



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

HERRAMENTACION CON CARBURO
DE TUNGSTENO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
PRESENTAN:

JUAN MANUEL MU FLORES
ARMANDO SANCHEZ CAMPOS
FERNANDO VILLANUEVA DE GYVES
EDUARDO MORALES M.

MEXICO, D.F. 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

HERRAMENTACION
CON
CARBURO DE TUNGSTENO

LOS AUTORES DESEAMOS EXPRESAR NUESTRO
AGRADECIMIENTO A LAS SIGUIENTES PERSO
NAS:

- A NUESTRO MAESTRO ING. ULRICH SCHABER SAUBERLI.
Por la excepcional dirección de esta tesis.

- AL ING. RUBEN GONZALEZ BATANI.
Por su valiosa opinión y comentarios.

- A LA SRA. MONICA MARIA NAVA DE CADENA Y SRITA.
LETICIA MERCEDES CARRASCO GAMBOA.
Por el apoyo mecanográfico brindado.

JUAN MANUEL MU FLORES

A MIS PADRES

HERMINIO MU RAMOS
Y
ALBERTA FLORES DE MU
rectores y guías de
mi vida.

A MIS TIOS PATERNOS

JUANITA Y PEDRO MU RAMOS
por su sacrificio, por -
su confianza y por el a-
poyo brindado a mis padres
en nuestra formación indi-
vidual.

A MI ESPOSA E HIJOS

BERTA GONZALEZ DE MU
GABRIELA Y JUAN MA -
NUEL con todo mi amor
y cariño.

A MIS HERMANOS

JOSE LUIS, AURORA,
MARIA ELBA, JAVIER,
PACO, JULIO, JAIME,
CESAR, LORENA ...
Y RIGO por nuestra
solidaridad.

A MIS HERMANAS

AURORA, MARIA ELBA
Y
BERTA AMPELIA por
el sentimiento de
responsabilidad -
que me inculcaron.

A MI HERMANA BERTA
A MI PRIMA EMILIA ESTRADA
A MI TIA ELISA GARCIA
como un homenaje póstumo
a sus memorias.

A MIS SUEGROS

LAZARO GONZALEZ MORA
ENGRACIA LOZA DE GONZALEZ
por la disponibilidad o -
frecida

A LOS MIEMBROS DEL COMITE CONSULTIVO NACIONAL
DE NORMALIZACION DE HERRAMIENTAS Y MAQUINAS-HERRAMIENTA.

FERNANDO VILLANUEVA DE BYVED

A MIS PADRES

ANTONIO VILLANUEVA D. Y
VICTORIA DE BYVED DE LOS
por el apoyo y apoyo que
siempre me han brindado.

A MIS HERMANOS

JOSÉ, AUGUSTINO, JOSEFA,
ANIELA Y A DÉS. MARCELO
Por su eterna motivación.

A MIS ESPOSA

CARLOS ARTURO Y
MARTHA PATRICIA
Por estar siempre
unidos.

A MIS HIJOS

JOSÉ CARLOS, AUGUSTO, AUGUSTINO, JOSEFA, ANIELA, MARCELO,
MARTHA Y A DÉS. MARCELO por sus constantes esfuerzos.

ARMANDO SANCHEZ CAMPOS

A MI MADRE

MA. DE JESUS CAMPOS V.
que siempre ha sido guía
y apoyo de mi vida.

A LA MEMORIA DE MI PADRE

PROF. JOSE CONCEPCION ALFONSO
SANCHEZ CONTRERAS
por su ejemplo que servirá -
siempre de guía en nuestras -
vidas y su empeño para hacer
de los integrantes de nues- -
tra familia personas prepara-
das y honestas.

A LA MEMORIA DE:

MA. DE LOS ANGELES ESTRADA
TITA: por su entrega desin-
teresada a mi familia y el
apoyo en mi desarrollo.

A MIS HERMANOS

ALFONSO, TERE, CARMEN, MARGARITA,
MAGDALENA, CARLOS, GERARDO Y ROSI
TA
"Cariño y unión familiar".

A MIS AMIGOS

OSCAR Y SERGIO ZAMUDIO, EDUARDO ARZATE, JAVIER LOYOLA, JUAN MANUEL MU, ADAN ES-
CANDON Y TERESITA SAENZ por distinguirme con su amistad.

CONTENIDO

INTRODUCCION.

DESARROLLO HISTORICO.

1. LAS PROPIEDADES DEL CARBURO DE TUNGSTENO.
 - 1.1 Propiedades mecánicas.
 - 1.1.1 Dureza en caliente.
 - 1.1.2 Resistencia al impacto.
 - 1.1.3 Resistencia a la craterización.
 - 1.1.4 Resistencia al desgaste.
 - 1.1.5 Esfuerzo de ruptura transversal.
 - 1.2 Propiedades térmicas.
 - 1.2.1 Coeficiente de expansión térmica.
 - 1.2.2 Conductividad térmica.
2. COMPOSICIONES PARA DIFERENTES APLICACIONES.
 - 2.1 Triángulo de grados.
 - 2.2 Aplicaciones que requieren resistencia al impacto.
 - 2.2.1 Partes sujetas a desgaste ocasionado por fuerzas de impacto.
 - 2.2.2 Troqueles para diferentes propósitos.
 - 2.3 Aplicaciones que requieren resistencia al desgaste de filo.
 - 2.4 Aplicaciones que requieren resistencia a la craterización.
 - 2.5 Tabla comparativa para seleccionar carburo de tungsteno en maquinados.

3. FABRICACION DE INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO.

3.1 Descripción general del proceso.

3.1.1 Sinterizado.

3.2 Equipo involucrado en la elaboración de pastillas de carburo de tungsteno.

3.2.1 Equipo de pulverizado.

3.2.2 Mezcladoras.

3.2.3 Prensas

3.2.4 Hornos de sinterizado.

3.2.5 Arenadora.

3.2.6 Rectificadora de superficies planas.

3.2.7 Rectificadora de periferia

3.3 Control de calidad.

3.3.1 Pruebas de laboratorio.

3.4 Herramientación.

3.4.1 Dado o matriz.

3.4.2 Punzón superior e inferior.

4. DISEÑO DE HERRAMENTAL USANDO INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO.

4.1 Maquinado.

4.1.1 Torneado.

4.1.1.1 Pastillas soldables para diferentes propósitos.

4.1.1.2 Insertos intercambiables

4.1.1.3 Portaherramientas.

4.1.2. Fresado.

4.1.1.1. Adaptación de insertos en fresas circulares.

4.1.3. Taladrado.

4.1.3.1. Tipos de Brocas de carburo de tungsteno.

4.2. Troquelado.

4.2.1. Diseño de troqueles de carburo de tungsteno para grandes producciones.

4.3. Estirado.

5. COMPARACION ECONOMICA DE HERRAMENTACION CON CARBURO DE TUNGSTENO CONTRA HERRAMENTACION CONVENCIONAL.

5.1. Justificación de su uso en base al factor económico.

6. GLOSARIO DE TERMINOS.

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION.

Día tras día las herramientas de corte se mejoran, por la simple y sencilla razón de que materiales nuevos y mejorados, reemplazan o suplementan a las tradicionales herramientas de corte de acero rápido, sobre un amplio rango de aplicaciones en el corte de metales.

Actualmente, la moderna industria está aceptando la lógica de buscar las máximas tasas de remoción de metal y empieza a entender la relación de los bajos costos de la utilización del carburo de tungsteno como material de corte, en relación con los altos costos de labor directa generados por el empleo de herramienta convencional a base de acero rápido; la clave de todo esto es el aumento de la efectividad, vía productividad, ya sea expresada en términos de centímetros cúbicos, reducción del tiempo de maquinado generado por velocidades de corte y avances más elevados, o en su defecto, la utilización más eficiente de la potencia disponible.

En la década de los sesentas, el desarrollo de las herramientas de corte se enfocó primordialmente sobre los aceros de alta velocidad mejorados (series M-40), herramientas del sistema cobalto-cromo-tungsteno-carbón (stelita) y carburos cementados, en la cual la tecnología de la partícula (submicrón) dió impulso al carburo de dispersión concentrada y al material de grano fino ofrecido en el mercado bajo el nombre comercial de Saxtrón. Las herramientas cerámicas de óxido de aluminio, previamente restringidas al torneado a altas velocidades del hierro fundido y aceros de alta resistencia, a causa de sus límites de baja tenacidad, empezó a exhibir aumentos en su densidad y resistencia como resultado de las modificaciones de menor composición (principalmente óxido de titanio y carburo de titanio) y control más cercano sobre las variables del proceso.

En este contexto, la industria en su rápida evolución y transformación, ha requerido de nuevos métodos para la fabricación de partes que cumplan con requisitos tales como: buen acabado, control dimensional y máxima producción a menor costo.

Esto ha conducido al desarrollo de máquinas-herramienta con características mejoradas para tal fin, el empleo mas eficiente de materias primas, mano de obra y la búsqueda de nuevos materiales para herramientas, por lo que se entiende que no sería posible avanzar en cualquiera de estos aspectos sin el avance conjunto de los demás.

Por otra parte, en virtud de que no se dispone en México de mayor información escrita sobre el empleo del carburo de tungsteno como material de corte en la Industria de remoción de metal, los sustentantes hemos recurrido a las valiosas opiniones y comentarios de peritos en el ramo y a la experiencia personal adquirida, amén de prestar servicios profesionales en empresas de la Industria metal-mecánica y participar en comités consultivos nacionales de carácter normativo.

Esperamos pues, que éste trabajo contribuya a difundir significativamente las ventajas que aporta la utilización del carburo de tungsteno desde el punto de vista industrial, y motive a los lectores interesados en el diseño de herramientas, a investigar con mayor profundidad, entusiasmo y constancia dentro de su campo de aplicación.

LOS AUTORES.

DESARROLLO HISTORICO

En la segunda mitad del siglo XIX, después que las investigaciones relativas al endurecimiento del acero condujeron al aislamiento del carburo de hierro Fe_3C - - (cementita), los químicos desarrollaron métodos adecuados para aislar carburos.

La preparación del carburo de hierro puro fue seguida por el aislamiento del carburo de titanio TiC , así como del carburo de tungsteno WC .

Estos logros de los químicos deben ser considerados como el inicio de la - historia de los metales duros; posteriormente fueron aislados los carburos dobles - de acero con cromo y tungsteno así como el carburo de vanadio puro, que son los - - constituyentes básicos de los aceros.

La historia de los metales duros está estrechamente ligada con el desarrollo de otros materiales para herramientas, según la tabla intitulada "Desarrollo Cronológico de las Composiciones de Materiales para Herramientas," que se presenta poste - - riormente a la consideración del lector.

Las primeras investigaciones hechas en relación al metal duro fueron lleva - das a cabo por el químico francés Moissan y el norteamericano Taylor, a fines del - - siglo pasado.

Los trabajos de Moissan fueron de naturaleza teórica y establecieron la base para la investigación fundamental en el campo de los metales duros. Los procedimientos clásicos de Moissan para la elaboración de metales duros se basaban específicamente en el método de fusión, el cual tenía sus fallas. Estudió las propiedades físicas y químicas y observó que los carburos tienen una estructura muy sencilla y que - el carbón forma con la mayoría de los elementos solamente un compuesto.

Por su parte, Taylor descubrió que en los aceros aleados con un 5% de tungsteno aproximadamente, existía una relación entre tratamiento térmico y rendimiento de la herramienta; esto condujo a la producción del acero rápido.

Más tarde encontró que la mejor composición de los aceros de alta velocidad, debía contener aproximadamente 19% de tungsteno y que podía soportar hasta 650°C.

El programa de la tecnología eléctrica a principios del siglo XX condujo al desarrollo de las lámparas incandescentes.

Esta industria optó por investigar los compuestos de alto punto de fusión para usarlos como filamentos. Además se interesaron en las características de alta dureza y resistencia al desgaste del carburo de tungsteno para el estirado de los filamentos incandescentes.

Entonces, el método de fusión usado por Moissan fue reemplazado por el sintetizado de carburos de tungsteno conteniendo cobalto como material aglutinante, obteniéndose resultados satisfactorios.

Los altos puntos de fusión y su elevada resistencia a altas temperaturas, hicieron de estos materiales la elección lógica para el maquinado. Las primeras aplicaciones en el corte de metales se hicieron en 1930 y desde entonces las investigaciones intensivas y constantes avances, han dado como resultado diversas composiciones y métodos de fabricación, hasta los metales duros con doble recubrimiento que se emplean con éxito hoy día.

AÑO	ALEACIONES	C	Mn	Cr	Mo	W	Fe	Co	Ti	Si/Ni Si	Ta, V
Antes 1894	Acero al carbón	1-1.5	0.1-0.2	-	-	-	Bal.	-	-	0.2	-
Antes 1900	Acero endurecido	2-2.2	1.5-2.5	0.4	-	5-5.5	Bal.	-	-	1-1.1	-
1900	Aceros rápidos	1.0-1.9	0.3	4-8	-	8	Bal.	-	-	.1-.2	-
1900-1913	Nuevos aceros rápidos	0.65-0.8	0.1-0.2	4-5.5	0-1	16-21	Bal.	5-6	-	.1-.3	.3-1 V
1909	Primeras estelitas	1.5-2.5	0.2	20-25	0-1	10-25	Bal.	40-50	-	0.5	-
1910	Nuevas estelitas	2-3	0.2-0.3	25-35	0-1	10-25	Bal.	40-55	-	.5-.8	-
1914	WC fundido	4-4.5		0-10	0-1	Bal.	1-3	0-3	-	-	0-4 Ta
1917-1923	Tizit ⁺	3.5-4.5		0-10	0.5	45-60	30-45	-	3.5-6	-	-
1922	WC-Co	5.5-6		0-0.5	-	86-89	0.5-1	5-6	-	Ni	-
1923	Mo-C-TiC-Ni ⁺	9-11		0.5-2	35-40	-	0.5-1	-	35-40	8-15	-
1929-1930	WC-Mo ₂ C-TiC-Co-Ni ⁺	7-8		0-0.5	0-5	65-77	0.5-1	4-6	10-12	2-4	-
1930	TaC-Ni-Co	5.5-6		-	0-10	0-20	0.5-1	Ni+Co	-	8-13	60-80 Ta
1931	WC-TaC-Co ⁺	5-6		-	-	55-80	0.5-1	5-13	-	-	10-30 Ta
1931	WC-TiC-Co ⁺	6.5-7.5		0-0.5	-	77-82	0.5-1	5-6	6-8	-	-
1931	TiC-W-Mo-Ni-Co ⁺	9-13		0-5	10-15	20-25	0.5-1	5-10	40-50	5-10	-
1932	WC-TiC-TaC-Co ⁺	5.5-10		-	-	33-75	0.5-1	1-30	0.5-24	-	5-42 Ta
	WC-Co ^o	4-6		0-0.5	-	66-90	0.5-1	3-30	1.5	-	0-2V, Ta
1931	WC-TiC-Co ^o	6-10		0-0.5	-	53-83	0.5-1	5-18	1.5-34	-	-
	WC-TiC-TaC-Co ^o	6-10		0-0.5	-	50-73	0.5-1	5-18	3-34	-	2-9 Ta

+ Aleaciones sinterizadas.

^o Metalurgia.

CAPITULO 1.

LAS PROPIEDADES DEL CARBURO DE TUNGSTENO.

1.1.1 DUREZA EN CALIENTE.

La muy alta resistencia al desgaste del carburo de tungsteno (WC) es debida - en parte a la habilidad de este metal para mantener alta su dureza, a pesar de trabajar a temperaturas de 2000°C (1,400°F) o mayores, generadas en los procesos de maquina do.

Al llegar a los 700°C, el WC pierde solo del 1 al 20% de su dureza a la tem - peratura ambiente (21°C). La fig. 1 muestra la relación que existe entre dureza y tem - peratura de 700°C, tiene casi la misma dureza que el acero de alta velocidad a la tem - peratura ambiente (70 Rc aproximadamente).

Experimentalmente, se ha observado que mientras la velocidad de corte aumenta, la temperatura aumenta proporcionalmente, según se aprecia en la fig. 2.

La gráfica muestra que la relación entre la velocidad de corte y la temperatu - ra es lineal manteniendo el avance constante, debido a que las altas velocidades de - corte producen altas temperaturas.

Con el propósito de evitar temperaturas excesivas, es necesario considerar en primera instancia el avance y la profundidad de corte. En la fig. 3 se grafica la - temperatura contra el avance.

Se observa que no existe una relación lineal entre el avance y la temperatura como en el caso de la velocidad de corte.

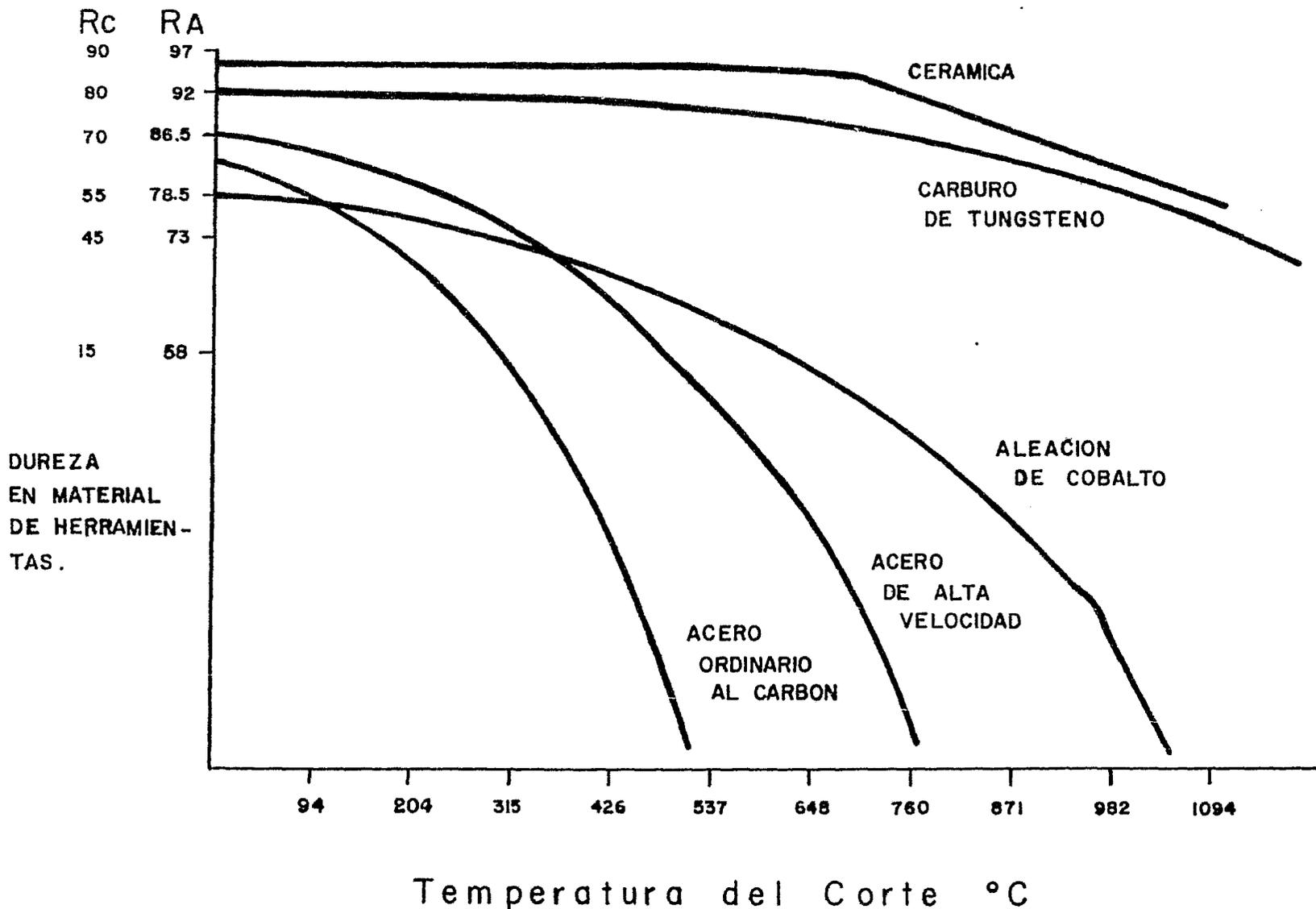
En la fig. 4 se observa la influencia que ejercen las 3 variables mencionadas - velocidad, avance y profundidad de corte, sobre la temperatura una vez hecha el inciso -

La contribución más importante del WC en la industria de remoción de metal, es el hecho de que permite el uso de velocidades de corte mayores que las que son posibles al usar cualquier otro material de herramientas para corte de metales.

Esta contribución es debida ala capacidad del WC para mantener un alto orden de dureza a altas temperaturas; esta capacidad es una función de la estructura que forma el sistema WC-Co.

