dirección ya casi ha agotado todos sus recursos y no puede augurar cambios verdaderamente revolucionarios. Sin embargo, los fabricantes de herramientas de corte han logrado sorprender al mundo del mecanizado de metales con nuevos productos que ofrecen ventajas significativas, a pesar del concepto tradicional del diseño del producto. Un importante factor de éxito es el considerable avance de la producción de herramientas a nivel científico y tecnológico, los nuevos logros en pulvimetalurgia y recubrimientos y los sistemas modernos de verificación y control de calidad. El propio diseño de la herramienta ha experimentado un gran avance, gracias a los sistemas CAD/CAM y de modelado 3D, que han dado un notable impulso a la implementación de las innovadoras propuestas.

Los avances tecnológicos han permitido desarrollar nuevos métodos de mecanizado que requieren herramientas que cumplan las nuevas y rigurosas exigencias. Estas herramientas son capaces de cortar metales duros y a la vez eliminar la necesidad de operaciones posteriores de rectificado. Las herramientas de nueva generación pueden trabajar con unos índices de avance (HFM) y velocidad (HSM) extremadamente elevados, aplicando alta presión de refrigerante (HPC).

El diseño de este tipo de herramientas difiere del convencional en que este último debe incorporar funciones específicas para equipararse a las estrategias y métodos mencionados.

Los innovadores sistemas de mecanizado CNC están a punto de cumplir el sueño de cualquier fabricante: producir una pieza completa de en un solo paso. Las impresionantes funciones de las máquinas herramienta y multifunción y a los sistemas de producción híbridos de nueva generación, que combinan el arranque de viruta con la impresión 3D, son la evidencia del Gran paso dado en esta dirección. Cada vez existen más tornos de cabezal móvil, lo que permite que cada vez más centros de torneado amplíen sus funciones. Lógicamente, este progreso ha creado otras necesidades en cuanto a la multifuncionalidad y duración de las herramientas de corte.

Los intentos de encontrar una alternativa rentable a las herramientas de metal duro integral dieron un nuevo impulso a los diseños con cabezas intercambiables. Algunos de estos diseños incluso han supuesto una sustancial ventaja ya que, gracias a la elevada repetibilidad del voladizo de la cabeza con respecto de la herramienta, no es necesario realizar ajustes adicionales tras la sustitución de la cabeza gastada. Esta sustitución se realiza rápidamente sin retirar la herramienta de la máquina. Esta prestación “sin puesta a punto” disminuye los tiempos muertos de máquina y, junto con diferentes ventajas económicas, ofrece unas prometedoras perspectivas para que el diseño de cabezas intercambiables sea una dirección válida para el desarrollo de las herramientas de corte.

La industria del mecanizado de metales ha endurecido sus exigencias de versatilidad y mantenimiento de las herramientas de corte. Estos cambios han provocado una buena respuesta por parte de los fabricantes de herramientas. Por ejemplo, una fresa típica con plaquitas intercambiables dispone de conductos internos para el suministro de refrigerante. El fabricante de herramientas no solo especifica el par necesario para apretar los tornillos de fijación de la plaquita, también suministra las llaves dinamométricas que garantizan este par.



### Tendencias Emergentes y Nuevos Retos

En el sector del mecanizado de metales, el fabricante de herramientas de corte se enfrenta constantemente a nuevos retos.

El significativo aumento del uso de composites y materiales sinterizados requiere herramientas específicas, en muchas ocasiones especiales.

Gracias a la creciente tendencia a la impresión 3D y al conformado de metales de precisión, la forma de las piezas producidas es muy cercana a la forma final. Como consecuencia, hay una importante reducción de stock, que se sustituye por diferentes operaciones de mecanizado. Por tanto, el mecanizado productivo y de precisión con bajo consumo de potencia, realizado con máquinas de elevada potencia, está aumentando sustancialmente. Las avanzadas máquinas multiejes pueden generar formas complejas con gran precisión utilizando los diferentes métodos de mecanizado.

Los materiales de baja maquinabilidad del grupo ISO S, especialmente las súper aleaciones a altas temperaturas (HTSA) y las calidades de titanio  $\beta$ , precisan bajas velocidades de corte. Esta demanda de piezas fabricadas en estos materiales requiere que se agilicen las operaciones de mecanizado. Resulta que la parte más pequeña del sistema tecnológico (la herramienta de corte) puede ser el obstáculo principal para el incremento de la productividad.

