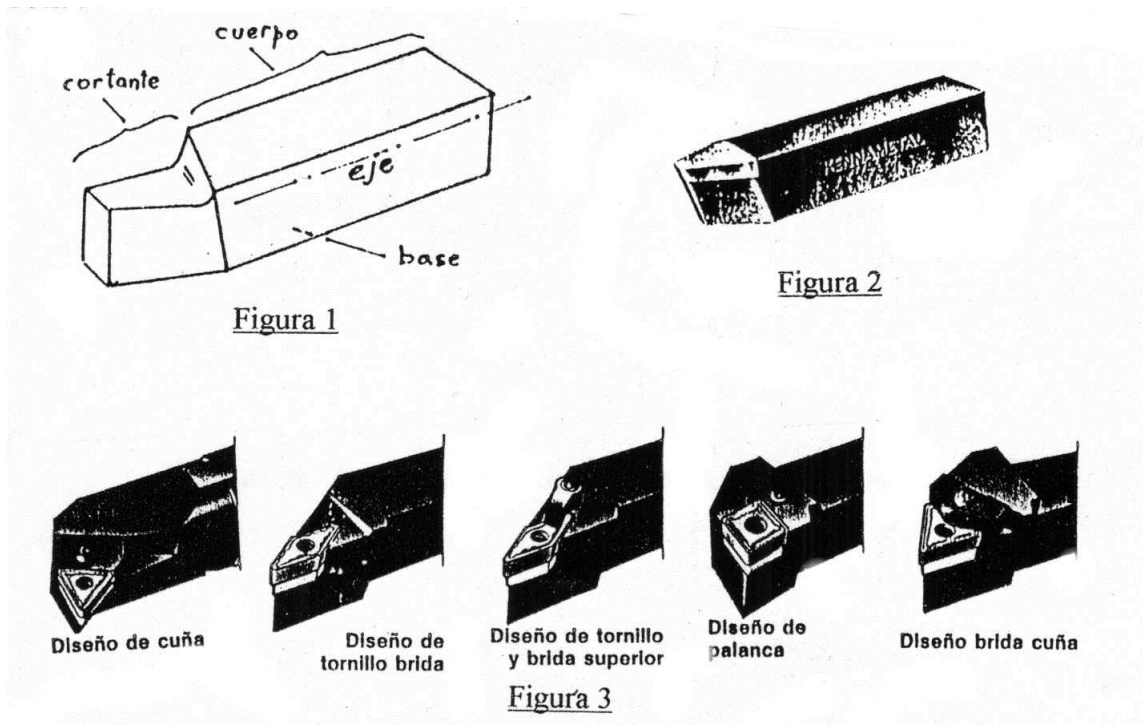


GEOMETRÍA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

Se hará referencia a la herramienta monocortante de filo recto, ejemplos de la cual son la mayor parte de las empleadas para torneado, limado, cepillado, mortajado y alesado. Con los arreglos correspondientes a cada caso, el estudio puede extenderse a las herramientas de forma, de uno o mas cortes y filo no recto, tanto las de movimiento rectilíneo como las rotativas.

ARISTAS Y SUPERFICIES: una herramienta recta, monocortante, no giratoria, puede estar constituida por una barra de sección cuadrada, rectangular o circular, en uno de cuyos extremos se afilan las superficies que formarán su parte activa o cortante (fig.1); en este caso toda la barra es del mismo material, un acero de herramientas u otra aleación apta para producir arranque de virutas. Pero también puede estar constituida por una plaquita de material cortante soldada en el extremo de una barra soporte (fig.2), o un inserto de material cortante, desmontable, fijado mecánicamente en el alojamiento de un portaherramienta de diseño apropiado (fig.3). La plaquita soldada es reafilable, mientras que el inserto generalmente se descarta luego que todos sus filos se han desgastado.



Para describir la geometría de la herramienta, conviene ubicar la parte cortante en posición de trabajo. La figura 4 muestra la herramienta en una operación de cilindrado en el torno. La posición “mas natural” para una herramienta monocortante es aquella en la que su eje coincide con la dirección del avance de penetración y su plano de base es perpendicular a la dirección del movimiento de corte principal. Esta posición es la esquematizada en la figura 4.

Sus elementos mas importantes son los filos y las superficies adyacentes, que se definen como sigue:

Cara de ataque (o de desprendimiento, ABCD): por sobre ella fluye la viruta.