DUREZA CALIENTE

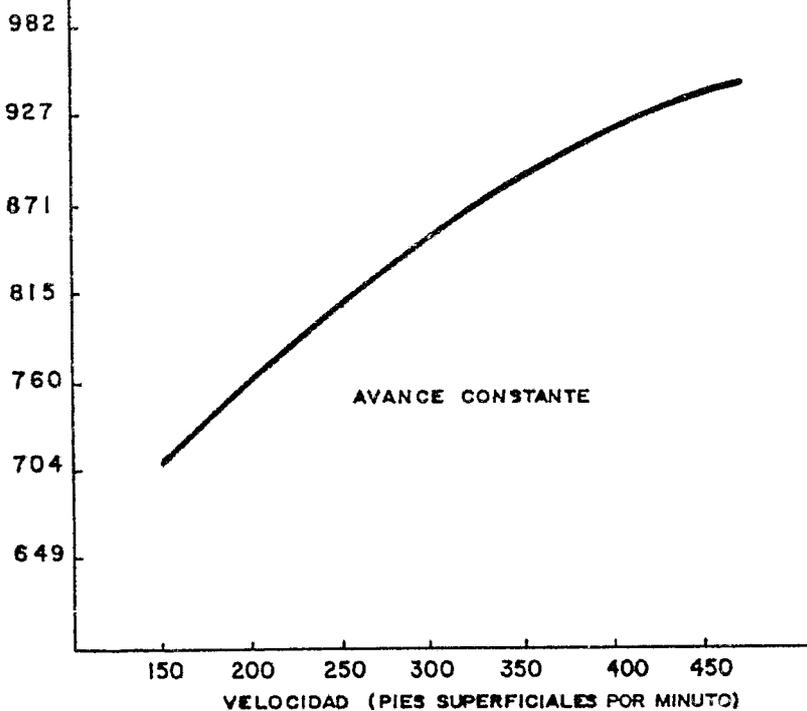
FIGURA No 1.



VELOCIDAD CONTRA TEMPERATURA

TEMPERATURA
°C

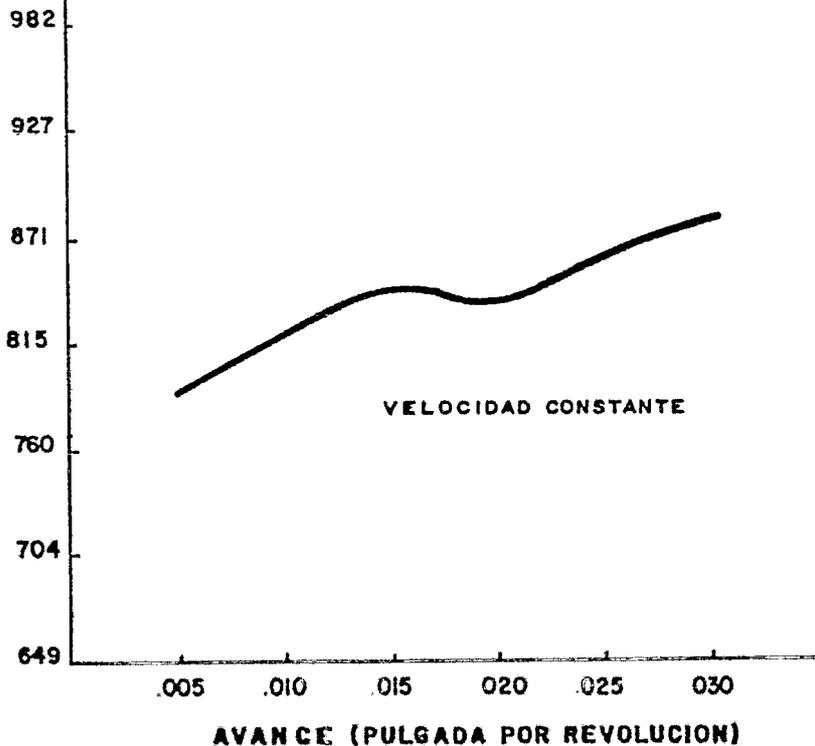
FIGURA No. 2



AVANCE CONTRA TEMPERATURA

TEMPERATURA
°C

FIGURA No. 3



TEMPERATURA
°C

TEMPERATURA DEL INSERTO

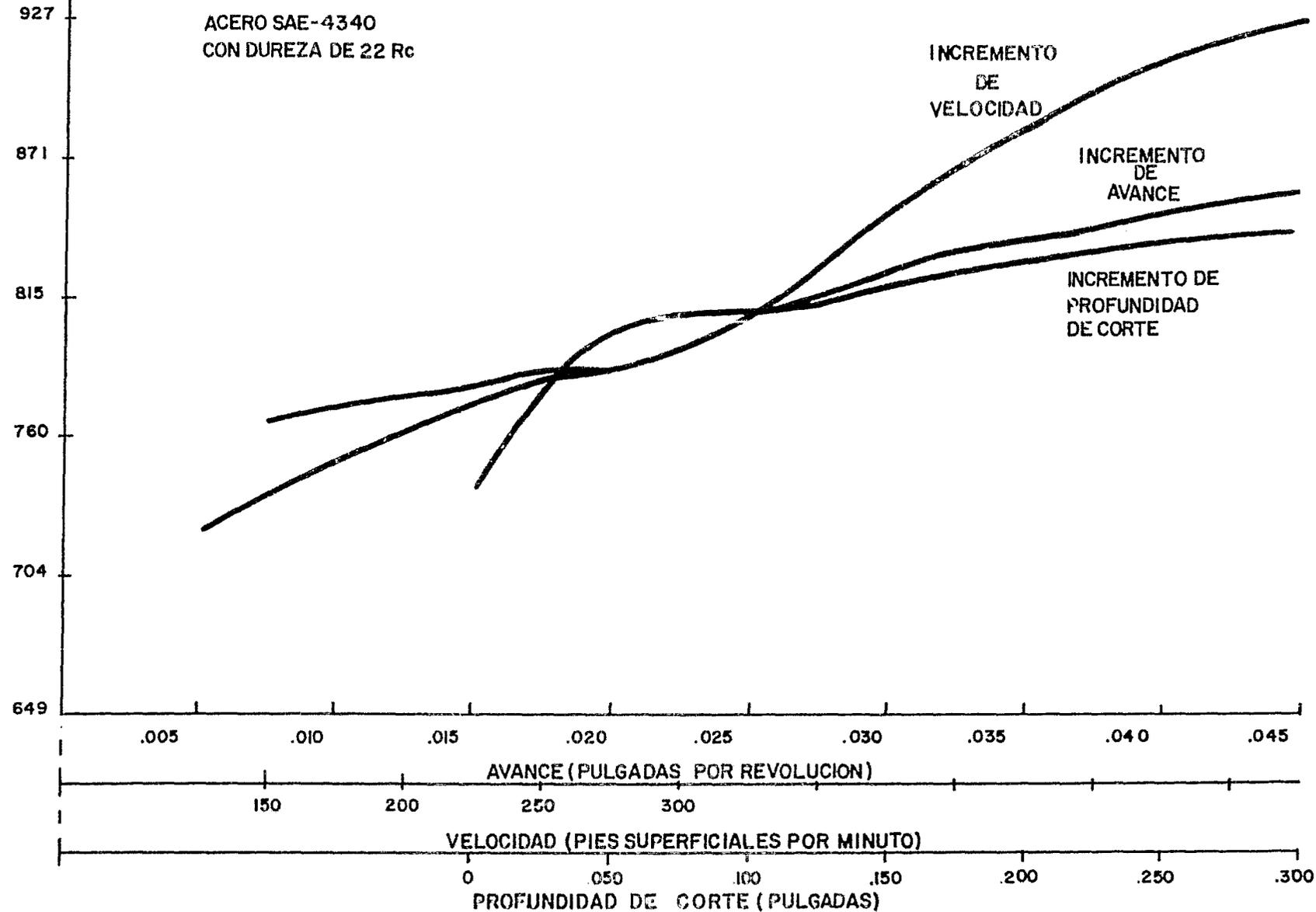


FIGURA 4

1.1.2 RESISTENCIA AL IMPACTO.

La resistencia al impacto de los carburos cementados es otro indicador de su resistencia al choque mecánico. Podemos afirmar que existe una relación lineal entre la resistencia al impacto y el contenido de cobalto, la fig. 5 ilustra entre otras cosas el parámetro "resistencia al impacto" como una función del contenido de Co., ya que a mayor contenido de cobalto es mayor su resistencia.

Debe destacarse que al aumentar el tamaño de grano del WC, aumenta también en gran medida su resistencia al impacto, pero éste no es tan determinante como el contenido de Co. en la mezcla.

Se dispone de información adicional donde se manifiesta un método empleado para medir la resistencia al impacto del WC, el método en cuestión, consiste en dejar caer un peso estándar (W) sobre un espécimen estándar sostenido por un dispositivo como se ilustra en la fig. 6.

La altura de la caída a la cual el espécimen se rompe, después se convierte a pulgadas-libra (que es la energía requerida para causar la fractura del espécimen de prueba).

La información acerca de la resistencia al impacto de los carburos cementados es particularmente útil para operaciones de corte o maquinado, donde se presentan fuerzas de choque que deben ser experimentadas por los herramientas respectivas.

FIGURA 5

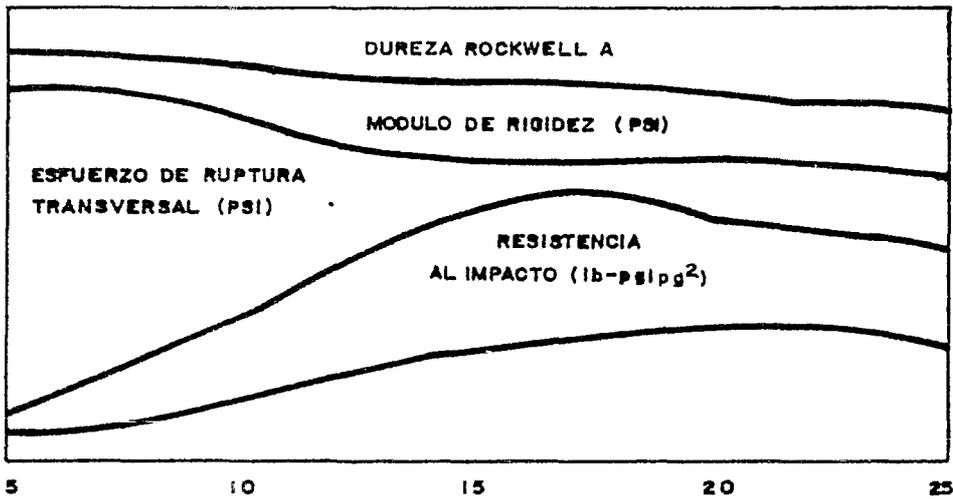
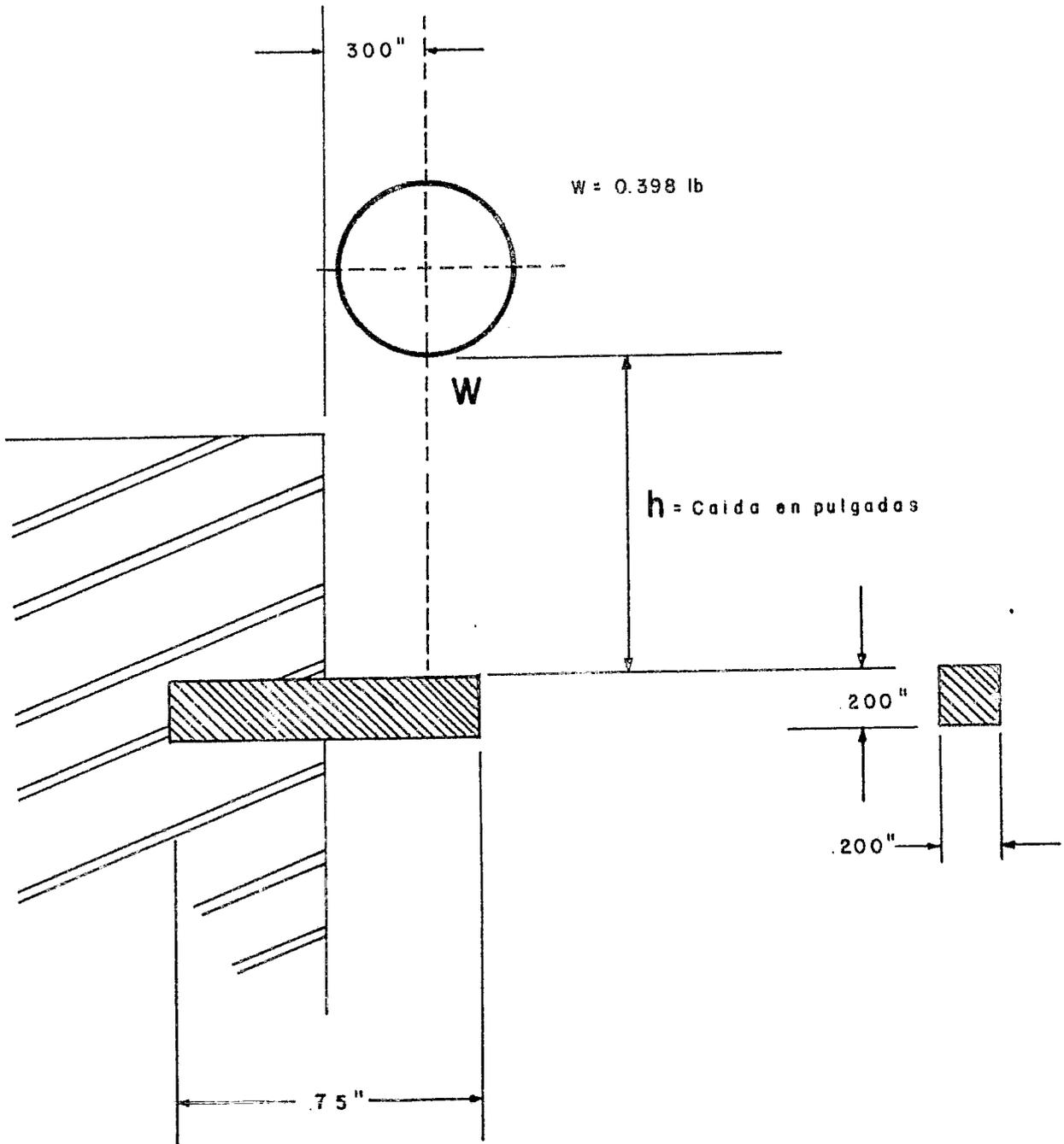
PROPIEDADES RELATIVAS CON VARIOS
PORCENTAJES DE COBALTO

FIGURA 6



RESISTENCIA AL IMPACTO

1.1.3. RESISTENCIA A LA CRATERIZACION.

La craterización fundamentalmente se genera a raíz del flujo de rebaba caliente, la cual fricciona la superficie de ataque del inserto; la rebaba al ser expulsada, se suelda a la superficie antes mencionada, desprendiendo partículas del aglutinante cobalto, formándose así una depresión. Es conveniente mencionar que la craterización es una forma de desgaste abrasivo. Fig. (7a).

La resistencia a la abrasión en los insertos de WC se controla por medio de la cantidad de aglutinante, ya que al aumentar el contenido de cobalto, disminuye la resistencia a la abrasión y viceversa. No obstante lo anterior, la estructura del grano es un factor importante que debe ser considerado.

La fig. 7b muestra una composición de un grado aleado, donde las partes que intervienen se cuantifican de la forma siguiente:

50% WC, 41% otros carburos y 9% de cobalto.

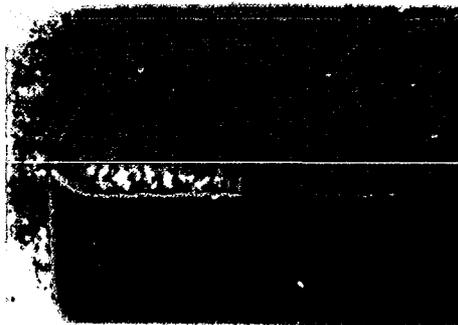
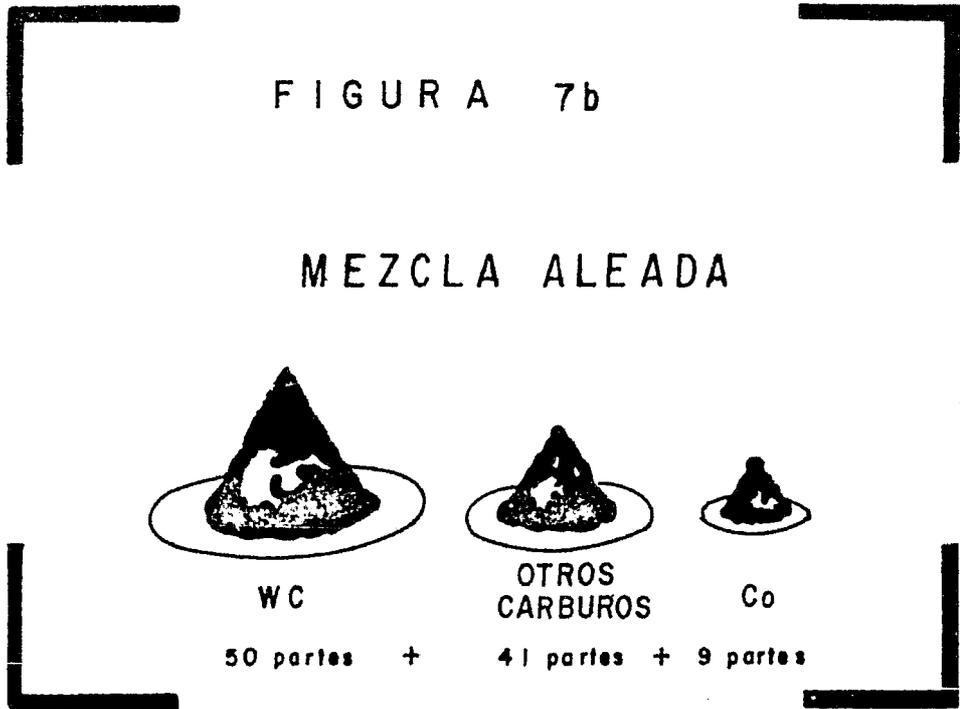


Fig. 7a. Desgaste por craterización.

La suma de estas partes dará un grado aleado con propiedades adecuadas para resistir el desgaste de cráter que como anteriormente se dijo, ocurre en la parte superior del inserto.

Las 41 partes de "otros carburos" la constituyen principalmente el carburo de tantalio (TaC) y el carburo de titanio (TiC). La adición de estos dos metales agrega una cualidad de deslizamiento a la mezcla, la cual previene el desgaste. Esto más incrementa la habilidad de este grado para soportar el calor.

Específicamente, el titanio provee un bajo coeficiente de fricción, el tantalio mejora la integridad del filo de corte desde el punto de vista de soportar un nivel mayor de calor, que podría de otra manera causar deformación.



1.1.4 RESISTENCIA AL DESGASTE

La alta resistencia al desgaste del carburo de tungsteno es debida a una combinación única de propiedades, las cuales son las siguientes:

- 1.- Elevados valores de dureza, tanto a temperatura ambiente como a elevadas temperaturas.
- 2.- Bajo coeficiente de fricción, logrando con éste una mayor resistencia a la craterización.
- 3.- Habilidad para resistir la deformación bajo carga.

Básicamente, la eficacia de una herramienta de corte está condicionada a 3 factores en el proceso de remoción de metal cilloo son: desgaste abrasivo, calor y presión.

Ya que las herramientas de corte de HD son hechas por un proceso metalúrgico de polvos, la mezcla puede ser estructurada para incorporarle cualquier número de aditivos metalúrgicos que ayudan a combatir estas condiciones. La fig. 1 corresponde a una fotografía del flanco de una herramienta mostrando un severo desgaste abrasivo.



Fig. 1. Severe abrasive wear on the flank of a cutting tool.

El desgaste abrasivo es una combinación de abrasión pura (fricción) y desgaste químico. Una explicación más definida de desgaste químico se concibe cuando el aglutinante (cobalto) es removido del flanco y la cara del ángulo de ataque del inserto en diminutas cantidades. Ya que esta acción tiende a debilitar la estructura del carburo, se puede decir que el desgaste químico incrementa el desgaste abrasivo. La fig. 9 muestra un inserto con desgaste térmico debido al calor y la presión a la que fue sometido.

El calor y la presión causan al inserto la deformación térmica o recalado repercutiendo en consecuencia como una forma de desgaste adicional.

La fig. 10, contempla los porcentajes constitutivos de un grado no aleado uso general con resistencia al desgaste; sin embargo, este grado está sujeto a desgaste de cráter si se usa en cortes que generen rebaba continua.