Parece que la solución definitiva está relacionada con el diseño y la producción.

Al mismo tiempo, los cambios que se están produciendo en la industria han planteado a los fabricantes de herramientas nuevas tareas completamente diferentes.



Los conceptos de Industria 4.0 y producción digitalizada han llevado al fabricante de herramientas al mundo virtual. Este entorno digital requiere que la herramienta de corte, un producto tangible, se suplemente con su correspondiente gemelo virtual y con un desarrollado servicio de información. Este paso es imprescindible para llegar a la futura factoría inteligente, sin él, el fabricante de herramientas de corte se quedará a las puertas de esta factoría.

El cliente del mañana espera opciones de diseño virtuales, necesarias para el proceso de modelado, la integración de conjuntos de herramientas y el diseño conceptual de herramientas especiales, entre otros.

El comercio digital tiene un importante papel en este imperioso cambio. El COVID 19 ha acelerado la influencia del comercio electrónico, y cabe esperar que la creciente demanda de los servicios pre y post venta online será parte del amplio espectro de servicios integrales ofrecidos por el fabricante de herramientas.

En consecuencia, el sistema “Todo en Uno” del comercio electrónico, que incluye los datos de la herramienta, el acceso a diferentes tipos de información, la generación de modelos, los cálculos económicos y de ingeniería, el análisis de la duración de la herramienta, el servicio inmediato, los consejos, conocimientos, competencias, etc., será parte integral de los productos de los fabricantes de herramientas de corte.

La lógica de los desarrollos industriales requiere nuevas herramientas de corte del mayor rendimiento y con información integrada. Este equilibrio entre el mundo real y el virtual será en breve reconocido en la industria de las herramientas de corte y definirán el IQ de una herramienta, así como su incorporación a los sistemas productivos más vanguardistas.





## Calidad

ISCAR ha sido certificada por la prestigiosa entidad Stand Ards Institución, ya que cumple con todas las normas de calidad que garantizan la entrega de productos de la máxima calidad. Las instalaciones de Control de Calidad incluyen un laboratorio metalúrgico, pruebas de materias primas, procedimiento de pruebas en line y un centro de mecanizado para la inspección del rendimiento de las herramientas y del producto final. Sólo los mejores productos entran a formar parte del inventario de ISCAR.

**ISCAR LTD. Israel**

**Central**  
Tel +972 (0)4 997 0311  
Fax +972 (0)4 987 3741  
headquarter@iscar.co.il

**Argentina**

ISCAR TOOLS ARGENTINA SA  
Tel +54 114 912 2200  
Fax +54 114 912 4411  
admin@iscararg.com.ar

**Australia**

ISCAR AUSTRALIA PTY. LTD  
Tel +61 (0) 2 8848 3500  
Fax +61 (0) 2 8848 3511  
iscaraus@iscar.com.au

**Austria**

ISCAR AUSTRIA GmbH  
Tel +43 7252 71200-0  
Fax +43 7252 71200-999  
office@iscar.at

**Bielorrusia**

JV ALC "TWING-M"  
Tel +375 17 506-32-38  
+375 17 506-33-31/65  
Tel/Fax +375 17 506-32-37  
info@twing.by  
www.twing.by

**Bélgica**

n.v. ISCAR BENELUX s.a.  
Tel +32 (0) 2 464 2020  
Fax +32 (0) 2 522 5121  
info@iscar.be

**Bosnia**

(Representante)  
Tel +387 32 201 100  
Fax +387 32 201 101  
info@iscar.ba

**Brasil**

ISCAR DO BRASIL COML. LTDA.  
Tel +55 19 3826-7100  
Fax +55 19 3826-7171  
DDG 0800 701 8877  
iscar@iscarbrasil.com.br

**Bulgaria**

ISCAR BULGARIA  
Tel/Fax +359 431 62557  
aa\_iscar@infotel.bg

**Canadá**

ISCAR TOOLS INC.  
Tel +1 905 829 9000  
Fax +1 905 829 9100  
admin@iscar.ca

**Chile**

J&A INTERNATIONAL  
Tel +56 2 2232 5838  
amedina@jya.cl  
www.jya.cl

**China**

ISCAR CHINA  
Tel +86 21 8024 8888  
iscar@iscar.com.cn

**Colombia**

ISCAR Andina  
Tel +57 310 380 9932  
Tel/fax +57 1 896 65 78  
iscar@iscar.com.co