Cara de incidencia principal o Flanco principal (ABA'B'): es la que durante el trabajo está siempre enfrentada a la superficie transitoria de la pieza.

Filo principal (AB): es la intersección entre las 2 caras anteriores. Produce el arranque de la viruta atacando la superficie transitoria de la pieza.

Filo secundario (BC): Arista cuya intersección con el filo principal determina la punta de la herramienta. Los filos principal y secundario delimitan la cara de ataque.

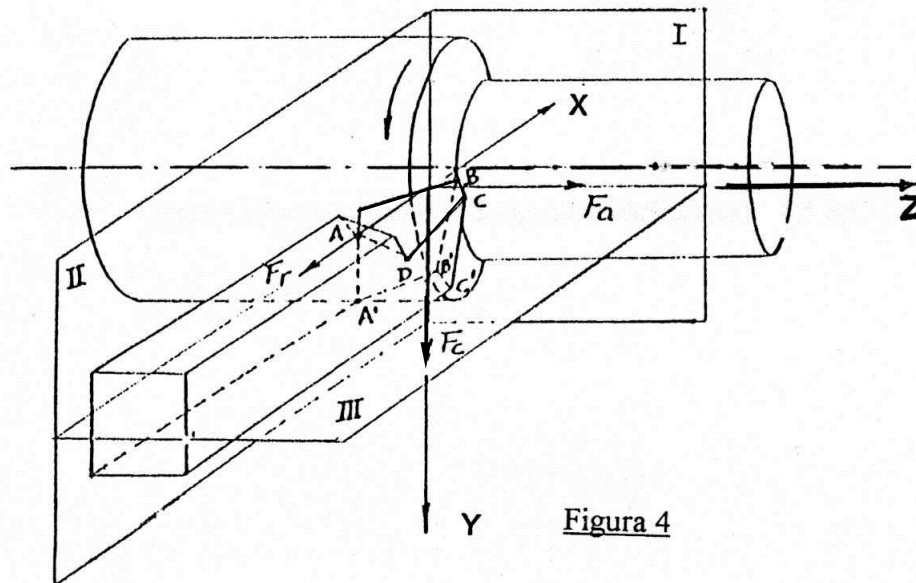


Figura 4

Punta (B): Ya definida en el ítem anterior. Puede ser aguda o redondeada.

Cara de incidencia secundaria o flanco secundario (BCB'C'): Se encuentra debajo del filo secundario, y pasa frente a la superficie mecanizada.

Plano de base (A'B'C'): lado opuesto a la cara de ataque; superficie de apoyo sobre el dispositivo de fijación.

ANGULOS: los ángulos que forman las caras y aristas entre sí o con respecto a un sistema propio de ejes de referencia, variarán en función de la orientación del plano en el cual ellos se miden. Por ejemplo: el ángulo entre la cara de ataque y el plano de base tendrá diferente valor según sea medido en un plano paralelo al plano I o en otro paralelo al plano II.

SISTEMA DE REFERENCIA DE LA MAQUINA: está formado por 3 direcciones mutuamente ortogonales, a saber:

- Y**: Dirección del movimiento de corte principal.
- Z**: “ “ “ “ avance longitudinal.
- X**: “ “ “ “ en profundidad.

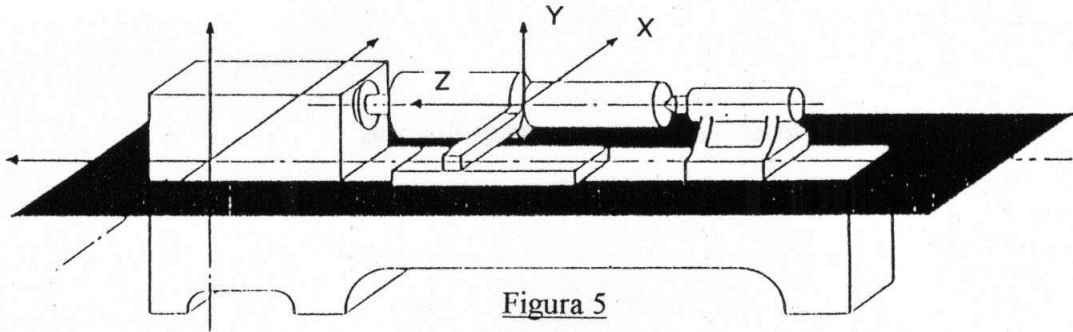


Figura 5

La figura 5 muestra un torno paralelo con dichas direcciones. La figura 4 muestra las direcciones X, Y, Z que corresponden al sistema de referencia de un torno paralelo. La intersección de estas 3 direcciones puede situarse en cualquier punto del filo principal, y las mismas determinan los **planos principales I, II y III** (fig.4).