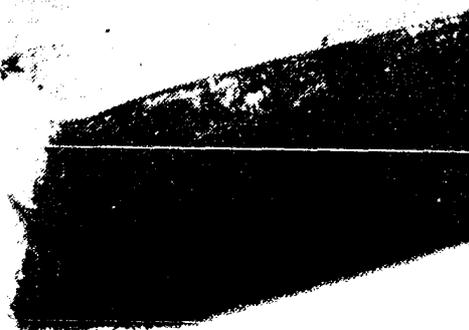
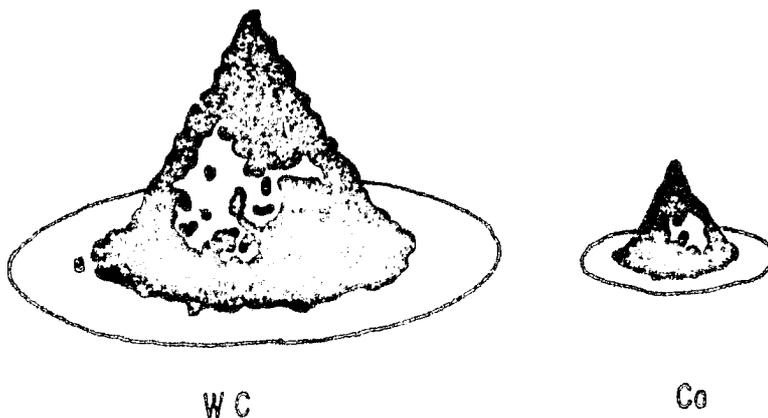


Fig. 9 Herramienta que muestra el desgaste térmico provocado por calor y presión.

FIG. 10 MEZCLA NO ALEADA



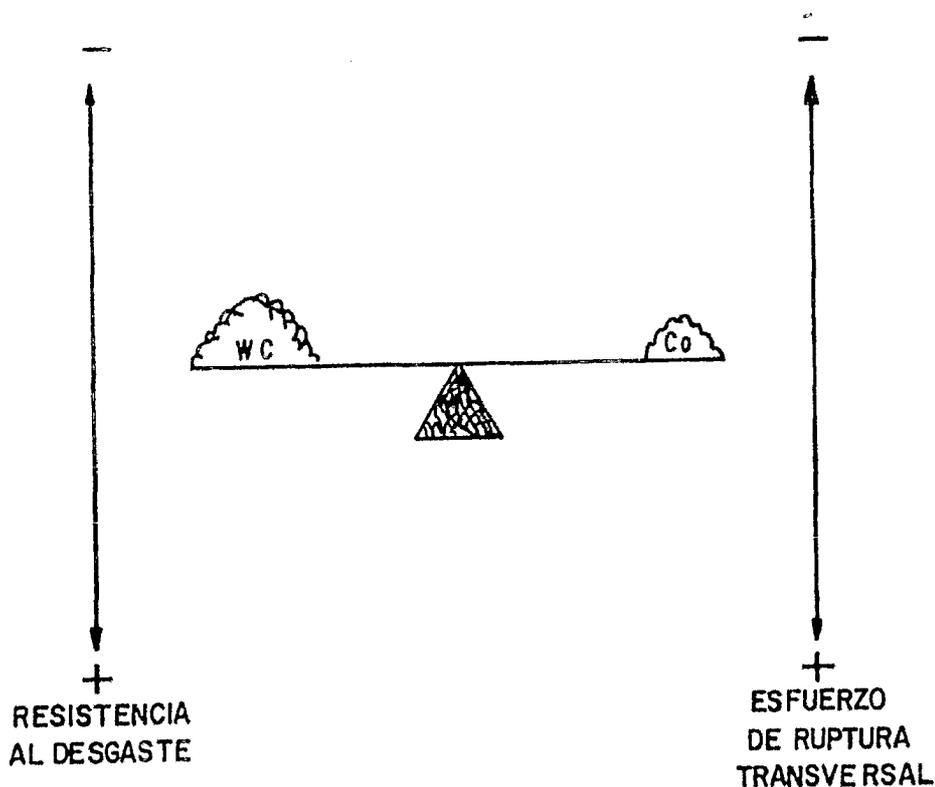
94 partes

+

6 partes

Un contenido alto de WC, aumenta la resistencia al desgaste pero reduce su es fuerzo de ruptura transversal y por el contrario, un alto nivel del aglutinan te cobalto aumenta el esfuerzo de ruptura transversal y disminuye la resisten cia al desgaste como se muestra esquemáticamente en la Fig. 11.

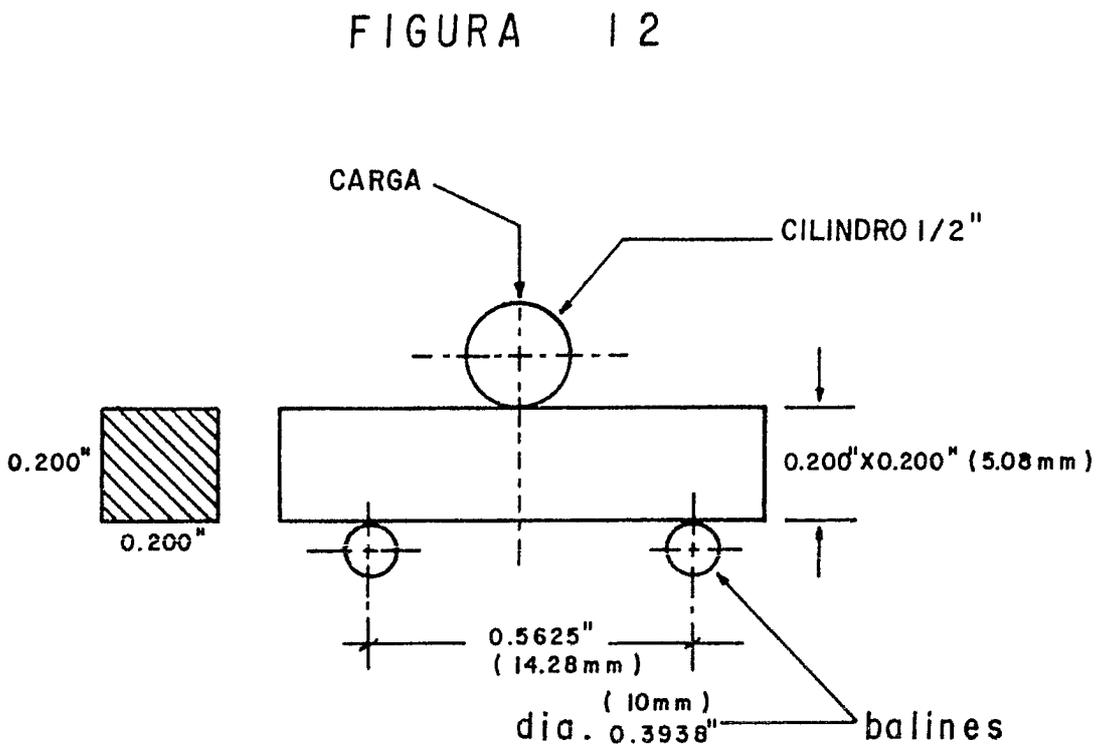
FIG. 11



1.1.5 ESFUERZO DE RUPTURA TRANSVERSAL.

Es el esfuerzo normal máximo, calculado en la fibra extrema, al producirse la falla de una viga de WC cargada al centro y simplemente apoyada, como se observa en la fig. 12.

En otras palabras, el esfuerzo de ruptura transversal es una medida de la tenacidad del WC.

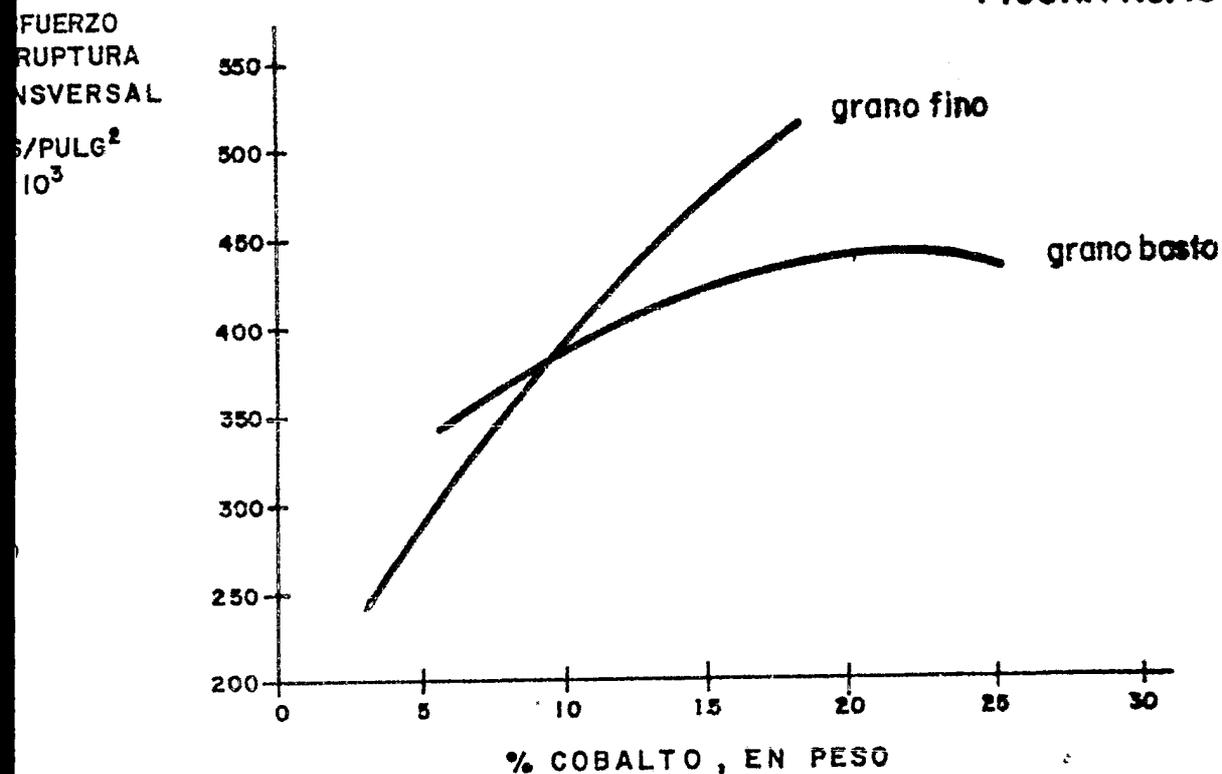


ESFUERZO DE RUPTURA TRANSVERSAL

En la Fig. 13 se observa la influencia del contenido de cobalto, así como el tamaño de grano en el esfuerzo de ruptura transversal. Se puede apreciar que para el caso de grano basto y bajos valores de cobalto, el esfuerzo de ruptura transversal tiende a aumentar y se mantiene aproximadamente constante en un rango de 15 a 25% de cobalto.

En lo que respecta al tamaño de grano fino, se aprecia que al aumentar la proporción de cobalto en la mezcla, el esfuerzo de ruptura transversal también aumenta gradualmente.

FIGURA No. 13



1.2. PROPIEDADES TERMICAS.

1.2.1. COEFICIENTE DE EXPANSION TERMICA.

El WC posee un coeficiente de expansión térmica que es aproximadamente un 50% mayor que el del acero.

Aun cuando esto es una ventaja de distinción en muchas aplicaciones, puede presentar problemas al diseñar herramientas. Por ejemplo, en aquellos casos donde la soldadura de lafon es el método de unión, es frecuentemente aconsejable usar un clar entre el inserto de WC y el acero para reducir las tensiones creadas en la soldadura.

O bien, cuando se monta un buje de carburo en una flecha de acero, el ajuste debe ser calculado para que el buje de carburo no esté sujeto a excesivas tensiones debidas a las temperaturas de fricción. En algunas ocasiones, es posible utilizar aleaciones con alto contenido de níquel para las flechas, ya que este material tiene un coeficiente de expansión térmica muy similar al WC en ciertos rangos de temperatura.

1.2.2. CONDUCTIVIDAD TERMICA.

El WC tiene una conductividad térmica de tres veces la de los aceros de bajo carbono y cuatro veces la de los aceros para herramientas.

La conductividad térmica se mide mediante un método comparativo utilizado por la "Bureau of Standards", empleando un material estándar de conductividad térmica conocida y registrando automáticamente diferencias de temperaturas; con estos datos, se establece el valor de la conductividad térmica para el WC empleado en la prueba.

CAPITULO 2.

COMPOSICIONES PARA DIFERENTES APLICACIONES.

2.1. TRIANGULO DE GRADOS.

Con objeto de conocer el comportamiento del carburo de tungsteno para adoptar acciones tendientes a resolver los problemas que presenta en el uso de materiales, se considera indispensable difundir su empleo como material de corte en la moderna industria de remoción de metal.

En éste capítulo nos permitimos presentar a la consideración del lector el mecanismo denominado "Triángulo de Grados", que si bien es útil y práctico en su diseño, nos permite apreciar las propiedades que posee el carburo de tungsteno, como material de corte en sus diversos grados.

Se contempla en la figura, la nomenclatura empleada por uno de los principales fabricantes del ramo, donde se asigna en forma ordenada previa selección y análisis de las propiedades físicas del material referido, el grado recomendado para solucionar las diversas alternativas de maquinado.

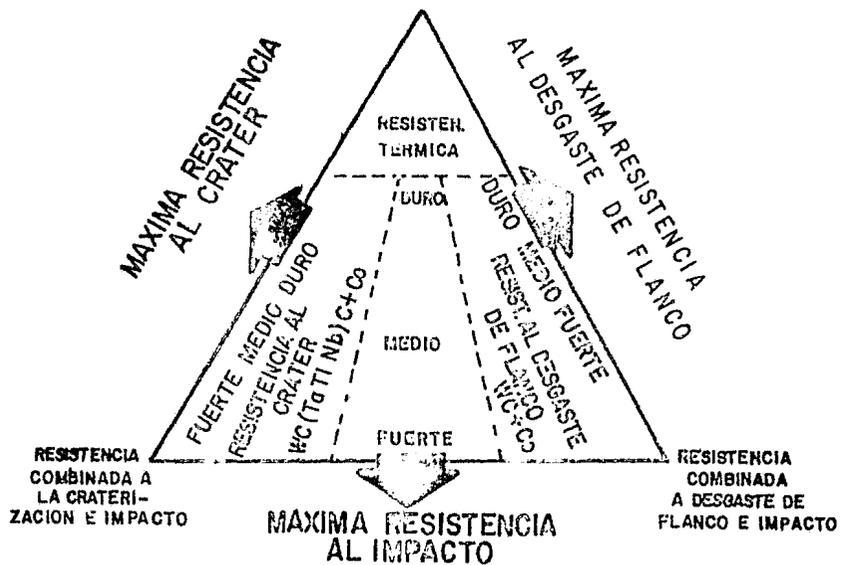
En la fig. 14a se observa que en los lados del triángulo se encuentran dispuestas las distintas propiedades, cuya intensidad va cambiando a partir de la base de la siguiente forma: fuerte, medio y duro. Las flechas indican los puntos máximos para cada propiedad. Las áreas puntuadas muestran los límites para las diferentes composiciones de carburo de tungsteno y en los vértices inferiores se encuentra la combinación de las propiedades incidentes.

La fig. 14b contiene las variedades que resultan de la composición de las mezclas cuya estructura cambia dependiendo del grado; además, los fabricantes de carburo de tungsteno en su afán de crear compuestos con propiedades mejoradas, lanzan al mercado nuevos productos y en cambio al mismo tiempo el rango de aplicaciones, lo cual hace difícil enumerar todos los grados existentes.

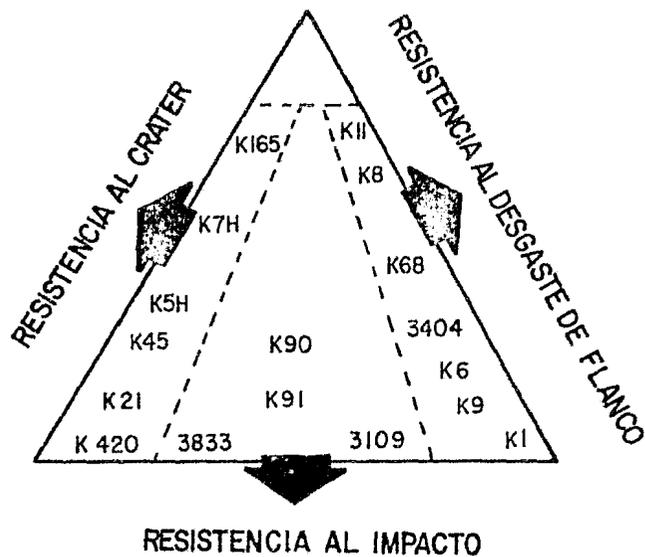
Existe otra limitante; debido a la competencia que sostienen los diferentes fabricantes, los datos acerca de las composiciones de las mezclas son escasamente - -

guardados; sin embargo, se cuenta con la relación de series para las distintas aplicaciones que se describen en este capítulo, proporcionada por uno de los fabricantes y al final del mismo, se muestra una tabla comparativa con la nomenclatura oficial empleada.

FIGURA 14 TRIANGULO DE GRADOS



a)



b)

2.2 APLICACIONES QUE REQUIEREN RESISTENCIA AL IMPACTO.

Existe una gran variedad de grados de WC que poseen una alta resistencia al impacto como característica principal, en combinación con una buena resistencia al desgaste, a la abrasión, etc.

Para una aplicación particular, pueden obtenerse las propiedades más adecuadas mediante la correcta combinación de los constituyentes en la mezcla y el tamaño de grano de las partículas de WC.

Como regla general, puede decirse que a mayor contenido de cobalto y mayor tamaño de grano, se menor la dureza del grado resultante pero posee una mayor resistencia al impacto.

Los grados de WC resistentes al impacto han desplazado en muchas aplicaciones el acero aleado, debido a su durabilidad superior, proporcionando con ello las siguientes ventajas de operación:

- mayor producción de piezas
- mayores velocidades y presiones de trabajo
- uniformidad en dimensiones y acabado de las piezas

Estas ventajas traen por consecuencia una notable reducción en costos de mantenimiento y lo más importante, menor tiempo muerto por reafilado y reposición de partes sujetas a desgaste, lo que justifica en muchos casos su uso, a pesar de que su costo inicial es más alto que el que corresponde al acero aleado.

2.2.1 PARTES SUJETAS A DEBILITACION OCASIONADA POR FUERZAS DE IMPACTO.

Los grados incluidos en este grupo, son esencialmente WC de tamaño de gran media y, cobalto como aglutinante. La siguiente tabla contempla los grados de este grupo.

GRADO	% Co*	UREZA Rc	RESISTENCIA AL IMPACTO (in-lb/in ²)
3109	12.1	72	200
K9	8.8	73	200
3404	5.8	76	150
3406	7.8	78	200
3411	9.8	73	250
3047	10.8	73	250

* El balance es WC.

Algunas de las aplicaciones y sus ventajas se describen a continuación.

A) Trituradoras de Carbón (Fig. 18).

Originalmente se utilizaban puntas de acero, pero existían problemas por el atascamiento en el triturado debido a la baja velocidad de operación, llegando incluso a ocasionar la caída de las puntas. Al sustituirlas por un conjunto formado por bloque y punta de WC, mostrado en la fig. 18, se lograron superar las deficiencias anteriores. Grado recomendable: K9.



Fig. 18 Trituradora de carbón.



Fig. 16 Bloque y punta de WC.

3) Martillos pulverizadores como puntas de carburo (fig. 17).

Se utilizan exitosamente para pulverizar materiales abrasivos en la industria de estrías. Los martillos de acero bonina que son reemplazados por fundición -
 el desgaste abrasivo ocasionado por las estrías, mientras que los carburos son
 más de carburo en las partes más afectadas por el desgaste. El uso de carburo
 es recomendable: el



Fig. 17 Martillos pulverizadores como puntas de carburo.

C) Martillos para triturar coque (fig. 10).

Son usados para triturar coque a un tamaño de $1/8''$, en una planta de sinterizado. El extremo del martillo está hecho de WC. Con estas partes se han llegado a producir hasta 6,500 ton. antes de requerir su reposición, en comparación a las ton. producidas por sus similares de acero aleado, logrando menores tiempos muertos para cambio de martillos y un mejor control del tamaño del coque. Grado recomendable: K9

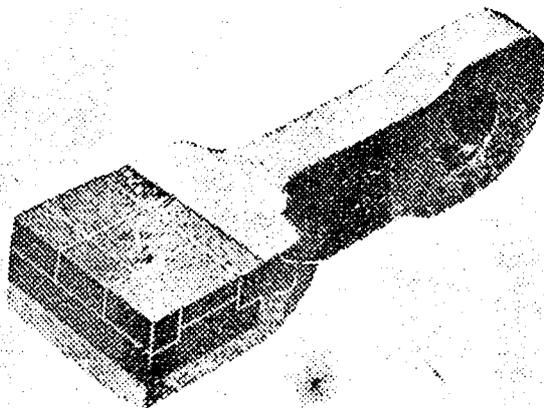


Fig. 10 Martillo para triturar coque.

D) Puntas de brocas para perforar roca y carbón (fig. 11.)