**Croacia**

ISCAR ALATI d.o.o.  
Tel +385 (0) 1 33 23 301  
Fax +385 (0) 1 33 76 145  
podrska@iscar.hr

**Chipre**

WAMET (Demetriades) Ltd.  
Tel +357 (0) 2 336660/5498  
Fax +357 (0) 2 333386  
wamet@cytanet.com.cy

**República Checa**

ISCAR CR s.r.o.  
Tel +420 377 420 625  
Fax +420 377 420 630  
iscar@iscar.cz

**Dinamarca**

KJ VAERKTOEJ AS/ISCAR DENMARK  
Tel +45 70 11 22 44  
Fax +45 46 98 67 10  
kj@kj.dk

**Ecuador**

ISCAR Andina  
Tel/fax +57 1 821 93 38  
iscar@iscar.com.co  
atencioncliente@iscar.com.co

**Estonia**

KATOMSK AS  
Tel +372 6775 671  
Fax +372 6720 266  
aleksei@katomsk.ee

**Finlandia**

ISCAR FINLAND OY  
Tel +358-(0)9-439 1420  
Fax +358-(0)9-466 328  
info@iscar.fi

**Francia**

ISCAR FRANCE SAS  
Tel +33 (0)1 30 12 92 92  
Fax +33 (0)1 30 12 95 82  
info@iscar.fr

**Alemania**

ISCAR Alemania GmbH  
Tel +49 (0) 72 43 9908-0  
Fax +49 (0) 72 43 9908-93  
gmbh@iscar.de  
www.iscar.de

**Grecia**

INTERNATIONAL TOOLS  
K.-X. GEORGOPOULOS & SIA O.E  
Tel +30 210 346 0133  
Fax +30 210 342 5621  
info@internationaltools.gr

**VIMA**

V. Mazloumian & Sons  
Tel +30 2310 517-117 / 544-521  
Fax +30 2310 529-107  
vimaco@otenet.gr  
http://www.vimaco.gr

**Hong Kong**

MTC TOOLING SYSTEMS LTD  
Tel +85-2-23054838  
Fax +85-2-27988789  
yoongkamsing@hotmail.com

**Hungría**

ISCAR HUNGARY KFT.  
Tel +36 28 887 700  
Fax +36 28 887 710  
iscar@iscar.hu

**India**

ISCAR India Ltd.  
Tel +91 77009 63707  
sales@iscar.in

**Indonesia**

CV MULTI TEKNIK  
Tel +62-21-29206242/44/45/59  
Fax +62-21-29206243  
contact@multi-teknik.co.id

**Irlanda**

HARD METAL MACHINE TOOLS  
Tel +353 (0) 1 286 2466  
Fax +353 (0) 1 286 1514  
phannigan@hardmetal.ie  
www.hardmetal.ie

**Italia**

ISCAR ITALIA srl  
Tel +39 02 93 528 1  
Fax +39 02 93 528 213  
marketing@iscaritalia.it

**Japón**

ISCAR JAPAN LTD.  
Tel +81 6 6835 5471  
Fax +81 6 6835 5472  
iscar@iscar.co.jp

**Letonia**

MECHA, UAB  
Tel +370 37 407 230  
Fax +370 37 407 231  
info@mecha.lt

**Lituania**

MECHA, UAB  
Tel +370 37 407 230  
Fax +370 37 407 231  
sigitas@mecha.lt

**Méjico**

ISCAR MÉXICO  
Tel +52 (442) 214 5505  
Fax +52 (442) 214 5510  
iscarmex@iscar.com.mx

**Países Bajos**

ISCAR NEDERLAND B.V.  
Tel +31 (0) 182 535523  
Fax +31 (0) 182 572777  
info@iscar.nl

**Nueva Zelanda**

ISCAR PACIFIC LTD.  
Tel +64 (0) 9 573 1280  
Fax +64 (0) 9 573 0781  
iscar@iscarpac.co.nz

**Macedonia del Norte**

(Representante)  
Tel +389 2 309 02 52  
Fax +389 2 309 02 54  
info@iscar.com.mk

**Noruega**

SVEA MASKINER AS  
Tel +47 32277750  
Fax +47 32277751  
per.martin.bakken@svea.no