El **plano principal I** contiene a las direcciones de los movimientos de corte principal Y y de avance longitudinal Z. Es paralelo a la superficie mecanizada cuando ésta es plana. Pero si ella es cilíndrica, como en la fig.4, el plano principal I será paralelo a un plano tangente a la misma.

El **plano principal II** contiene a las direcciones del corte principal Y y de avance en profundidad X. Es perpendicular a la superficie mecanizada.

El **Plano principal III** contiene a las direcciones de los avances longitudinal Z y en profundidad X. Es perpendicular a la superficie mecanizada y a los planos I y II. Cuando la herramienta esta ubicada en la posición “mas natural”, el plano de base de la herramienta es paralelo al plano III como en la fig. 4.

La fuerza resultante sobre la herramienta, por efecto de la acción de corte, si se descompone en las direcciones X, Y, Z (fig. 4), da lugar a 3 componentes:

F_c : Fuerza de corte principal
F_a : “ “ avance
F_r : “ “ normal de reacción

Ordinariamente, para las disposiciones de herramienta mas empleadas en la práctica, **F_c** es la mayor de las tres fuerzas.

LA HERRAMIENTA EN POSICION DE TRABAJO: Una herramienta se caracteriza fundamentalmente por su propia geometría, pero si se cambia su posición respecto a la pieza, se modificarán algunas características del proceso de corte, como las fuerzas actuantes, dirección de las virutas, desgaste del filo, acabado superficial de la pieza, etc.

Por esto, el resultado del proceso solo será previsible y reproducible cuando la disposición pieza-herramienta se especifica claramente. Los elementos cuya posición influye mas en el proceso de corte son el filo principal y la cara de ataque, por lo cual el modo correcto de definir el valor de sus ángulos es con la herramienta en posición de trabajo.

La manera correcta de definir el **ángulo de ataque** es la siguiente: **“Es el ángulo formado entre la cara de ataque y la normal a la dirección del movimiento principal”**. (1)

Si la herramienta se ubica en la posición “mas natural”, dicha dirección normal coincide con el plano base.

NORMALIZACION: Los Institutos de normalización de varios países se han ocupado de definir los ángulos de las herramientas de corte. Cada uno ha propuesto varios ángulos adoptando un sistema de referencia y ciertos planos para la medición de los ángulos, que en ningún caso ha reunido las

características suficientes para satisfacer las dos aspectos principales que estos sistemas deberían cubrir: a) Significado físico b) Implementación del afilado. Ambos aspectos se explican a continuación:

- a) **Significado físico:** Se refiere a la relación de la geometría de la herramienta con la dirección en la que fluyen las virutas. Toda norma bien concebida debe definir los ángulos necesarios que permitan conocer de antemano, en función de sus valores, la dirección del flujo de las virutas a efectos de facilitar su separación del espacio de trabajo sin recurrir a interrupciones en el proceso de mecanizado.
- b) **Implementación del afilado:** Cuando se trata de herramientas cuyo afilado y reafilado lo realiza el usuario en máquinas afiladoras, la herramienta se coloca en un soporte que debe orientarse en el espacio frente a la muela para lograr los ángulos requeridos, de un modo cuya simpleza y practicidad está íntimamente relacionado con los ángulos que contempla la norma.

Las normas que se conocen, tanto las de países (ASA, BS, DIN, AFNOR) como la internacional ISO no resuelven a total satisfacción ambos aspectos, y en lugar de clarificar el tema han creado confusión, dando lugar a que los fabricantes de herramientas no hayan podido unificar la nomenclatura ni el vocabulario que defina en forma universal la geometría de las herramientas.

Si bien la geometría de algunas herramientas y algunas operaciones de arranque de viruta requieren de muchos ángulos para su completa caracterización, en la mayoría de los casos alcanza con unos pocos. El aspecto del afilado solo es tenido en cuenta para herramientas reafilables pero carece de interés para herramientas de plaquitas descartables, puesto que sus ángulos están definidos por las geometrías del portaherramienta y de la propia plaquita, y el usuario utiliza su criterio y las recomendaciones del fabricante para seleccionarlas en base al trabajo que debe realizar. Los fabricantes de herramientas, especifican la geometría a través de los ángulos mínimos necesarios sin hacer referencia a las normas vigentes.