Para estos trabajos de gran aplicación en minería y en la industria petrolera, se han logrado magníficos resultados insertando puntas de WC en las brocas para perforar superficies resacas. Grados recomendables: 3404, 3405 y 3411.

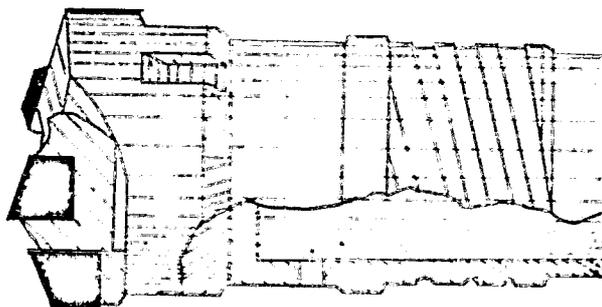


Fig. 11 Puntas para perforar rocas.

LOS PROBLEMAS PARA DIFERENTES PROPOSITOS.

El segundo grupo de la clasificación de la serie de grados resistentes al impacto se relaciona con algunas aplicaciones para diferentes propósitos con propiedades que permitan las suaves curvas de choque y mantener una deformación al mínimo.

Los siguientes grados de los aceros son adecuados para estos propósitos.

GRADO	σ_{TS} *	DUREZA Hc	RESISTENCIA AL IMPACTO (in-lb/in ²)
A36	36.0	98	200
A51	48.5	94	250
A108	48.0	92	200
A302	44.0	94	280

*El Balance es WC.

Algunas aplicaciones en este campo son:

Al Punzones y matrices para extrusión por impacto (fig. 20).

Este proceso se está utilizando común en la producción de partes de acero laminado no ferronico, debido a los grandes volúmenes de producción que se pueden obtener. Piezas tales como pernos pasadores, casquillos para bujías, pistas de fricción y vástagos de válvulas. En algunas aplicaciones típicas de la extrusión por impacto el tiempo de trabajo alcanzan un nivel más hasta 20,000 Kg/cm². Este tipo de trabajo se hace comúnmente después del tiempo de estabilización del WC. Grados de aceros A36 y A51 y A302.

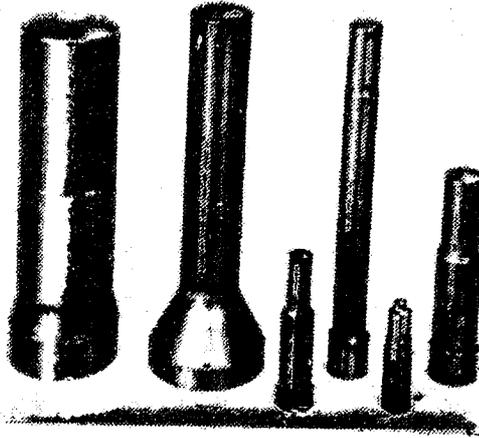


Fig. 20 Punzones para extrusión en frío.

B) Troqueles para producción de mosaicos (Fig. 21)

Al sustituir los troqueles de acero por troqueles cuyos
cortantes son de WC, la vida de las herramientas resulta mayor y se reduce en forma
considerable el costo de troquelado por hora. Las tiras de WC son unidas al cuerpo
de los troqueles mediante soldadura de plata y posteriormente son rectificadas para
uniformar los bordes cortantes. Grados recomendables: K 90 y K 91.



Fig. 21 Troqueles para producir mosaicos.

C) Troqueles de embutido para fabricación de latas (Fig. 22 a)

Los troqueles de WC para fabricación de latas, han incrementado la producción, mejorando al mismo tiempo la calidad del producto controlando sus dimensiones y han tenido menos pérdidas por desperdicio de material, dando como resultado un bajo costo de troquelado por pieza. Grados recomendables: K 90 y K 91.

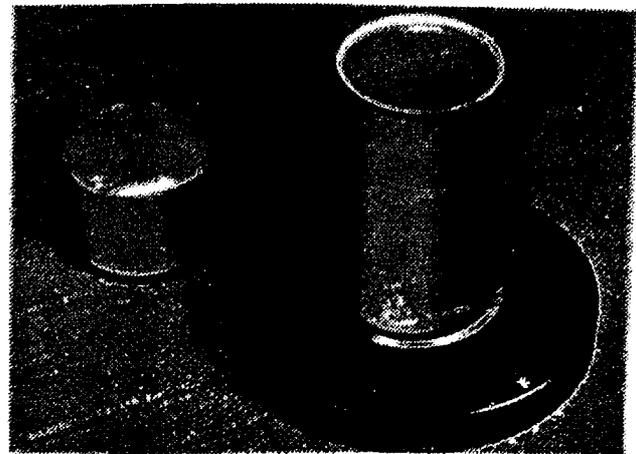


Fig. 22 a Troquel para producir latas

D) Troqueles de corte Fig. 22 b, 22 c y 22 d .

Se utilizan para la producción de millones de piezas, manteniendo una uniformidad de dimensiones y acabado de las mismas gracias al poco desgaste que sufren los punzones y matrices de WC. Las piezas mostradas en la fig. 22 b son laminaciones para motores eléctricos fabricadas en troqueles progresivos que emplean insertos de WC.

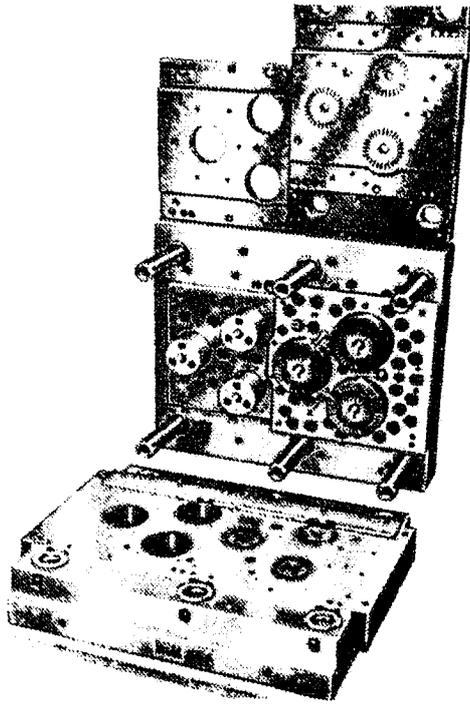


Fig. 22 b Troquel progresivo de corte, de 3 rotores para motor eléctrico.

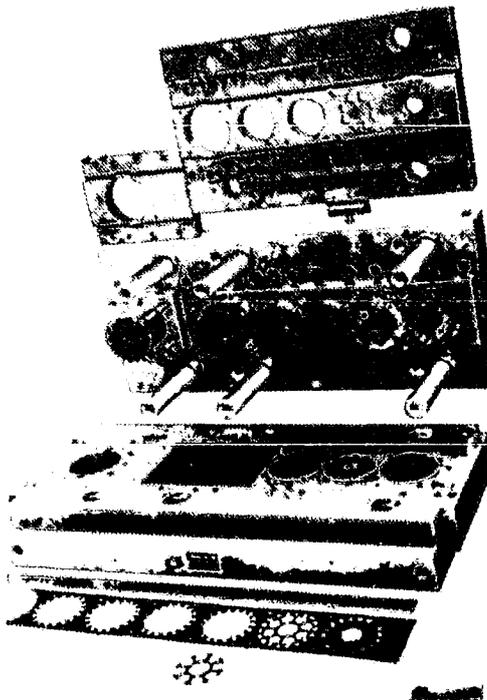


Fig. 22 c Troquel progresivo de corte de rotor y estator para motor eléctrico.

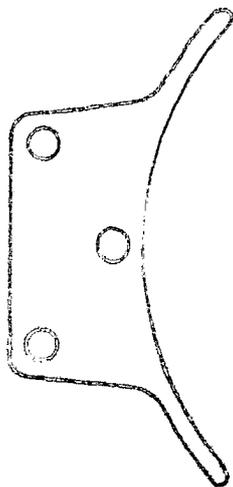
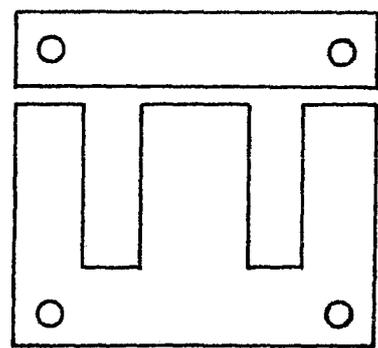
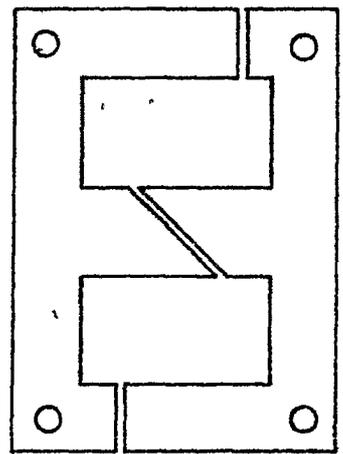
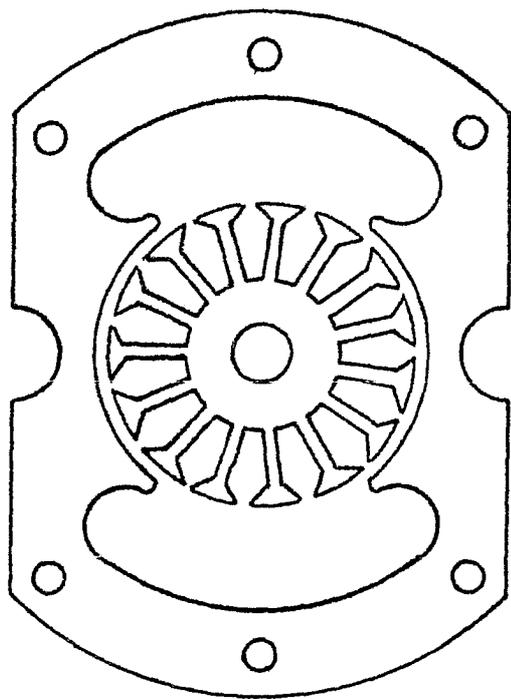


FIG. 22 d
EJEMPLO ILUSTRATIVO DE LAMINACIONES
PARA MOTORES ELECTRICOS FABRICADAS
EN TROQUELES PROGRESIVOS DE A.L.



APLICACIONES QUE REQUIEREN RESISTENCIA AL DESGASTE DE FILO.*

El WC con su elevada dureza y propiedades de resistencia al desgaste, tiene -
 versas aplicaciones en la industria metal-mecánica.

La resistencia al desgaste es difícil de medir puesto que varía bajo las dife-
 tes condiciones de operación. Como regla general, se utiliza un factor de 100 a
 uando se le compara con el acero, dependiendo del grado de WC. los WC normales -
 un bajo contenido de Co son los más resistentes al desgaste ocasionado por sól^l
 y líquidos abrasivos.

La propiedad más importante que exhiben estos grados es su alta dureza, ade -
 de tener también altos valores de módulo de elasticidad, como se muestra a con-
 uación.

GRADO	% Co*	DUREZA Rc	MODULO DE ELASTICIDAD x 10 ⁶ psi
K11	2.8	más de 80	94.2
K8	3.8	más de 80	94.8
K68	5.8	80	89.8
K6	5.5	80	94.0
K1	11.5	76	79.6

*El balance es Wc.

En relación a la fig. 14a, se observa que el grado K11 es el de mayor resis-
 cia al desgaste de filo de esta serie, quedando de los demás por debajo de él.

A) Rodillos laminadores de barras (fig. 23).

Estos rodillos de WC son operados a muy altas velocidades, permitiendo gran
 eficiencia y productividad con un mínimo tiempo muerto por cambio de estas partes.

Se obtienen dos ventajas adicionales, control dimensiones estrecho y buena concentricidad de las barras producidas. Grados recomendables: K 11, K 8 y K 6



Fig. 23 Rodillos laminadores.

B) Rodillos bruñidores (fig. 24)

Se usan regularmente en el acabado de muñones de ejes de ferrocarril. Los rodillos bruñidores de WC producen superficies pulidas con un acabado de 8 a 12 partes de acero, eliminando el costoso rectificado que se requiere al utilizar rodillos bruñidores de acero. Grados recomendables: K 11, K 8 y K 6.



Fig. 24 Rodillos bruñidores

8) Troqueles compactores (Fig. 25)

Se utilizan en la producción de componentes cerámicos para aplicaciones eléctricas por sus excelentes características de resistencia al desgaste, resistencia a la abrasión y altos valores de esfuerzo de compresión. Se han llegado a obtener hasta 1'000,000 de piezas antes de producirse una falla del troquel. Grados recomendables: K 11 y K 8.

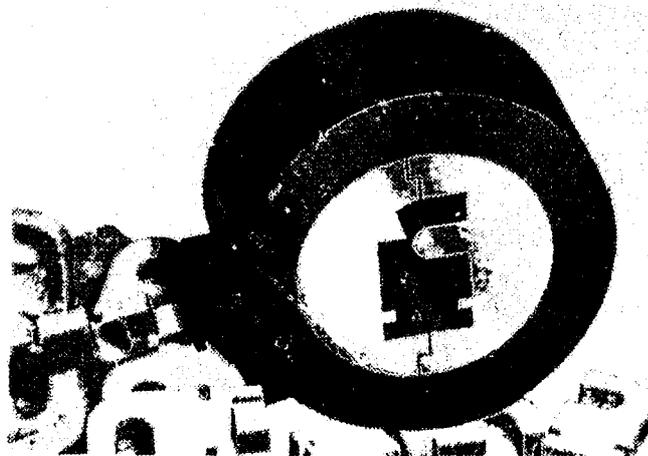


Fig. 25 Troquel compactador

9) Cuchillas circulares (Fig. 26).

Se emplean para cortar materiales tan abrasivos como acero al silicio de pequeños espesores (0.3 mm) en tiras en rollo, teniendo una gran duración. Cuando se utilizaban cuchillas de acero alcarbide era necesario rebabear las orillas de lámina cortada, para fabricación de laminaciones de motores eléctricos. Las cuchillas de WC produjeron tiras sin rebaba e incrementaron la producción por hora. Grado recomendable: K 08.



Fig. 26 Cuchillas circulares.

2) Boquillas para rociado de pinturas (fig. 27).

Para rociar una pintura de óxido de titanio con base de agua sobre panel acústicos, las boquillas de acero endurecido tenían que ser reemplazadas cada 6 horas debido al excesivo desgaste de los orificios, produciendo con ésto un gran consumo de tiempo y dinero. Las boquillas de WC duraron 736 horas antes de requerir reemplazo; esto demuestra que la relación de duración fue de 123 a 1, obteniéndose simultáneamente menor tiempo muerto, menor costo de las partes y un patrón de rocío más uniforme. Grado recomendable: K 11.

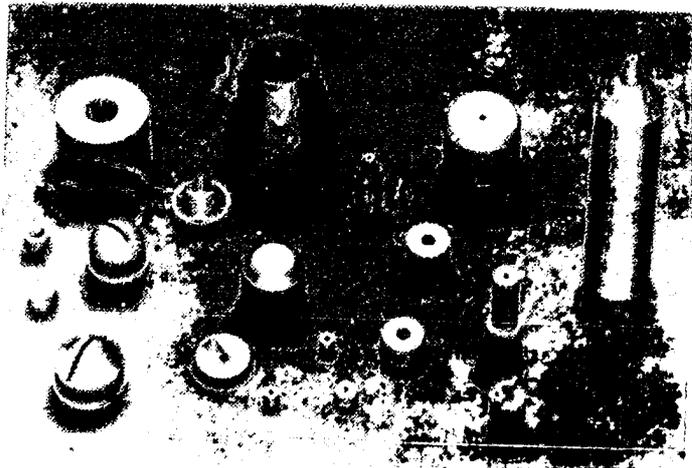


Fig. 27 Boquillas de WC para rociado de pinturas.

2.4 APLICACIONES QUE REQUIEREN RESISTENCIA A LA CRATERIZACIÓN.

Como se mencionó con anterioridad, la craterización es la depresión que se forma por el flujo de rebaba caliente sobre la superficie de ataque del inserto.

La craterización rápida puede tener varias causas, pero es principalmente debida al factor avance, velocidades de corte excesivamente altas, falta de lubricación correcta e insuficiente resistencia al desgaste de cráter del material de la herramienta.

Es importante hacer notar que los componentes básicos de la mezcla para los grados de esta serie son esencialmente WC, TaC, TiC, NbC y Co.

En la tabla siguiente, se muestran los grados que componen esta serie.

GRADO	% Co	% TaC + TiC	DUREZA
			Rc
K165	8-10	12-20	Más de 80
K7H	8-10	12-20	Más de 80
* K5H	6-7.5	16-25	80
K45	6-7.5	16-25	80
** K21	7.5-9	12-22	79
** K420	10-12	8-15	79

* Predomina el TaC.

** Predomina el TiC.

Por otra parte, tenemos los carburos recubiertos con TiC para dar a los insertos una mayor resistencia a la craterización.

El efecto del recubrimiento, es el de reducir la fricción entre la herramienta y la pieza de trabajo, hasta el grado en que las fuerzas que actúan sobre la herramienta se reducen del 15 al 25%, disipando más rápidamente el calor.

En general, las herramientas de WC recubiertas tienen su mejor aplicación en operaciones de maquinado de aleaciones de acero a altas velocidades, en operaciones de semiacabado y acabado.

El grado que cumple con dichas características es el KC 810.

Las aplicaciones típicas de los grados de esta serie son: maquinado de fundición blanca, aleaciones de acero con alto contenido de silicio, aceros endurecidos, plásticos abrasivos, fundición de acero, fundición de hierro maleable, hierros nodulares y aceros inoxidable martensíticos.

Las condiciones de uso recomendadas son operaciones de desbaste, semiacabado y acabado, a altas y bajas velocidades de corte.

2.1. TABLA COMPARATIVA PARA SELECCIONAR CARBURO DE TUNGSTENO EN MAQUINADO.

Esta tabla contempla la nomenclatura utilizada por los fabricantes de WC e incluye sus aplicaciones desde el punto de vista materiales a maquinar, -- condiciones de uso recomendadas y en general su comportamiento probado en máquinas-herramienta.

FABRICANTES DE CARBUROS SINTERIZADOS						MATERIALES A MAQUINAR		CONDICIONES DE USO RECOMENDADAS		APLICACIONES FUNCIONAMIENTO MAQUINADO								
RAZON ANDAR	INDUSTRIAL CARBIDE	CARBOLLOY	VALENITE	SANDVIK	KENNAMEX	PROPIEDADES FISICAS				FORZADO	ENFRÍO	SECCIONES GRANDES DE TRABAJO	SECCIONES PEQUEÑAS DE TRABAJO	R.C	R.C.F	E.F.C	R.Ch	R.I.
C-1	AH1	44A 55A	VC1	H20	K1 K5	HR = 80.8 A ent 400,000 psi	Acero, fund. de acero, acero austenítico, fund. gris y aleación resiste. altas temperaturas	Para semiacabado, semidesbaste y desbaste a vel. media de corte y con secciones grandes de trabajo.	EXC.	EXC.	REG.	EXC.	REG.	REG.	REG.	EXC.	M.B.	EXC.
C-2	AH2	583 850	VC22 VC26	H20 H1P	K38 K5	HR = 81.8 A ent 300,000	Fund. gris sobre 220 DHN, metales no ferrosos concreto, resinas orgánicas.	Para semiacabado, semidesbaste y desbaste	EXC.	M.B.	REG.	REG.	END.	END.	END.	END.	M.B.	M.B.
C-3	AH3	995 965	VC3 VC28	H1P H10	K38 K5	HR = 82.8 A ent 340,000	Fund. gris sobre 220 DHN, hierro maleable, aleaciones de Cu y Al.	Para semiacabado, semidesbaste y desbaste.	EXC.	EXC.	M.B.	FORZADO	M.B.	M.B.	M.B.	M.B.	EXC.	M.B.
C-2 C-4		523 570 545	VN2 VC91	5C315 6C315	KC210 KC73	CARBUROS SINTERIZADOS RECOMENDADOS	Fund. gris, aceros al Mn y alea. ción resiste. altas temperaturas.	Para usar a altas vel. de corte y grandes avances en fierro, y rápidos avances en las aleaciones.	END.	N.R.	EXC.	N.R.	EXC.	EXC.	EXC.	FORZADO	REG.	REG.
C-4	AH4	999 895	VC4	H35	K11	HR = 84.5 A ent 300,000	Fund. blanca, aceros alto Si, aceros endurecidos, plásticos resiv.	Para semiacabado y acabado.	EXC.	M.B.	EXC.	N.R.	EXC.	EXC.	END.	END.	END.	REG.
C-5	AT5 AT5B	380 755 355	VC5 VC125 VC55	S5 S4	K21 K425 K25	HR = 85.7 A ent 300,000	Acero, fund. de acero con cavi- tades, aceros inoxidables org-ánicos y fund. acero inoxid-able.	Para maquinar a altas vel. de corte y altos avances y en con- diciones desfavorables.	EXC.	EXC.	REG.	EXC.	REG.	REG.	EXC.	M.B.	EXC.	
C-6	AT6 AT6B	315 370	VC6	S2 S1P S130	K425 K4H K3	HR = 87.7 A ent 300,000	Acero, fund. de acero, fund. - hierro maleable y aceros corte rápido.	Para semiacabado, semidesbaste y desbaste, con secciones media o grande de trabajo.	EXC.	EXC.	END.	M.B.	END.	END.	EXC.	EXC.	EXC.	
C-7	AT7 AT7	355 36	VC7	S1P F12	K38 K45H	HR = 88.5 A ent 300,000	Acero, fund. de acero, fund. fierro, - acero inoxidable, fund. sobre alta velocidad.	Para semidesbaste y acabado y maquinado genl. de acero con la mayor productividad.	EXC.	FORZADO	M.B.	N.R.	M.B.	M.B.	END.	REG.	END.	
C-2A		544 541 575		5C105 6C015 5C015	K5-15	CARBUROS SINTERIZADOS RECOMENDADOS	Fund. los aceros, hierro male- lar, acero inox. austenítico.	Para desbaste y acabado y con altas o bajas vel. de corte.	EXC.	FORZADO	EXC.	EXC.	EXC.	EXC.	M.B.	END.	M.B.	
C-8	AT8 AT8	300 240	VC8 VC9	F12	K5H K15	HR = 89.5 A ent 300,000	Acero H.C., aceros para corte. de acero, acero aleado con níquel	Para semiacabado, desbaste y con altas velocidades de corte.	EXC.	M.B.	FORZADO	M.B.	EXC.	END.	END.	FORZADO	M.B.	N.R.
C-9	AH2	583	VC22	H1P	K5	HR = 81.8 A ent 300,000	Fund. gris, metales no fer- rosos, etc.	Para semiacabado y acabado.	EXC.	M.B.	END.	REG.	END.	END.	END.	M.B.	FORZADO	

EXC. = EXCELENTE

- M.F. MUY BUENO
- EXC. EXCELENTE
- REG. REGULAR
- END. BUENO
- M.B. MUY BUENO

- R.C. BUENA REND. A LA CRATERIZACION.
- R.C.F. BUENA REND. AL DESBASTE DEL FILLO.
- M.B. BUENO DEL FILLO CONTANTE.
- FORZADO BUENO DEL FILLO CONTANTE.
- M.B. BUENO DEL FILLO CONTANTE.
- M.B. BUENO DEL FILLO CONTANTE.