**Perú**

HARTMETALL SAC  
Tel: (511) 6612699  
otorres@hartmetallgroup.com

**Filipinas**

MESCO  
Tel +63 2631 1775  
Fax +63 2635 0276  
mesco@mesco.com.ph

**Polonia**

ISCAR POLAND Sp. z o.o.  
Tel +48 32 735 7700  
Fax +48 32 735 7701  
iscar@iscar.pl

**Portugal**

ISCAR Portugal, SA  
Tel +351 256 579950  
Fax +351 256 586764  
info@iscarportugal.pt

**Rumanía**

ISCAR Tools SRL  
Tel +40 (0)312 286 614  
Fax +40 (0)312 286 615  
iscar-romania@iscar.com

**Serbia**

ISCAR TOOLS d.o.o.  
Tel +381 11 314 90 38  
Fax +381 11 314 91 47  
info@iscartools.rs

**Singapur**

SINO TOOLING SYSTEM  
Tel +65 6566 7668  
Fax +65 6567 7336  
sinotool@singnet.com.sg

**Eslovaquia**

ISCAR SR, s.r.o.  
Tel +421 (0) 41 5074301  
Fax +421 (0) 41 5074311  
info@iscar.sk

**Eslovenia**

ISCAR SLOVENIJA d.o.o.  
Tel +386 1 580 92 30  
Fax +386 1 562 21 84  
info@iscar.si

**Sudáfrica**

ISCAR SOUTH AFRICA (PTY) LTD.  
ShareCall 08600-47227  
Tel +27 11 997 2700  
Fax +27 11 388 9750  
iscar@iscarsa.co.za

**Corea del Sur**

ISCAR KOREA  
Tel +82 53 760 7594  
Fax +82 53 760 7500  
leeyj@taegutec.co.kr

**España**

ISCAR IBERICA SA  
Tel +34 93 594 6484  
Fax +34 93 582 4458  
iscar@iscarib.es

**Suecia**

ISCAR SVERIGE AB  
Tel +46 (0) 18 66 90 60  
Fax +46 (0) 18 122 920  
info@iscar.se

**Suiza**

ISCAR HARTMETALL AG  
Tel +41 (0) 52 728 0850  
Fax +41 (0) 52 728 0855  
office@iscar.ch

**Taiwán**

ISCAR Taiwán Ltd.  
Tel +886 (0)4-24731573  
Fax +886 (0)4-24731530  
iscar.taiwan@msa.hinet.net

**Tailandia**

ISCAR Tailandia Ltd.  
Tel +66 (2) 7136633-8  
Fax +66 (2) 7136632  
iscar@iscarthailand.com

**Turquía**

ISCAR Kesici Takim  
TIC. VE. IML. LTD  
Tel +90 (262) 751 04 84 (Pbx)  
Fax +90 (262) 751 04 85  
iscar@iscar.com.tr

**Ucrania**

ISCAR UKRAINE LLC  
Tel +38 (050) 440 23 91  
info@iscar.com.ua

**Emiratos Árabes Unidos**

ISCAR GULF TRADING LLC  
Tel +971 4 886 4547  
www.svrs-mena.com

**Reino Unido**

ISCAR TOOLS LTD.  
Tel +44 (0) 121 422 8585  
Fax +44 (0) 121 423 2789  
sales@iscar.co.uk

**Estados Unidos**

ISCAR USA  
Arlington  
Central en EE.UU.  
300 Westway Place  
Arlington, TX 76018  
Tel +1 817-258-3200  
usmarketing@iscarusa.com

**Charlotte**

Centro de Producción  
3020 Whitehall Park Drive  
Charlotte, NC 28273  
Tel +1 817 258-3202  
usmarketing@iscarusa.com

**Venezuela**

FERREINDUSTRIAL ISO-DIN C.A.  
Tel +58 2 632 8211/633 4657  
Fax +58 2 632 5277  
iso-din@cantv.net

**Vietnam**

ISCAR VIETNAM  
(Representante)  
Tel +84 8 38 123 519/20  
Fax +84 8 38 123 521  
iscarvn@hcm.fpt.vn

# www.iscar.com

Por favor, consulte en el catálogo electrónico de ISCAR la información técnica actualizada de nuestros productos



# Conozca las Herramientas de Corte

Guía de Referencia ISCAR