LA HERRAMIENTA COMO ELEMENTO AISLADO: Consideremos la herramienta como elemento aislado, fuera del proceso de corte.

Los ángulos de herramientas rectas no giratorias, como las mostradas hasta aquí, pueden asociarse a una terna de ejes como la mostrada en la figura 6, formada por un eje paralelo al eje de la herramienta (X_t), otro perpendicular a la base (Y_t) y un tercero (Z_t) normal a ambos.

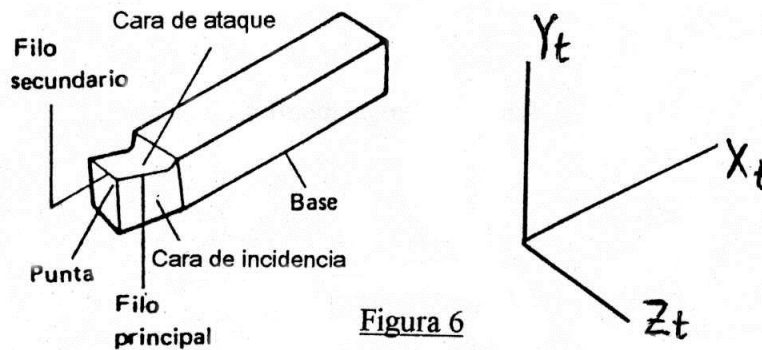


Figura 6

Cualquier plano o arista de la parte activa puede ser referido a esta terna ubicada en un punto del filo principal. Los elementos de la herramienta cuyos ángulos interesa definir son:

- Filo principal**
- Filo secundario**
- Cara de ataque**
- Cara de incidencia (flanco)**

Como ya se dijo, los ángulos diferirán en sus valores de acuerdo al plano utilizado para medirlos. Para tal fin se utilizarán los siguientes planos (fig.7):

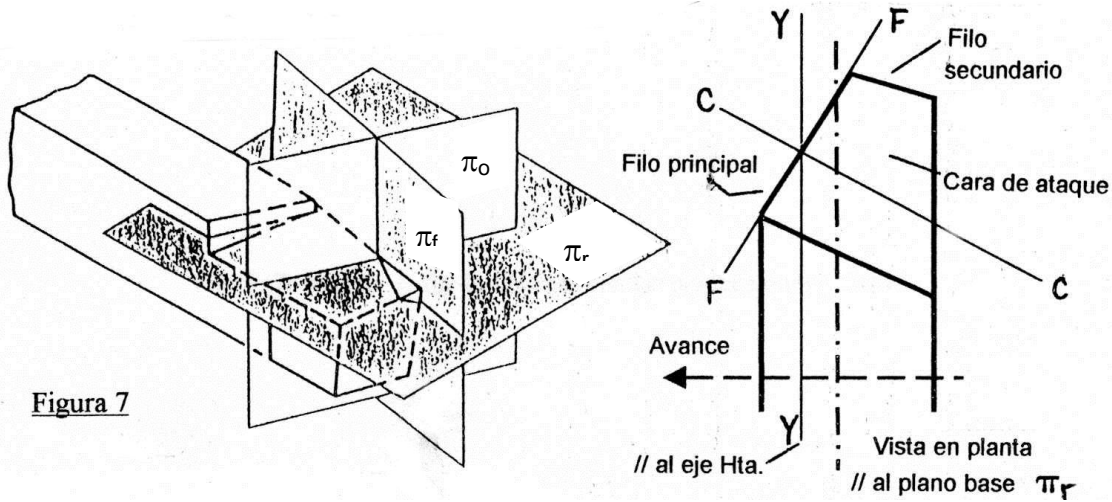


Figura 7

Plano de la base (π_r).

Plano pasante por el eje y normal a la base (π_y , proyección Y-Y).

Plano pasante por el filo y normal a la base (π_f , proyección F-F).

Plano normal a la proyección del filo sobre la base (π_o , proyección C-C).

Tales planos permiten definir los principales ángulos, detallados en la fig. 8:

α : de Ataque (*)

β : de Cuña

γ : de Incidencia

λ : de Inclinación del filo

ϵ : de Punta

κ_r : de Posición (frontal del filo ppal.)

κ_e : Frontal del filo secundario.