CAPITULO 3.
FABRICACION DE INSERTOS DE CARBURO DE
TUNGSTENO.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO.

El material base principal utilizado en la manufactura de carburo de tungsteno es el óxido de tungsteno, preparado en estado puro a partir de mineral de tungsteno (scheelita o wolframio) por compañías especializadas en este tratamiento.

El óxido de tungsteno es convertido en polvo de metal de tungsteno bajo condiciones cuidadosamente controladas. El óxido de tungsteno se mete en botes o recipientes de acero resistente al calor y se carga (en la mayoría de los casos automáticamente) en hornos eléctricos de temperatura controlada a 900°C aproximadamente, en una atmósfera seca de hidrógeno puro.

Por un control rígido de este proceso de reducción, se asegura un producto uniforme y un tamaño de partículas que se mantienen dentro de los límites deseados. El producto final, polvo de metal de tungsteno, debe resultar con una pureza de al menos 99.9%, con un grano fino y uniforme ya que este polvo influenciará al WC terminado. Finalmente se toman muestras para determinar su pureza y tamaño de grano. (fig. 27 a) y (27 b).

CARBURO DE TUNGSTENO

Suponiendo que las muestras tomadas del proceso previo se conforman a las especificaciones requeridas, el polvo de metal de W es mezclado con un poco más de carbón (muy fino) en un molino de bolas por varias horas, hasta obtener una mezcla íntima.

Al concluir esta operación en los molinos, los polvos mezclados son empacados en botes de grafito y calentados en atmósfera de hidrógeno por varias horas, en un rango de temperatura de 1400°C a 1600°C, durante el cual toma lugar la combinación química entre el polvo de W y el carbón, produciéndose WC.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PARA FABRICAR CARBURO DE TUNGSTENO (WC)

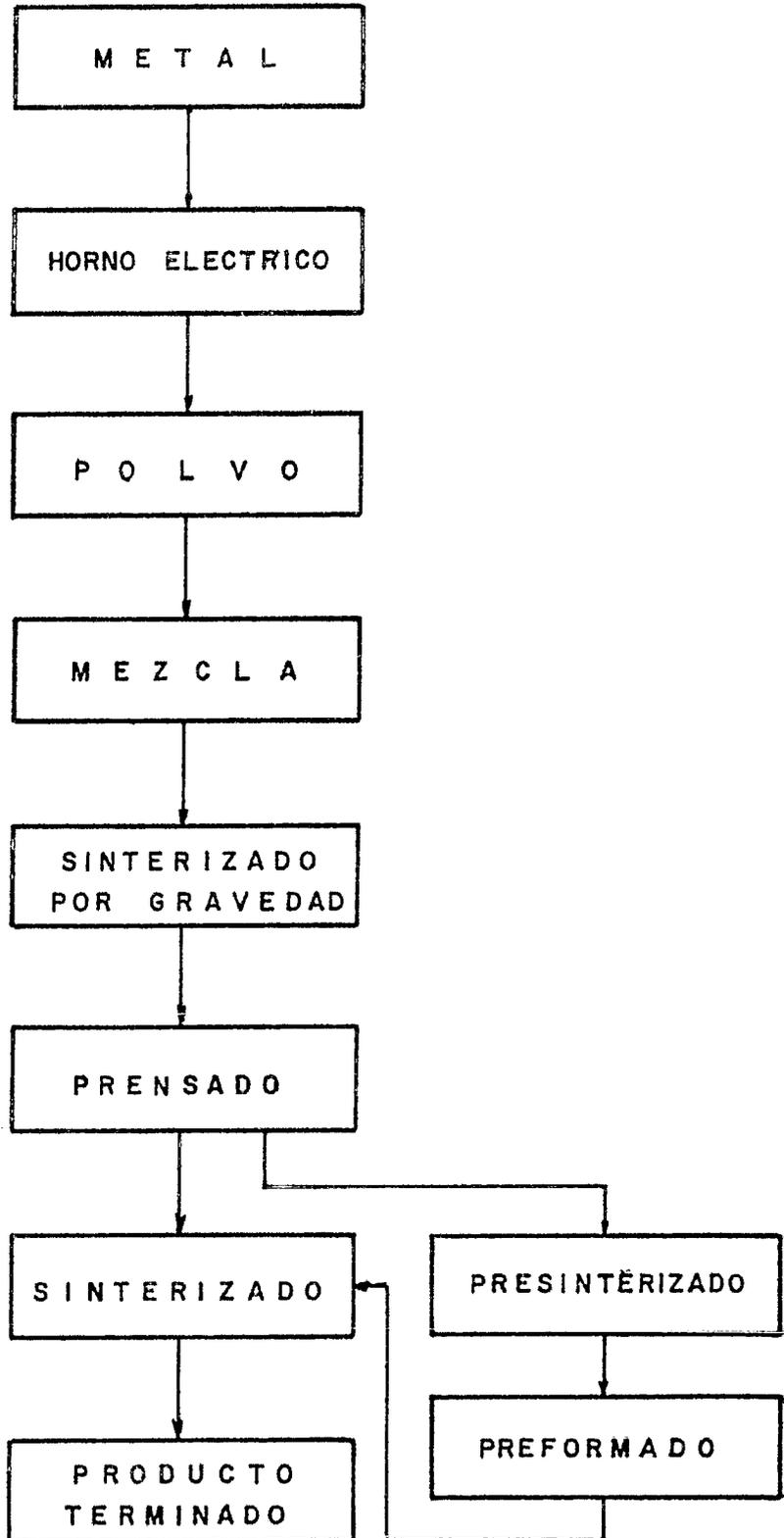


Fig. 27 a.

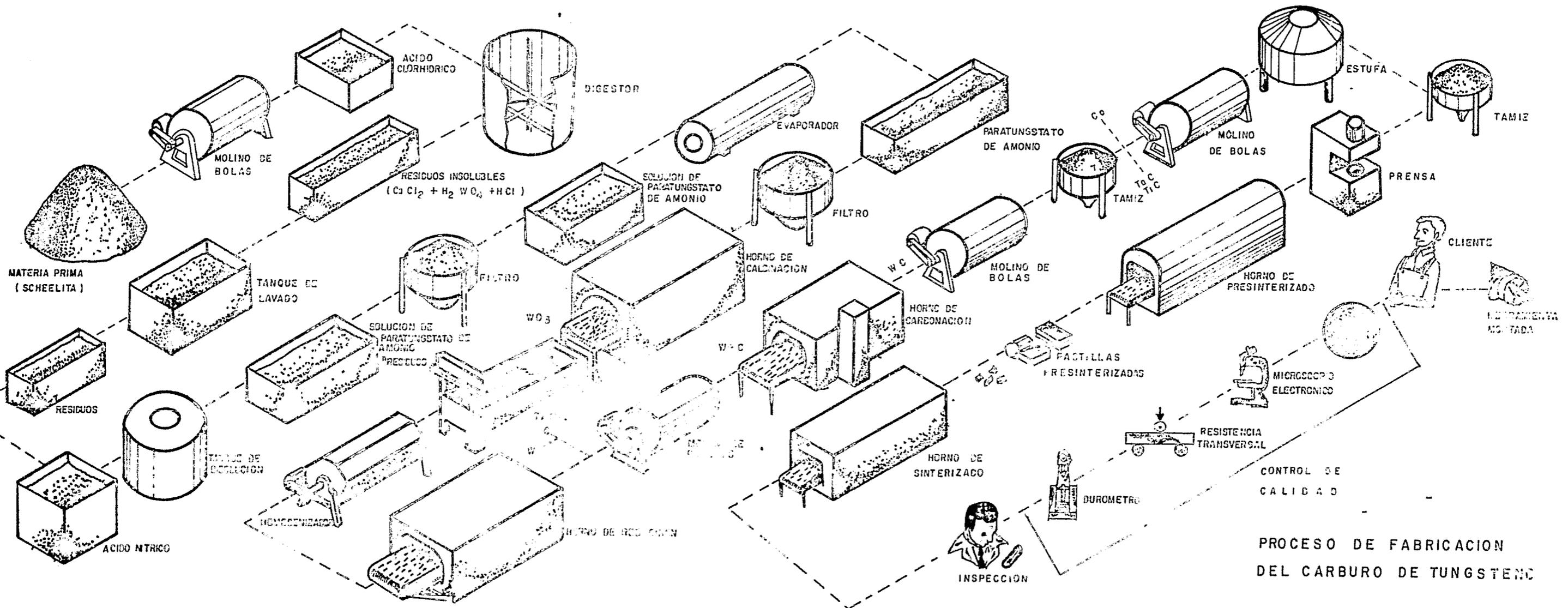


Fig. No 27b

CARBURO DE TUNGSTENO CEMENTADO.

EL polvo de metal cobalto, cuyo porcentaje depende del grado deseado, se añade al WC puro. Cargas de esos materiales pesados con exactitud, son completamente mezclados en molinos de bolas por un período que depende del contenido de cobalto, con el objeto de obtener una mezcla íntima de partículas de WC con Co. El mezclado se lleva a cabo con humedad, usando agua o acetona. El sedimento es centrifugado y secado en hornos al vacío y el polvo seco es cribado a través de tamices metálicos finos para separar partículas de tamaño grande. La fig. 28 es una representación de un tipo de criba vibratoria usada para este fin.

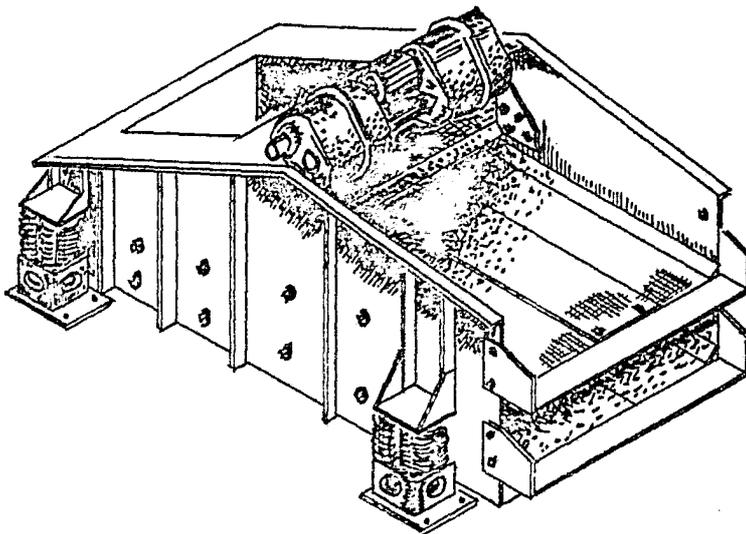


FIG. 28 CRIBA VIBRATORIA

PRODUCCIÓN DE INSERTOS A PARTIR DE LOS POLVOS.

Existen dos métodos a saber:

- a) Prensado en frío, para lotes de pequeñas cantidades y formas complicadas.
- b) Prensado en frío para lotes de grandes cantidades y figuras planas sencillas.

En el primer método se añade parafina u otro lubricante al WC cementado después de pesar la cantidad exacta. Estos se introducen entonces dentro de un dado cementado grande, cuidando al momento de llenar, ya que debido a la falta de flujo polvo es necesario lograr una distribución uniforme para dar un prensado uniforme. Se utiliza una prensa hidráulica para conformar el polvo a lingotes o bloques.

El lingote es extraído del dado después del prensado y la parafina o el lubricante empleado es separado por un proceso de "derretido de cera". Este proceso consiste en calentar el lingote a una temperatura de 400°C en el horno de atmósfera de hidrógeno, separándose la cera del material principal durante el sinterizado.

Debido a la fragilidad del lingote o bloque de WC cementado, un tratamiento térmico preliminar conocido como pre-sinterizado es llevado a cabo en un horno atmosférico de temperatura controlada (desde 700°C hasta 1000°C), en una atmósfera de hidrógeno. Esta temperatura se ajusta para dar al bloque la dureza requerida, de tal forma que pueda ser manejado, cortado, torneado e conformado sin dificultad.

En el segundo método, para lotes de grandes cantidades, se emplea una prensa de tipo automático con tolva de alimentación por gravedad. Es esencial el llenado del dado con la tolva para que el factor de flujo del polvo mezclado se incremente por "granulado". Esta granulación se lleva a cabo triturando previamente los bloques de los polvos mezclados con cera.

Generalmente solo se conforman figuras planas y simples por este método. Como ejemplos típicos las puntas para punzonar, prensando la figura plana y luego dando los radios y ángulos de la punta. A las puntas se les quita la cera y se sinterizan, después de lo cual cualquier forma o figura adicional puede lograrse.

3.1.1 SINTERIZADO

PRESINTERIZADO.

Es un proceso de precalentamiento hecho después de la compactación del polvo, para evaporar los lubricantes volátiles, cuando se requiere algún maquinado sobre piezas con materiales que son difíciles de trabajar, el problema a menudo puede aliviarse empleando una operación de presinterizado. En este proceso las piezas comprimidas son calentadas durante un corto tiempo a una temperatura considerablemente menor que la temperatura final de sinterizado. A partir de esta operación de presinterizado, las piezas adquieren suficiente resistencia para ser manipuladas y trabajadas sin dificultad. (Figs. 28 a, 28 b y 28 c).



Fig. 28 a Compactado de insertos triangulares.

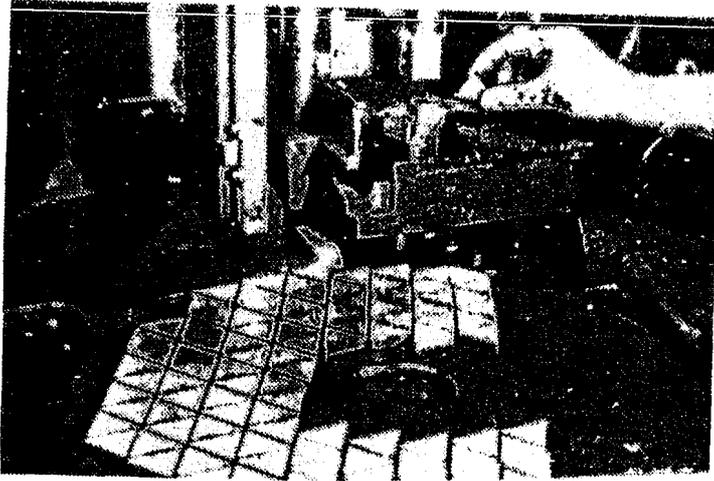


Fig. 28 b Colocación de los insertos compactados,
en el árbol de grafito.

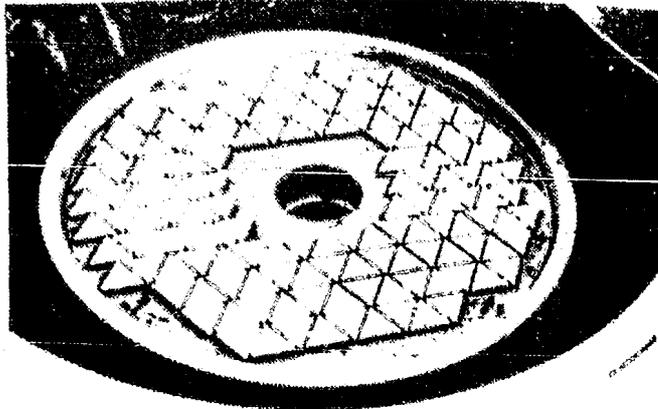


Fig. 28 c Arbol de grafito listo para entrar al -
horno de sinterizado.

Como el cambio de dimensiones en el sinterizado final es muy pequeño, el maquinado después del sinterizado puede reducirse a un mínimo o eliminarse completamente.

El presinterizado es particularmente útil en las piezas difíciles de machucar en que deben hacerse agujeros.

Usualmente los hornos mas grandes para la producción, tienen una zona separada de calentamiento para el presinterizado, las temperaturas de presinterizado fluctúan entre 350 y 430°C.

SINTERIZADO FINAL

El sinterizado desarrolla la unión metalúrgica entre las partículas de polvo y así se producen piezas de polvo metálico. Se considera que ocurre una difusión de átomos entre las partículas comprimidas, dando lugar a la formación de cristales y destrucción de la partícula original. En la adheividad de las partículas entrelazadas, el sinterizado puede producir los siguientes efectos:

- a) - Cambios químicos.
- b) - Cambios dimensionales.
- c) - Alivio de esfuerzos internos.
- d) - Cambios de fase
- e) - Aleado

El sinterizado es una de las etapas mas críticas de los procesos de manufactura y es esencial que se entienda el tema.

El sinterizado se realiza debajo de la temperatura de fusión del componente principal. Muchos metales son sinterizados a una temperatura entre el 70 y 80% de -

La temperatura de fusión del componente principal; ciertos materiales refractarios pueden ser sinterizados a una temperatura de 90% de la temperatura de fusión.

Todos los polvos de metal se sinterizan en hornos con atmósferas neutras — controladas para prevenir oxidación o combustión de las partículas de polvo fino.

Existe siempre algún cambio dimensional en la operación de sinterizado; — puede verificarse ya sea un crecimiento o un encogimiento. (fig. 28d).

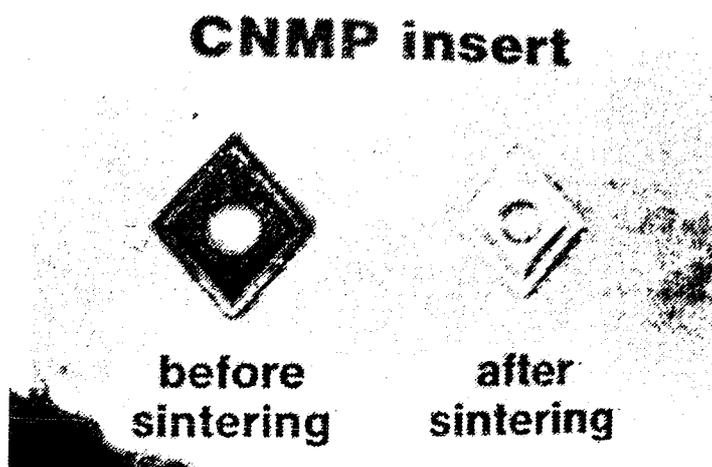


Fig. 28d Insertos antes y después del Sinterizado.

Lo que sucede depende de las variaciones en la forma y en el tamaño de las partículas del polvo, la composición de éste, el proceso de sinterizado y la presión del compactado.

Los tamaños porcelosa se mantienen compensando los cambios al hacer los compactados y manteniendo luego condiciones uniformes.

Normalmente aparecen los cambios dimensionales como encogimientos; en polvos de hierro pueden ser mas del 3%. Los metales duros compactados desde granos muy bastos pueden tener un encogimiento del 15%.

El sinterizado final no debe confundirse con el término "endurecimiento", - como se aplica en tratamiento térmico convencional; es por el contrario, una operación en la que las partículas duras de tungsteno son unidas (cementadas) por el - - aglutinante cobalto.

PROCESO DE MOLDEO EN CALIENTE.

Este proceso es empleado para la producción de insertos en los cuales es necesario un mejor control de la contracción y cuando debe evitarse la deformación en secciones largas y delgadas.

Uno de los métodos más usuales, es en el que la prensa tiene un molde de carbón calentado por una unidad de inyección de alta frecuencia. El volumen de muestra de carburo que debe meterse en el molde se calcula por el peso y la densidad del producto terminado; los componentes se cargan en el molde y son calentados hasta la prensa y son compactados a presión atmosférica baja.

Alternativamente, se puede utilizar una temperatura similar a la que se usa para obtener un carburo terminado en frío. Toda muestra calentada de esta manera se compacta a presión atmosférica en un molde templado y es retirado - - de la prensa. Una expansión severa durante la compactación, resulta en una contracción de - - esta muestra, que puede ser controlada por el uso de un molde templado.

3.2 EQUIPO INVOLUCRADO EN LA ELABORACION DE PASTILLAS DE WC.

3.2.1 EQUIPO DE PULVERIZADO.

El molido de metal es un procedimiento mecánico para obtener polvo de WC al igual que se hace con otros metales, lo cual constituye el punto de partida en la metalúrgica de polvos.

Existen para este fin diferentes tipos de molinos que son usados dependiendo del metal a moler. A continuación se describirán las características principales de cada uno de ellos.

1. Molino de quijadas.

Existen tres tipos:

a) El Traylor, con quijadas móviles que pivotean en su parte superior mediante el movimiento de una biela, proporcionando el máximo movimiento a los trozos de metal más pequeños. Esta máquina tiene una placa trituradora (quijada fija) desmontable, generalmente corrugada, sujeta en posición vertical a un extremo. Una placa similar pero con una ligera curvatura está unida a la placa oscilante (quijada móvil), suspendida de un eje que se apoya en los costados del cuerpo de la máquina. La capacidad de este molino es de 220 Ton/Hr. (fig. 25)

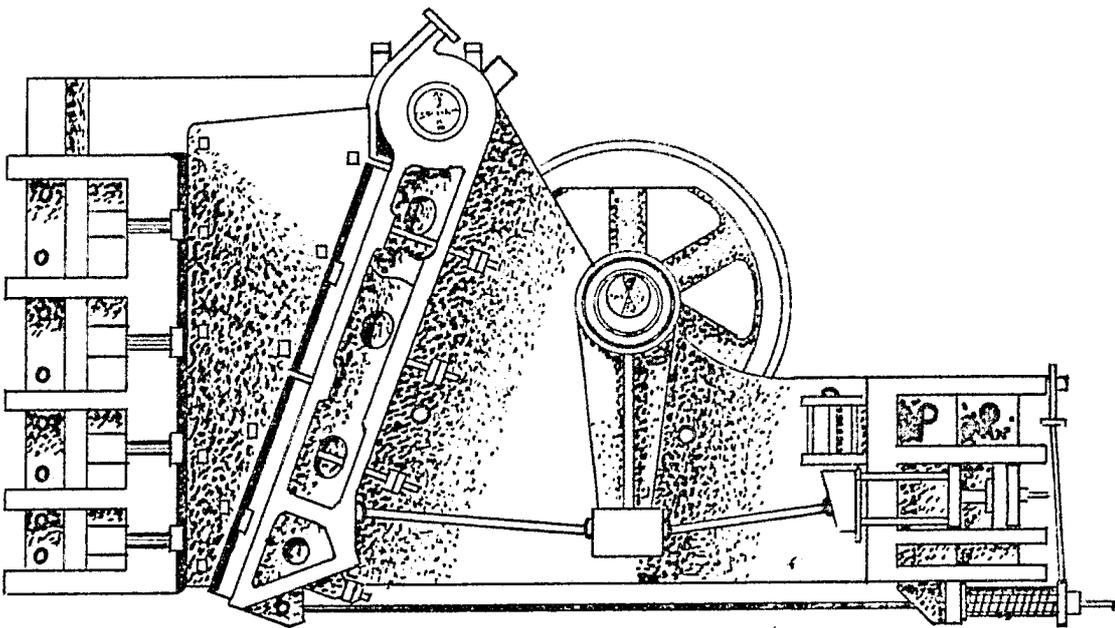


FIG.29 Trituradora de Quijadas

b) El *ledge* tiene la quijada móvil pivoteada en su parte inferior, proporcionando el máximo movimiento a los trozos de metal más grandes. La ventaja de esta máquina es que tiene una boca de alimentación más grande que la *Traylor*.

c) El tercer tipo de molino es una combinación de los anteriores ya que proporciona un movimiento igual a los trozos pequeños y grandes de metal.

Los molinos de quijadas se usan generalmente en la preparación preliminar de los metales duros y también se utilizan con otros tipos de molinos en operaciones más avanzadas.

2. Molino de martillos

Este tipo consta de martillos pivoteados sobre un eje horizontal y la trituración toma lugar entre dichos martillos y placas horizontales, como se aprecia en la fig. 30.

Debajo del rotor se coloca un tamiz cilíndrico graduable, al cual solo se le pasa el material que tenga menor tamaño que la abertura de la malla.

El tamaño del producto se regula variando la distancia entre las barras del tamiz graduable y alargando o acortando la carrera de los martillos.

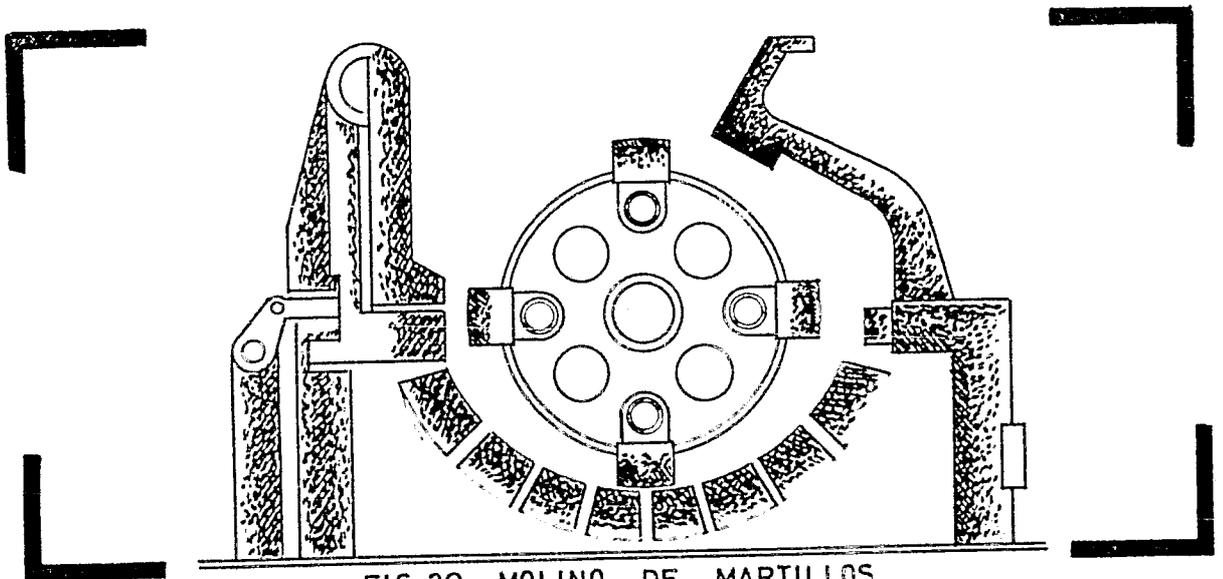


FIG.30 MOLINO DE MARTILLOS

3. Molino de bolas, de tubo y de compartimento.

Estos molinos consisten en un recipiente cilíndrico, generalmente hecho de acero recubierto con feldspato, que se llena a una tercera parte de su capacidad, con medio moledores tales como bolas de acero, piedra o porcelana, o bien con barras de acero. La carga de metal a molar es un 20% del volumen de los materiales moledores, (fig. 30 a).

El molino de bolas, se distingue del molino de tubo por tener poca longitud y porque utiliza normalmente bolas grandes, obteniendo un polvo grueso; en cambio, el molino de tubo es largo en relación a su diámetro, utiliza bolas pequeñas y el polvo es más fino.

El molino de compartimento, que es una combinación del de bolas y el de tubo, consta de un cilindro dividido en uno o más compartimentos divididos por tabiques perforados; la molienda primaria se realiza en un extremo y la pulverización final en el extremo de descarga.

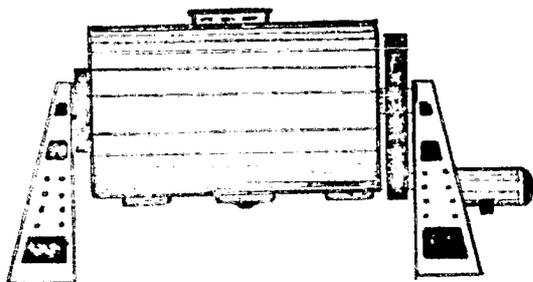


FIG. 30A MOLINO DE BOLAS

3.2.2 MEZCLADORAS.

Un paso muy importante en la fabricación de insertos de WC es el mezclado, cuya finalidad es la de distribuir uniformemente los polvos de WC y Co.

Durante la operación de mezclado es necesario añadir lubricantes como estearato de litio y el grafito pulverizado, cuya función es la de reducir la fricción entre las caras de los dados que se emplean al moldear los insertos y facilitar con ésto su expulsión una vez que han sido compactados.

A continuación se da una breve descripción de algunas mezcladoras.

1. Mezcladora de hélices.

Esta mezcladora proporciona un medio sencillo y económico para mezclar polvos. Unas hélices al girar empujan constantemente los polvos hacia adelante que puede considerarse como cilindro continuo de material. De hecho, la forma del recipiente decidirá la disposición subsiguiente del flujo del material, como puede observarse en la fig. 31

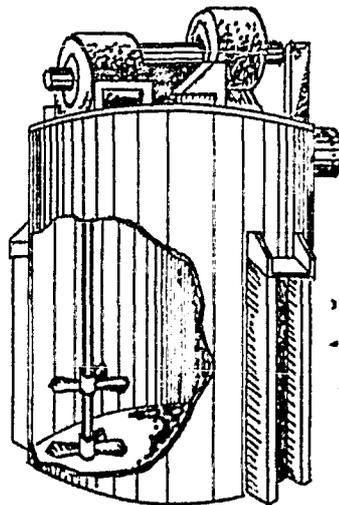


FIG. 31 Mezcladora de hélices

2. Mezcladora de paletas.

Como se aprecia en la fig. 32, este tipo de mezcladora tiene varias paletas dispuestas vertical, horizontal o inclinadamente, unidas a un eje que gira dentro del recipiente arrastrando el material en trayectoria circular.

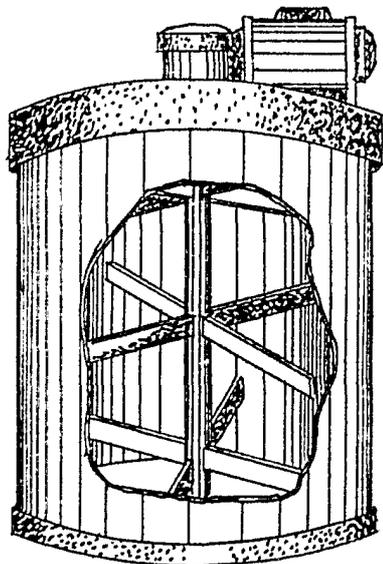


FIG.32 Mezclador de Paletas

3. Mezcladora de turбина.

Su funcionamiento es similar al de una bomba centrífuga, pues los polvos entran axialmente por una abertura central.

Los álabes aceleran el material y lo despegan del impulsor tangencialmente a muy alta velocidad.

3.2.3 PRENSAS.

En este punto se tratarán los diferentes tipos de prensas usadas para compactar los polvos de WC. Debido a su gran dureza, la compactación de polvos de WC requiere presiones tan altas como $14,000 \text{ kg/cm}^2$ para obtener una densidad adecuada y de esta forma eliminar porosidades en el producto. La capacidad de estas prensas supera en algunos casos las 700 toneladas.

A continuación, se describirán los tipos más comunes de prensas, clasificándolas de acuerdo a su movimiento.

1. Prensas de un solo movimiento.

Utilizan un dado para el formado exterior del inserto, un punzón que penetra por la parte superior del dado para formar la parte superior del inserto y un punzón inferior para formar su parte inferior.

Durante el prensado, el dado y el punzón inferior permanecen fijos en su posición. Entonces, el compactado es debido al punzón superior que entra en el dado.

(fig. 33).

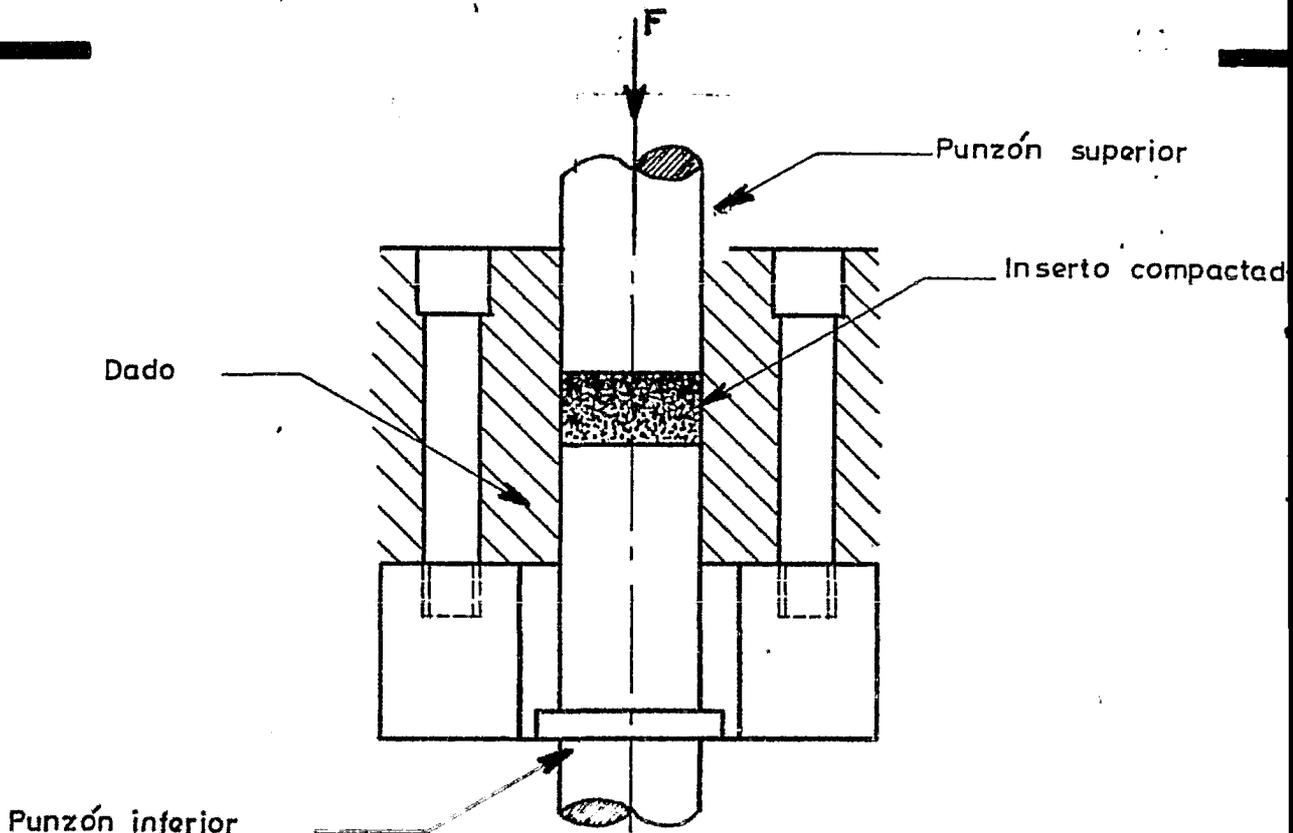


FIG.33 PRENSA DE UN SOLO MOVIMIENTO

La expulsión de la pieza puede efectuarse de dos formas:

- a) El dado permanece estable, mientras el punzón inferior sube hasta una posición en que la cara superior de éste y la del dado forman un solo plano.
- b) El punzón inferior permanece fijo y el dado desciende hasta que su cara superior y la del punzón inferior formen un solo plano.

El accionamiento de este tipo de prensas puede ser hidráulico o mecánico y se utilizan para compactar piezas de cualquier contorno o con partes delgadas y planas.

2. Prensas de dos movimientos.

La característica principal de estas máquinas es que la fuerza de compactación es aplicada en ambos sentidos simultáneamente, como se muestra en la fig.34.

La densidad que se obtiene es bastante uniforme debido a que la presión aplicada en cada sentido es igual, siendo el eje neutral el mismo antes y después de que los punzones se hayan acercado.

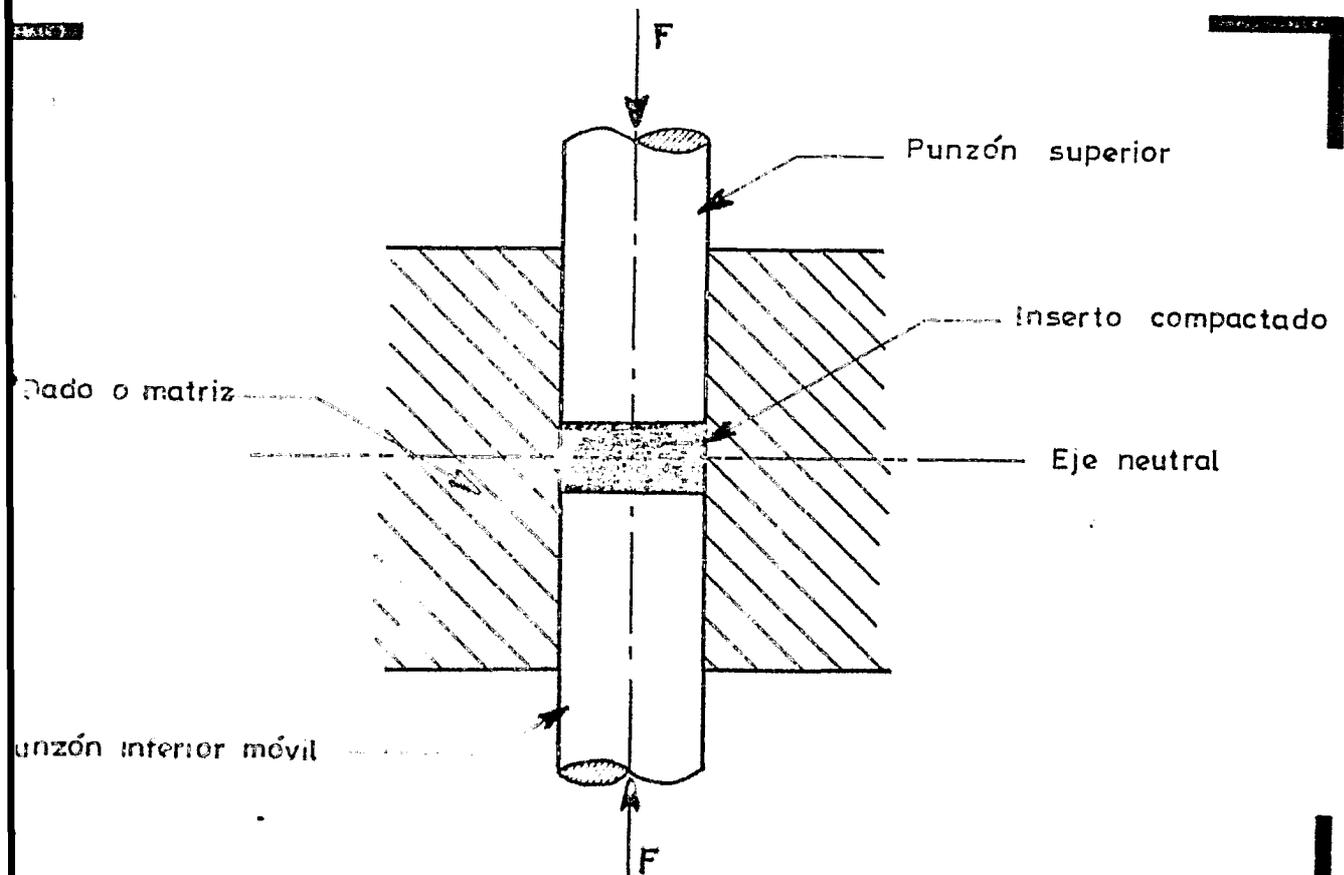


FIG.34 PRENSA DE DOS MOVIMIENTOS

3. Prensas de doble movimiento de punzones opuestos.

Esta clase de prensas es igual a las anteriores, solo que el punzón superior, además de aplicar una presión para el compactado, sirve como batidor y terminar la carrera de prensado; este movimiento de expulsión es dado por levas y palancas.