δ : de Corte

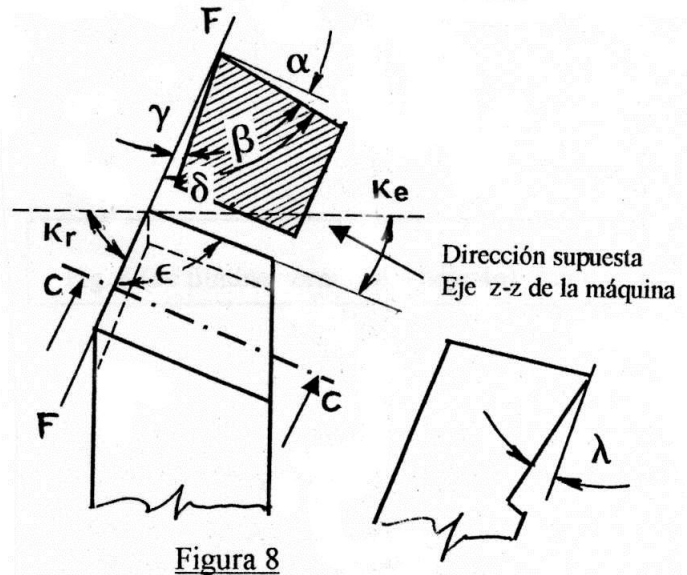


Figura 8

(*): nótese que si la herramienta está en la posición “mas natural”, α coincide con la definición dada anteriormente en (1) para la posición de trabajo.

Nota: El ángulo de ataque influye sobre las fuerzas y potencia necesarias para el corte debido a que afecta al trabajo de cizallamiento que se realiza durante la formación de la viruta. En la figura 9 puede verse que

un ángulo α positivo produce un área de cizallamiento menor y viruta mas fina (con menor esfuerzo de corte) que un α negativo.

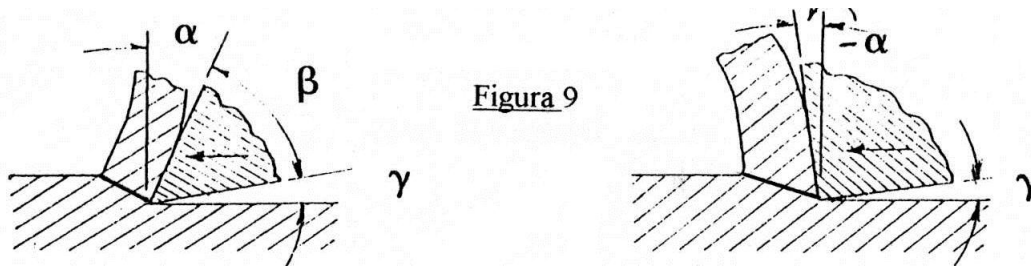


Figura 9

ANGULOS DE TRABAJO EFECTIVO: Los ángulos hasta aquí se definieron tomando a la herramienta como un elemento aislado. Tomando a la herramienta en posición de trabajo y teniendo en cuenta el movimiento de avance (además del de corte principal), la Fig. 10 muestra (en el cilindrado) que componiendo la velocidad de corte (V_c) y la de avance longitudinal (V_a) se obtiene la velocidad de corte resultante (V_e). El ángulo η entre (V_c) y (V_e) es el ángulo de la hélice generada por la composición de los movimientos de corte principal y de avance longitudinal.

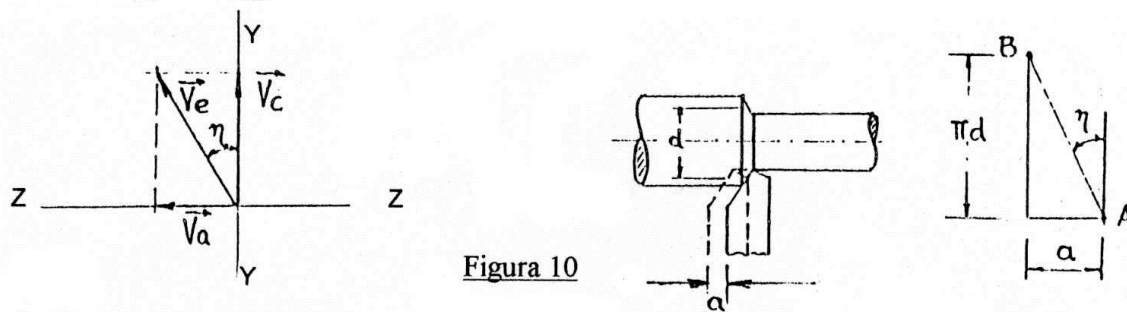


Figura 10

Los ángulos de ataque e incidencia α y γ , se modifican por efecto del avance, aumentando y decreciendo respectivamente un valor igual a η , resultando los siguientes ángulos efectivos (Fig. 11):

$$\alpha_e = \alpha + \eta \quad \text{y} \quad \gamma_e = \gamma - \eta$$

Nota: En operaciones de cilindrado el ángulo η es pequeño debido a que V_a es pequeña en relación con V_c , por lo cual puede despreciarse su efecto sobre los ángulos efectivos, salvo para γ pequeños ($\approx 5^\circ$) que pueden dar origen al talonado de la herramienta. La situación mas crítica puede

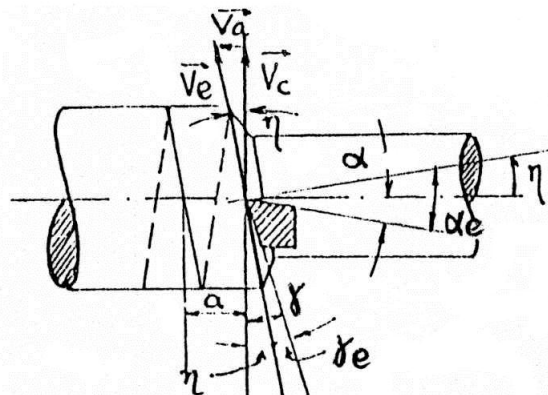
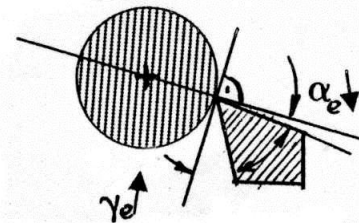
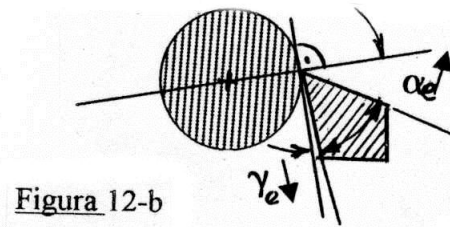
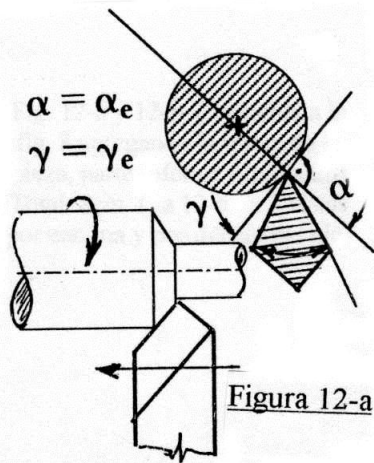


Figura 11

darse en el roscado debido a que el avance es mucho mayor y entonces conviene aumentar γ para evitar el talonado.

ALTURA DE LA HERRAMIENTA: En ciertas operaciones de mecanizado la posición de la herramienta en altura produce un efecto sobre los ángulos efectivos. En la figura 12-a se observa una operación de cilindrado exterior en la que la herramienta está colocada con el filo a la altura del eje de la pieza. En este caso los ángulos efectivos coinciden con los ángulos definidos en la figura 8 tomados sobre la herramienta aislada sin tener en cuenta su ubicación frente a la pieza.

En la figura 12-b se observa que si la herramienta se ubica por encima del eje de la pieza aumenta el ángulo de ataque efectivo α_e y disminuye el de incidencia efectivo γ_e (pudiendo producirse el talonado). En cambio, si la herramienta se ubica debajo del eje de la pieza disminuye el ángulo de ataque (aumenta el esfuerzo de corte y la herramienta es “enganchada” y atraída hacia la pieza) y aumenta el de incidencia.



DIRECCION DEL FLUJO DE VIRUTA: Dos herramientas de diferente forma, en el mecanizado sobre una misma pieza, producirán virutas de diferente aspecto geométrico-morfológico (cortas, largas, rectas, curvadas, helicoidales, espiraladas, etc.) y diferentes direcciones de flujo.

Todo proceso de mecanizado puede asimilarse al que se ilustra en las figuras 13 y 14 (movto. principal rectilíneo). La herramienta, cuneiforme, arranca una capa de metal en forma de viruta merced al movimiento relativo respecto a la pieza, como ocurre en las máqs. limadoras, cepilladoras y mortajadoras. Cuando el filo es perpendicular a la dirección del movimiento principal, se presenta el caso conocido como **corte ortogonal** (fig. 13), mientras que cualquier otra inclinación produce **corte oblicuo** (fig. 14).