Estas prensas se ajustan para predeterminar el volumen de polvo de polvo, compresión y altura de expulsión. El recorrido de los punzones depende de la relación de compresión, que para WC es de 3 a 1. La cavidad del mazo o matriz llena de polvo hasta un nivel tres veces más alto que el estrechar final del inserto.

Como se ven en la fig. 35, el compactado se realiza mediante el movimiento de los punzones en dirección opuesta y para llevar a cabo la expulsión de polvo, el punzón superior invierte su movimiento, mientras que el punzón inferior continúa subiendo hasta hacer que el inserto salga de la cavidad de la matriz para ser retirado.

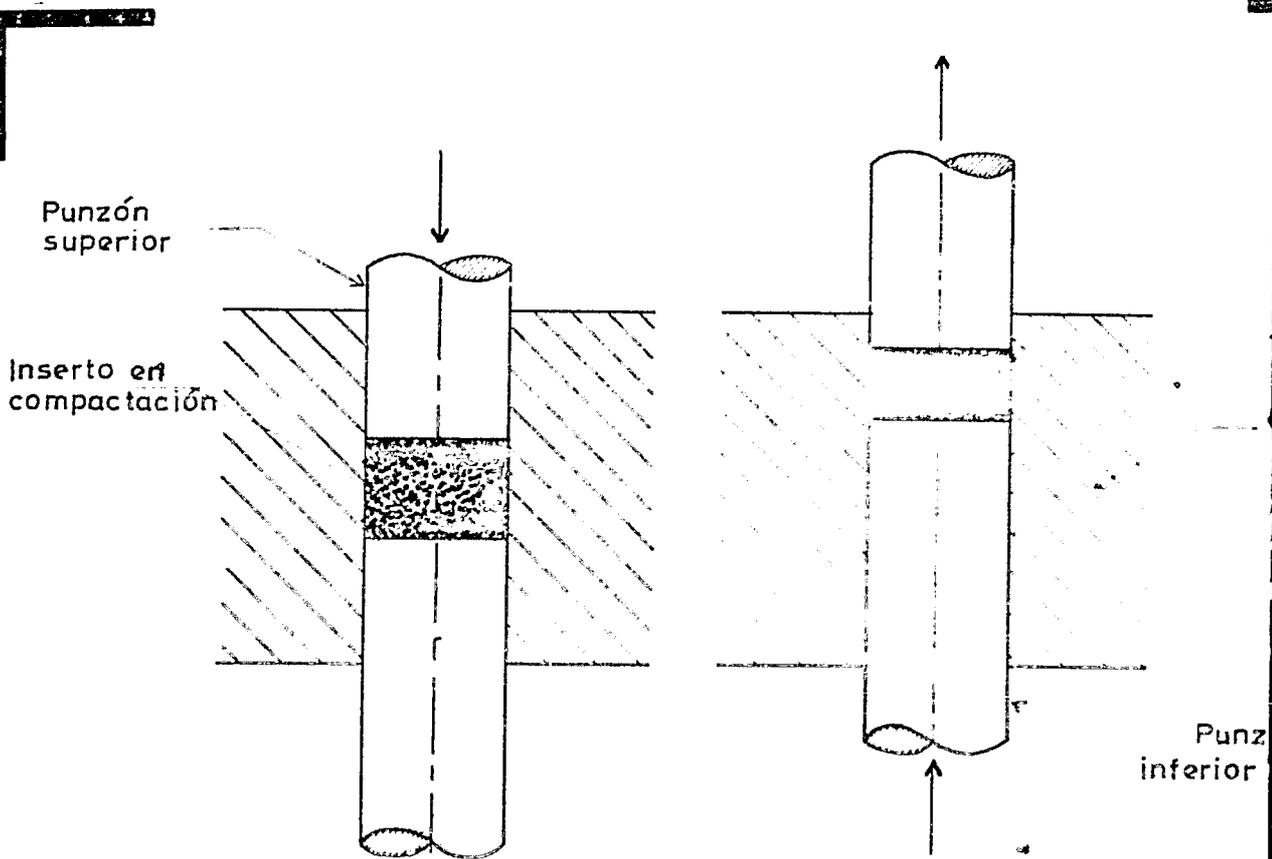


FIG.35 PRENSA DE PUNZONES OPUESTOS

4. prensas de doble movimiento de dado flotante.

En estas prensas, el punzón inferior permanece inmóvil durante el prensado y el dado flotante es sostenido en posición mediante resortes, neumática o hidráulicamente.

Cuando el punzón superior empieza a bajar, se produce un rozamiento entre el polvo y las caras interiores del dado flotante. Cuando la fuerza de rozamiento iguala la fuerza que sostiene al dado, éste comienza a descender a la mitad de la velocidad del punzón superior.

La variación de la densidad de las piezas será proporcional a la fuerza que soporta al dado.

Para expulsar las piezas, el dado debe estar fijo, mientras el punzón inferior asciende hasta que la cara superior del dado se encuentre en un plano que al avanzar el dado alternativamente para la expulsión de las piezas, el dado se mueve inferior móvil y bajar el dado hasta que se encuentre en un plano con el dado.

Lo anterior se contempla en la fig. 36.

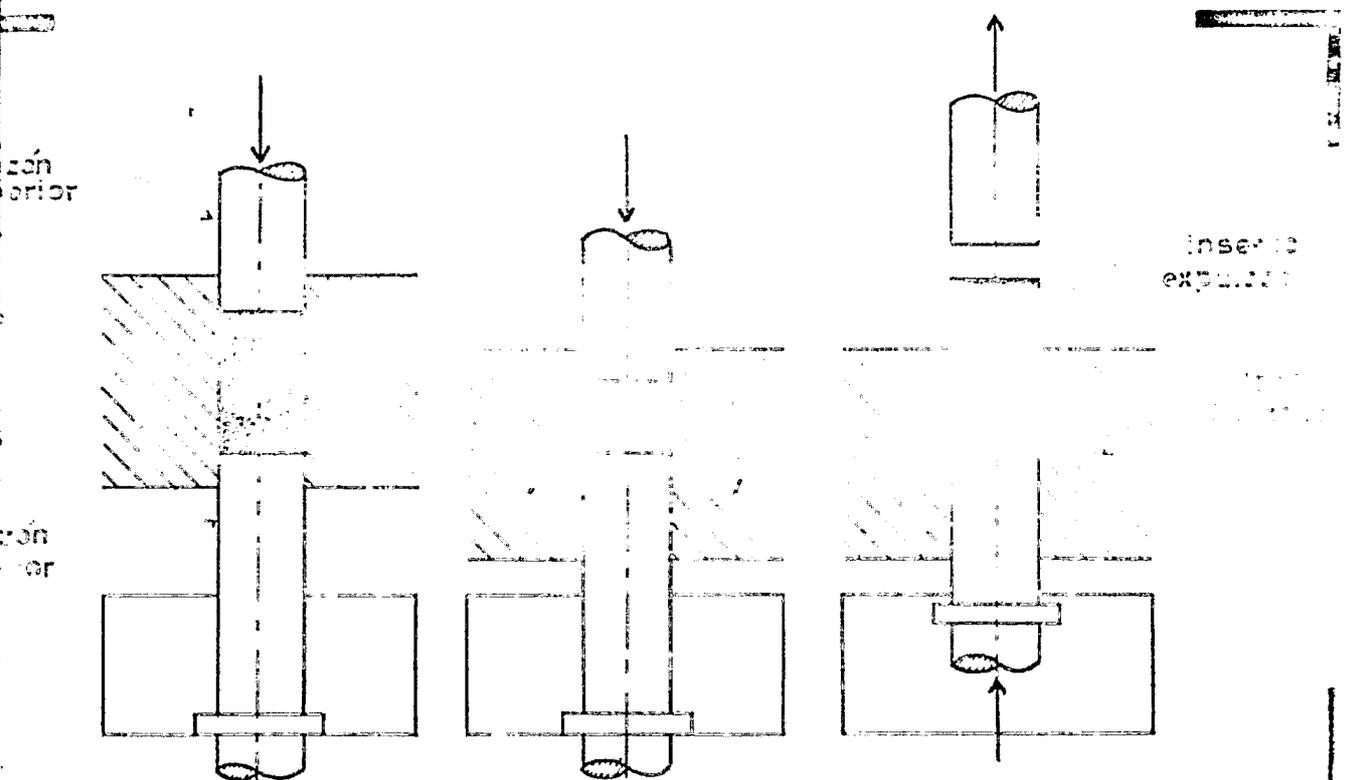


FIG.36 PRENSA DE DADO FLOTANTE



Además se obtiene la volatilización del lubricante que contienen los insertos previamente comprimidos (ácido esteárico, grafito pulverizado, etc.), así como la expulsión de los gases de combustión del horno.

En esta etapa, los insertos adquieren resistencia suficiente para ser manipulados y trabajados sin dificultad.

B) Zona de sinterizado.

Durante esta etapa ocurre una difusión de átomos entre las partículas comprimidas, dando lugar a la formación de cristales y la destrucción de la partícula original.

La temperatura en el sinterizado es inferior al punto de fusión del aglutinante Co (1495°C).

Es importante hacer mención de las atmósferas controladas, las cuales pueden ser: helio, monóxido de carbono, agua, oxígeno, aire, hidrógeno, derivaciones amoniacas, derivaciones de hidrocarburos o al vacío. De las mencionadas, las cuales últimas son las más usadas.

A continuación se enlistan temperaturas y tiempos recomendados para sinterizar algunos materiales, así como para WC. Es importante hacer notar que siempre existen algunos cambios dimensionales en esta segunda etapa, siendo generalmente en porcentajes del orden del 25% para WC.

MATERIAL	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (min)
COBRE	700 - 800	10 - 20
ALUMINIO	500 - 600	30 - 45
ACERO	1 000 - 1 100	30 - 45
COBRE IRONIZABLE	1 100 - 1 200	30 - 45
COBRE TUNGSTENO	1 400 - 1 500	30 - 35

C) Zona de enfriamiento.

En esta última etapa se efectúan cambios en el control de temperatura sistema tiende a bajar la temperatura alcanzada en el sinterizado, completando ciclo.

En esta sección del horno se emplean una serie de camisas de enfriamiento que utilizan agua como elemento reductor de calor.

TIPOS DE HORNO.

1. HORNO DE SINTERIZADO AL VACIO.

Es un horno que alcanza altas temperaturas y tiene gran capacidad de calentamiento de aleaciones especiales. Usa resistencias eléctricas de cromo-níquel, níquel-molibdeno o tungsteno.

2. HORNO CONTINUO DE ALTA TEMPERATURA.

Es de los que más se utilizan con atmósferas controladas y altas temperaturas (1 500°C), conocido como tipo "Batch", como se ilustra en la fig. 37.

3. HORNO DE GASES PROTECTORES.

Utiliza gases protectores purificados que se adaptan al tipo de material a sinterizar. El más común es el de gas natural parcialmente quemado o el de hidrógeno.

4. HORNO DE SINTERIZACION POR EFECTO JOULE.

En este tipo se aplica el concepto inductivo del fenómeno de Joule, para sinterizar aglomerados al vacío y en grandes lingotes de metal refractario como el tungsteno, niobio y molibdeno.

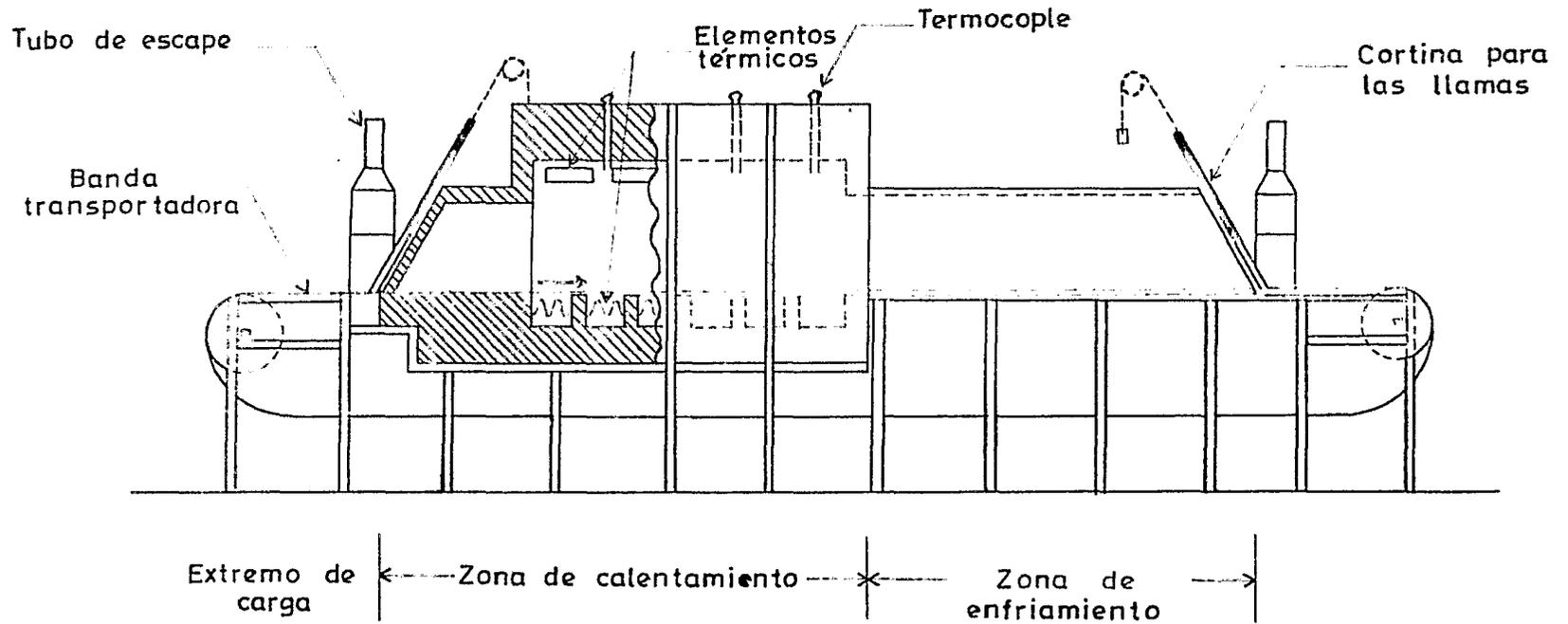


FIG.37 HORNO DE TIPO CONTINUO

3.2.5. ARENADORA.

Esta máquina se utiliza para limpiar de impurezas los insertos después del sinterizado.

En la limpieza de los insertos, se emplean por separado unidades de proyección por chorro de arena, la arena con cantos agudos mediante un flujo de aire es dirigida hacia las piezas dentro de una cámara apropiada, donde se remueve completamente toda la alúmina, dándole a los insertos un aspecto superficial bastante aceptable.

3.2.6. RECTIFICADORAS DE SUPERFICIES PLANAS.

Estas rectificadoras son de construcción especial, ya que constan de una mesa circular rotatoria en la cual son colocadas de 90 a 150 piezas sobre un plato de acero con cavidades que se adaptan a la forma geométrica del inserto.

La herramienta utilizada en éste proceso de arranque de viruta es una rueda de diamante con diámetro y ancho suficientes, de tal forma que cubra el área en la cual están dispuestos los insertos, el rectificado se lleva a cabo en ambas caras del inserto. Fig. 37 a

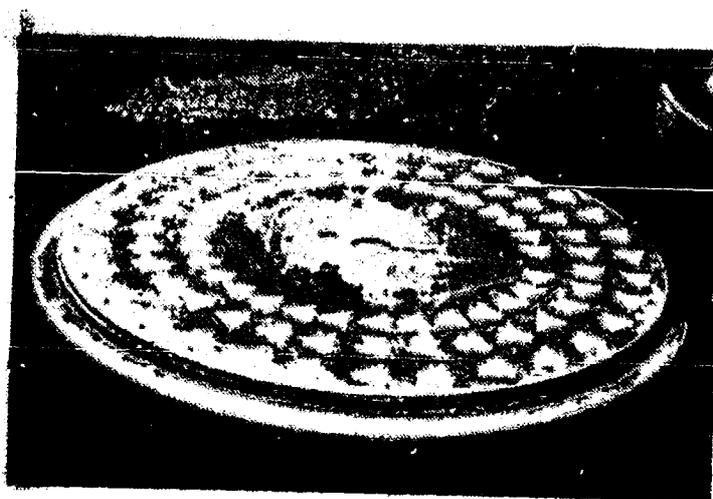


Fig. 37 a Rectificado de los insertos en sus caras superior e inferior.

3.2.7 RECTIFICADORA DE PERIFERIA.

Esta máquina, como su nombre lo indica, rectifica la periferia de los insertos con tolerancias de .001 "y de ultraprecisión hasta .0005".

Cuando los insertos se hubieron rectificado previamente de su cara superior e inferior, para rectificar su periferia, se debe adaptar a la máquina una espiga con la forma geométrica de los insertos, de tal forma que la espiga que sostiene al inserto, gire excéntricamente e incidan la superficie del mismo (inserto) contra la rueda abrasiva de diamante, resultando con esto una pieza con las medidas acorde a las especificaciones del inserto, Fig. 37 b.

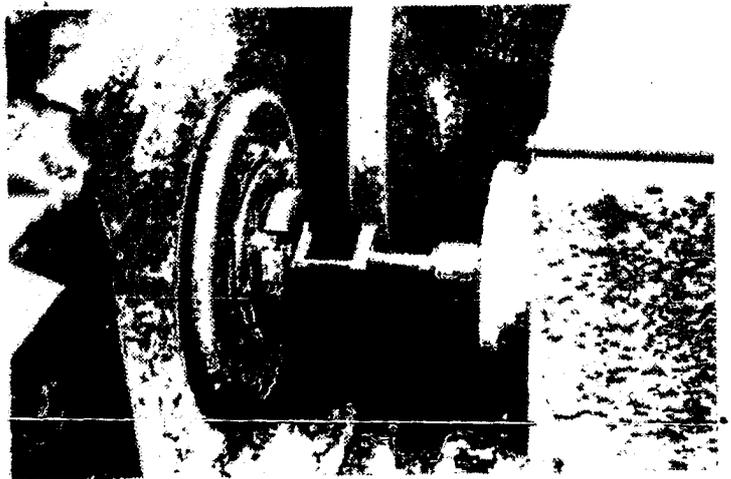


Fig. 37 b Rectificado de la periferia del inserto.

3.1.3 CONTROL DE CALIDAD.

En esta etapa del proceso de fabricación de insertos de WC, es necesario establecer parámetros que permitan regular el comportamiento de los mismos bajo diversas condiciones de fabricación.

En la práctica, ésta se consigue al inspeccionar una muestra del lote o un su defecto, ésta se inspecciona en un 100% dependiendo de su tamaño. Para — llegar a esto satisfactoriamente el control de calidad de los insertos en cues— tión, se citan los principales instrumentos utilizados para tal propósito y se añade además una breve aplicación que justificará su empleo.

A) Micrómetro.

Este instrumento garantiza una exactitud de 0.01 mm. La rosca del hu cillo de medida tiene concretamente un paso de 0.5 mm., es decir, que en una — vuelta del husillo de medida se desplaza el tornillo unido a él 0.5 mm. La parte adelantada del tornillo está dividida en 50 partes iguales. Cuando el tornillo gira en el valor de una división, el husillo se desplaza 0.01 mm. (Fig.39)

Con el punto anterior al tornillo se leen sobre la graduación mili— métrica del husillo los milímetros y los centésimos milímetros. Las centésimas de milímetro se leen sobre la graduación del tornillo.

Existen otros micrómetros cuyo husillo tiene un paso de 1 mm. — En este caso, la rosca del husillo está dividida en 10 partes.

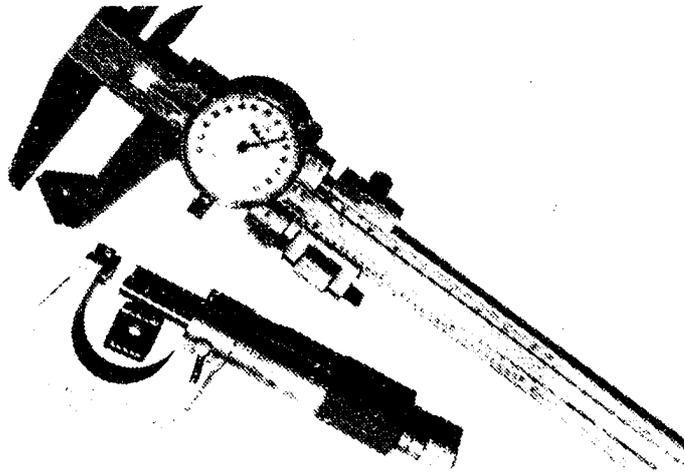


FIG. 38. CALIBRADOR DE CARATURA Y MICROMETRO.