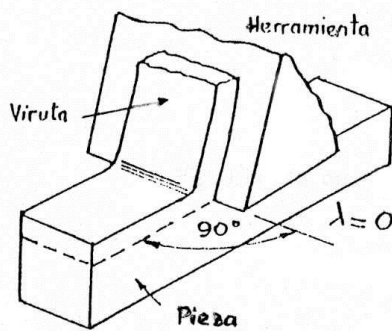


Figura 13

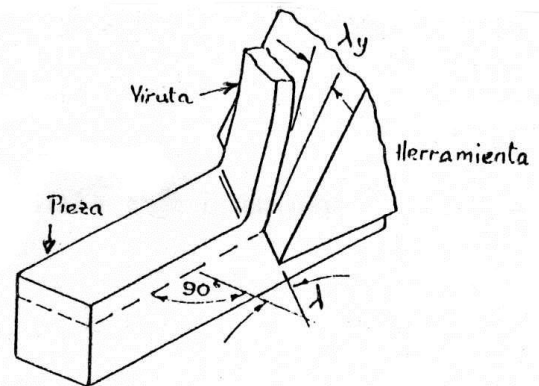


Figura 14

El ángulo λ entre el filo principal y la perpendicular a la dirección del movimiento principal es el ya definido **ángulo de inclinación del filo**. Para el corte ortogonal es $\lambda = 0$. El ángulo λ se mide en un plano paralelo a la superficie transitoria, mientras que el ángulo del flujo de viruta λ_y se mide sobre la cara de ataque de la herramienta. En las figuras 13 y 14 la superficie transitoria coincide con la superficie mecanizada porque el filo abarca todo el ancho de la pieza.

Según Stabler, se cumple que $\lambda = \lambda_y$ si el ancho de la viruta no cambia durante su formación. Experimentalmente se comprobó que dicha igualdad proporciona una buena aproximación.

El significado físico al que se aludió al principio, está referido a la existencia del ángulo λ u otro relacionado con la inclinación del filo entre los ángulos que el sistema define, para que sea posible estimar la dirección del flujo de viruta.

ANGULOS DE SITUACION: Cuando la herramienta está ubicada en su posición “mas natural”, se dice que la terna de referencia propia de la herramienta X_t, Y_t, Z_t (fig.6) y la terna X, Y, Z de la máquina están en correspondencia, y sus direcciones coinciden.

Pero la herramienta puede ser ubicada en cualquier otra posición mediante la rotación de su terna propia alrededor de uno o mas ejes de la máquina. Dichas rotaciones definen la posición de la herramienta respecto a la máquina, y las mismas se miden a través de los denominados **ángulos de situación**, que son los siguientes:

G: Angulo de planta: mide el desplazamiento angular de la herramienta respecto a la dirección del movimiento principal. Se considera positivo si hace disminuir al ángulo de posición κ_r .

H: Angulo de Elevación: mide el desplazamiento angular alrededor de la dirección del avance longitudinal. Se considera positivo si incrementa el ángulo de inclinación del filo λ .

L: Angulo de rotación: mide el desplazamiento angular de la herramienta alrededor de su eje. Es positivo se hace decrecer el ángulo de ataque α .

En la figura 15 se muestran los citados ángulos. Como se indicó, la terna X_t, Y_t, Z_t de la herramienta, por efecto de las rotaciones G, H y L ocupa una nueva posición separada de la terna de la máquina, dando como resultado que los ángulos $\alpha_e, \lambda_e, \gamma_e, \kappa_{re}, \kappa_{ee}$ y δ_e se modifiquen produciendo cambios en la dirección del flujo de viruta, fuerzas de corte, terminación superficial y desgaste de la herramienta.

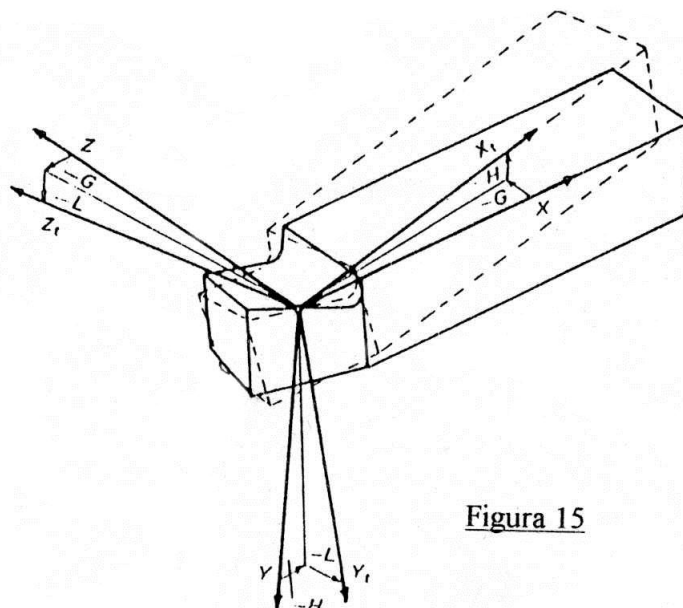


Figura 15

CONVENCION DE SIGNOS: De todos los ángulos de herramienta definidos, algunos de ellos pueden asumir distinto signo algebraico, mientras que otros, por su ubicación, solo pueden asumir signo positivo.

Los ángulos que pueden asumir ambos signos son: α y λ .

En la figura 16 se muestra una herramienta en una operación de cepillado o limado, para la cual se cumple $\alpha > 0$. En cambio, la figura 17 muestra el caso de $\alpha < 0$.

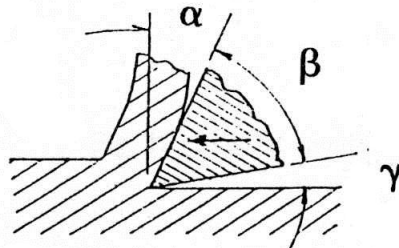


Figura 16

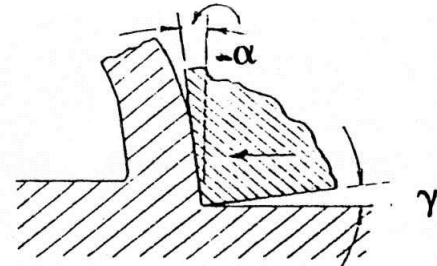


Figura 17

En cambio, el ángulo γ puede asumir un único signo, como se aprecia en ambas figuras, y se considera siempre positivo. Si fuera negativo se produciría el talonado de la herramienta

En cuanto al ángulo de inclinación del filo, λ , es considerado positivo cuando el filo asciende (con respecto al plano de base) hacia la punta de la herramienta, y negativo en caso contrario (fig.18).

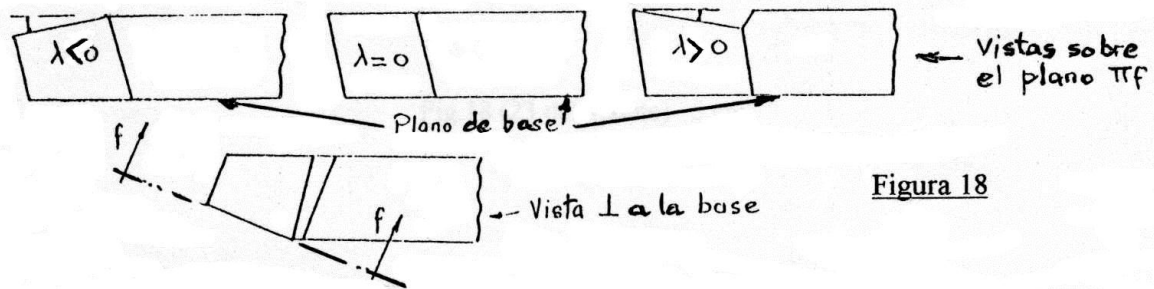


Figura 18

Bibliografía

- G.Boothroyd, "Fundamentos del corte de los metales y de las máquinas-herramientas", McGraw-Hill.
- E.Blanpain, "Herramientas de corte", Ed.G.Gilli.
- Metals Handbook, "Machining", Vol. 16 – Ninth Edition, American Society for Metals.
- E.Scoriaza, "L'Utensile", Hoepli.
- A.S.T.M.E., "Principios fundamentales para el diseño de herramientas".
- Metcut, "Machining Data Handbook", Vol.II.
- G.T.Smith, "Advanced Machining", IFS Publications.
- Sandvik Coromant, "El mecanizado moderno".
- Sandvik, Iscar, Bohler, Pulvim. Rossi, etc., Catálogos y boletines de información técnica.