B) Amplificador de esfera.

En este calibre de precisión, una multiplicación de engranajes aumenta y traslada al índice el movimiento de la espiga exploradora. La escala se extiende a todo el perímetro del disco indicador y está dividida en 100 partes.

Una vuelta completa del índice corresponde a un recorrido de 1 mm. de la espiga exploradora, o sea, que cada división de la escala representa 0.01 mm.

Con este instrumento se verifica la similitud de las caras de los resortes. (Fig. 39).

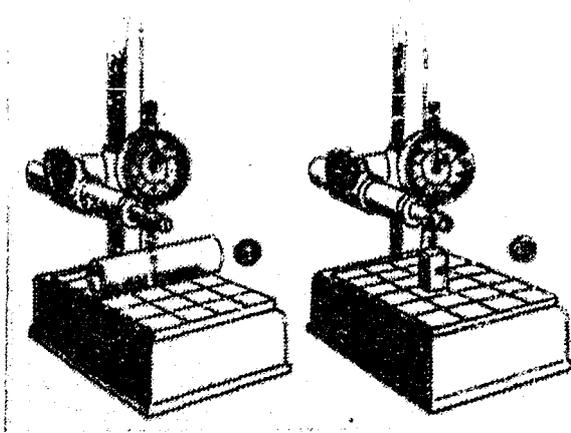


Fig. 39 Amplificador de esfera

C) Transportador universal o goniómetro.

Este instrumento da una gran precisión en la medición de los ángulos en los insertos. La exactitud es debida a una escala auxiliar (nonio o vernier), con la cual se obtienen lecturas hasta de 5 minutos. El lado móvil del instrumento puede adaptarse a cualquier ángulo. La división principal está dada en cuatro cuadrantes de 90° , como se observa en la fig. 40

El nonio abarca 23° a la derecha e izquierda del punto cero. Estos 23° están divididos en 12 partes iguales. Cada división vale, por tanto, $23/12=1-11/12^\circ$.

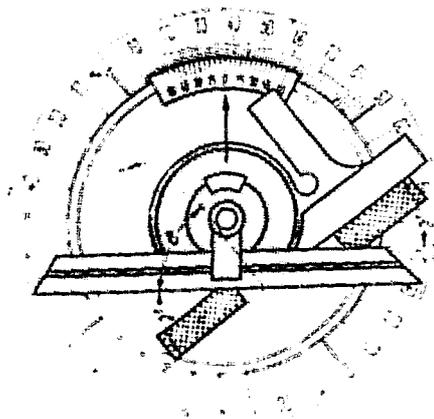


Fig. 40 transportador universal.

D) Calibres para perfiles.

Los redondamientos presentes en la geometría de los insertos se verifican por medio de calibres de radios, tanto interiores como exteriores.

Para la verificación, se mantiene el calibre contra la pieza notándose las diferencias en radio por la rendija de luz que queda visible entre ambos.

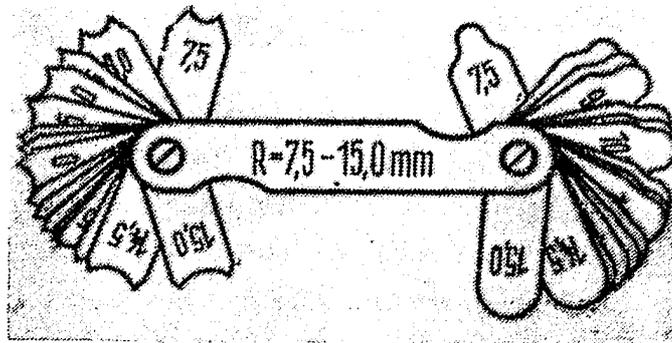


Fig. 41 Calibre de radios

E) Comparador óptico.

Es un aparato óptico grande, donde se pueden realizar tanto mediciones lineales como angulares. En tal instrumento, el inserto es montado en una tabla que puede ser movida en dos direcciones por un diel de precisión de micrómetro. Por medio de un sistema óptico, un haz de luz es dirigido sobre el inserto y la imagen del mismo es proyectada en una pantalla con un aumento de 5 a 100 veces. La medición puede realizarse directamente ya sea por medio del cuadrante del micrómetro en la imagen de la pantalla, usando una regla de precisión.

Un uso común del comparador óptico, es el control de calidad dimensional de los insertos, contra una plantilla que está dibujada en una escala agrandada, ubicada en la pantalla y comparada con la imagen proyectada de la pieza. (Fig.42).

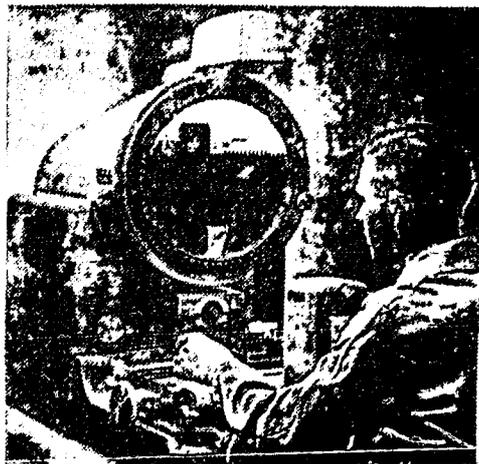


FIG. 42 COMPARADOR OPTICO.

3.3.1. PRUEBAS DE LABORATORIO.

Con objeto de garantizar la calidad de los productos fabricados con WC, un espécimen se somete a prueba para checar las propiedades físicas del material; estas verificaciones se deben realizar sin excepción alguna, debido a las variaciones que da uno de los grados existentes de WC posee.

Las pruebas físicas en esta etapa se deben verificar si es necesario en cada espécimen de WC y cabe hacer la aclaración que no existe riesgo de alterar estructura final del WC.

A) DUREZA.

En la prueba de dureza Rockwell, se determina la profundidad de penetración de un "indentor", bajo ciertas condiciones de prueba arbitrarias. El indentor es un diamante cónico de 120° de ángulo y un radio de la punta de 0.2 mm, llamado Brale.

Se aplica primero, una carga menor de 10 Kg., la cual causa una penetración inicial que mantiene al indentor en posición.

Bajo esta condición, el reloj que contiene las distintas escalas de medición de dureza se pone en cero y se aplica una carga mayor de 150 kg. Después de quitar la carga mayor, se toma la lectura mientras se mantiene la menor.

El número de dureza puede entonces leerse directamente de la escala; esta escala está arreglada de tal modo que en materiales suaves cuyas penetraciones son profundas, dan bajos números de dureza (Fig. 42 b).



FIG. 42 b DUROMETRO

B) DENSIDAD

El método para la determinación de la densidad, utiliza una balanza analítica; es importante que el inserto sometido a prueba esté limpio. Para mejores resultados, es recomendable que las superficies del inserto estén previamente rectificadas.

El primer paso es obtener el peso del inserto en aire, designándolo como el peso "A". Este y todos los pesos subsecuentes debe leerse a un miligramo de exactitud.

Para sostener al inserto durante la medición se utiliza un alambre sumamente delgado, de 0.25 mm de diámetro (.010"), enrollándolo alrededor del inserto. Entonces, se engancha el alambre a un extremo de la balanza y se sumerge al inserto completamente en un recipiente que contiene agua destilada, obteniendo el peso denominado por la letra "B".

Simultáneamente se obtiene el peso del alambre sumergido en agua, denominándose peso "C".

Finalmente se debe medir la temperatura del agua para determinar su densidad exacta.

La densidad del inserto será calculada por la siguiente fórmula:

$$D = \frac{A \times E}{A - B + C}$$

donde:

D es la densidad del inserto en gr/cm^3

E es la densidad del agua destilada en gr/cm^3

C) POROSIDAD APARENTE.

El término porosidad aparente se refiere a las microestructuras observadas en la superficie del espécimen, propiamente preparado, incluyendo estructuras que son resultado de carbón sin combinar, inclusiones no metálicas y la porosidad inherente al inserto.

Existe una norma estandar que clasifica la porosidad aparente de acuerdo a su tamaño en tres tipos:

Tipo A.- Cubre tamaño de porosidad de 10 micras o menos de diámetro.

Tipo B.- Cubre tamaños de porosidad de 10 a 40 micras de diámetro.

Tipo C.- Se designa a la porosidad aparente debida a la presencia de carbón en exceso o sin combinar.

Para la preparación del inserto, se emplean muelas de carburo de silicio y diamante y discos de diamante.

Primariamente se rectifica con muelas de carburo de silicio de tamaño de grano de 60 a 120, seguido de muelas de diamante del grado 100 a 200. Ambas muelas operan a una velocidad superficial de 5 000 a 5 500 ft/min.

El pulido se lleva a cabo en tres pasos, usando diferentes grados de polvo de diamante sobre discos horizontales a velocidades de 500 a 600 RPM.

Los tres pasos de lapidado son los siguientes:

- I. Lapidado Inicial.- Muelas solvo de diamante No. 30 (15 a 25 micras), disperso en un disco de bronce en aceite ligero.
- II. Lapidado Intermedio.- Muelas solvo de diamante No. 6 (4 a 6 micras), disperso en aceite ligero sobre una superficie de papel adherida al disco de bronce.
- III. Lapidado Final - Muelas solvo de diamante No. 4 (menos de 2 micras), disperso en aceite ligero sobre la superficie de papel, como en el lapidado intermedio.

Se obtienen mejores resultados aplicando una presión considerable al inserto en todas las fases del lapidado.

La clasificación de la porosidad obtenida, se basa enteramente en la comparación de la muestra obtenida con muestras bajo el microscopio (con una amplificación de 100 aumentos), con un tipo de porosidad estándar. El tipo de porosidad se designa por un número de 1 a 5, por números.

3.4 HERRAMIENTACION.

En este punto, se tratará únicamente la herramienta para compactar los insertos de WC (Fig. 42 c).

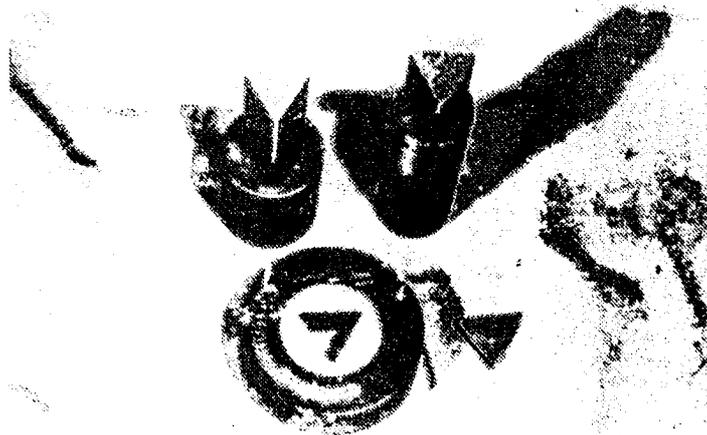


FIG. 42 c

Básicamente al diseñar un juego de dados, para cualquier tipo de inserto que deba sinterizarse, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- 1.- La forma de la pieza y el tipo de material de la misma.
- 2.- El tipo de prensa utilizada en el compactado.

Para un buen diseño de herramientas en la fabricación de insertos de WC se deben considerar los siguiente puntos:

Esfuerzos máximos

Resistencia a la fatiga

Resistencia al impacto.

Pandeo.

Tratamiento térmico.

Método de fabricación.

Tipo de prensa empleada.

Bajo estas consideraciones, el diseño del herramental se puede limitar a lo siguiente:

1. Las superficies (exteriores del punzón e interiores de la matriz) deben ser pulidas a espejo, con la finalidad de obtener piezas compactadas de buena calidad.
2. La tolerancia entre punzón y matriz debe estar en el rango de .0002" a .0003".
3. Debe darse un ángulo de salida a la matriz (para evitar desgaste de ésta y facilitar la expulsión de la pieza), de aproximadamente .001" por cada pulgada de longitud.
4. Se debe evitar cualquier herramienta terminada en punta, eliminar filos, ranuras angostas y cajas pequeñas. Todo esto se hace con el fin de robustecer las herramienta y evitar su rotura o despostilladura.

3.4.1. DADO O MATRIZ.

Para calcular el espesor de la pared de la matriz se hace en base a un nudo con transmisión hidráulica. Pero prácticamente se calcula en base a la "razón de Poisson" y la "fórmula de Lamé", para cilindros de pared gruesa, sujeto a presiones de tipo hidrostático.

$$D = d \cdot \sqrt{\frac{\xi = PU}{\xi = PU}}$$

donde:

- D es el diámetro exterior de la matriz (cm)
- d es el diámetro de la pieza compactada (cm)
- P es la presión de compactado (Kg/cm²)
- U es la razón de Poisson para el acero.
- ξ es el límite elástico del acero (Kg/cm²)

3.4.2. PUNZON SUPERIOR E INFERIOR.

El cálculo de los punzones se facilita al tener las medidas del dado y aquí solamente habría que saber el tipo de prensa en que seña montado el dado para calcular la longitud de ambos punzones en base a la carrera de la prensa y mando en cuenta también el espesor del compactado.

CAPITULO 4

DISEÑO DE HERRAMENTAL, USANDO INSERTOS DE
CARBURO DE TUNGSTENO.

1.1. TORNEADO.

Aproximadamente una de cada 5 máquinas herramienta para corte de metales es una máquina de tornear y como cualquier otro equipo de remoción de metal, su funcionamiento eficiente depende en última instancia de la herramienta de corte.

Fig. 43 a).

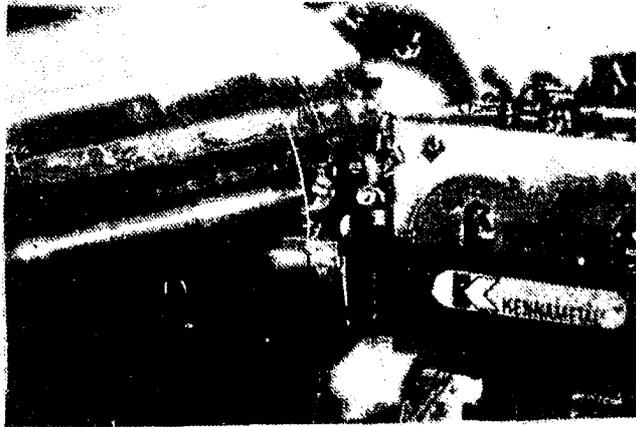


Fig. 43 a.

La herramienta e inserto trabajando en desbaste.

Independientemente del costo de la máquina, el mejor aprovechamiento de esa inversión está íntimamente ligado a la efectividad de la herramienta de corte, la cual puede tener un costo por filo cortante relativamente bajo.

Han ocurrido tremendos avances en las capacidades de las máquinas herramienta, durante los años en que los fabricantes de herramientas progresaron desde el acero al carbón hasta los modernos carburos y cerámicos. Sin embargo, hay que notar que el desarrollo de la tecnología de las máquinas herramienta ha impulsado la investigación en el campo de los materiales utilizados para fabricar herramientas de corte cada vez más eficientes.

El porcentaje de metal removido, es el producto de la velocidad de corte, el avance y la profundidad de corte; un incremento de cualquiera de ellos produce un aumento proporcional de volumen de viruta removido por segundo. Pero esto no puede hacerse arbitrariamente porque existen limitaciones en la vida de la herramienta, lo que nos conduce a tomar una decisión: mayor remoción de metal o mayor vida de la herramienta.

El criterio a seguir consiste en la selección adecuada del material y la geometría de la herramienta, el tipo de sujeción a emplear y las condiciones de operación que resulten en la optimización de los dos factores arriba mencionados.

Actualmente, se cuenta con una buena variedad de grados de WC que tienen diversas aplicaciones en el torneado de metales; como se vio en el capítulo I, estos grados se componen esencialmente de WC combinado con un porcentaje variable, generalmente bajo, de cobalto.

Los porcentajes de los constituyentes son los principales responsables de las propiedades que exhiben los diferentes grados, tales como la resistencia al desgaste del filo, resistencia a la craterización, dureza en caliente, etc.; por consiguiente, su utilización específica depende de las condiciones bajo las cuales, deben operar.

Una de las más importantes contribuciones de las herramientas de WC a la industria moderna, es que permite el uso de velocidades de corte superiores a las de herramientas convencionales, obteniéndose con ello una mayor productividad.

Con la introducción a la industria metal-mecánica de insertos de WC recubiertos con carburo de titanio, nitruro de titanio, óxido de aluminio, por mencionar algunos, se han logrado superar las ventajas alcanzadas por los grados de WC, manteniendo al mismo tiempo un mayor promedio de vida útil de la herramienta.

El punto más importante después de la selección del grado es sin duda la geometría de la herramienta. Se entiende por geometría, a su forma, así como — los ángulos de cada superficie que conforma el filo cortante en relación a un — sistema de ejes que sirven de referencia. Para un mejor entendimiento de lo ante_rior, la fig. 43 b muestra la geometría de una herramienta típica.

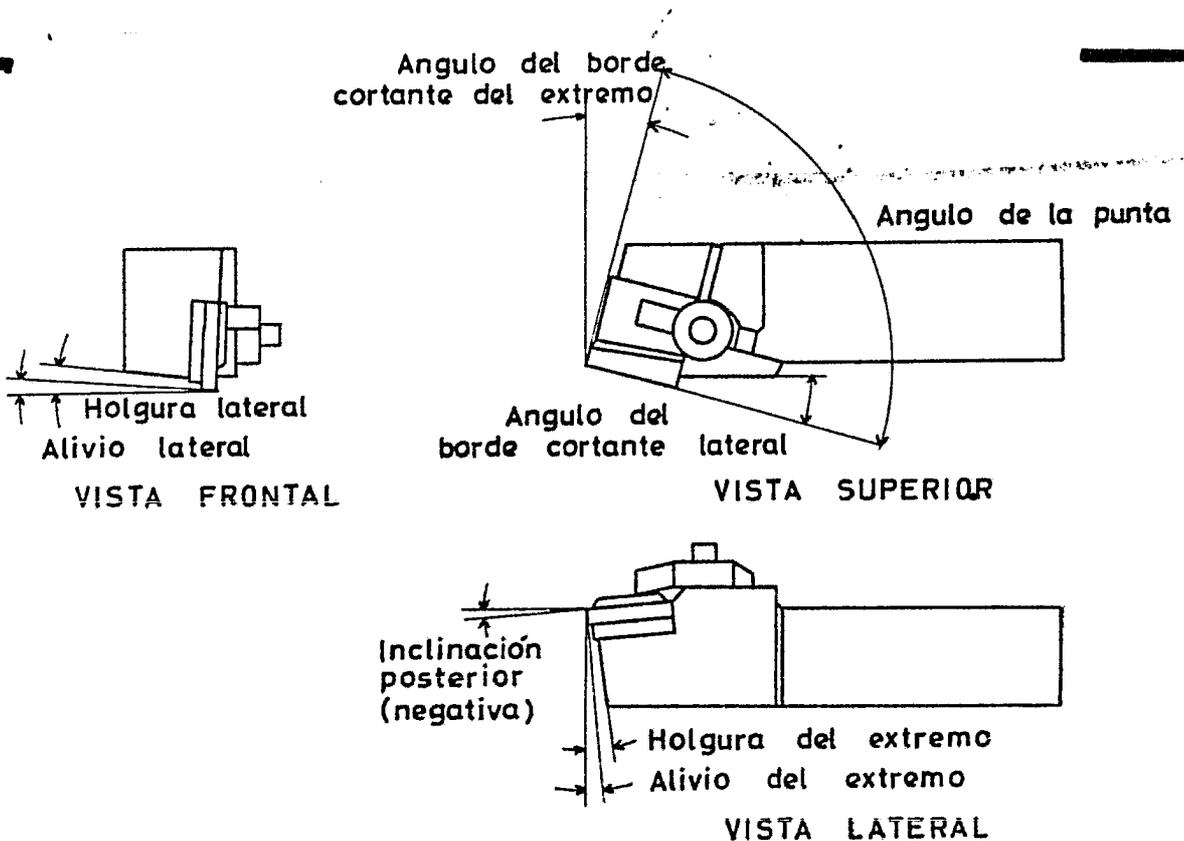
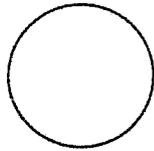


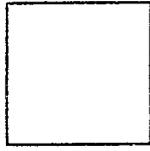
FIG. 43b GEOMETRIA DE UNA HERRAMIENTA DE CORTE

... formas de forma...
 parte...
 tres... de 100, 150 y 200,...

...
 ...
 ...



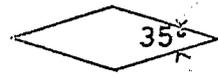
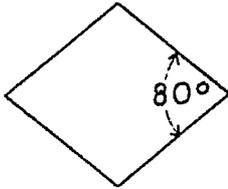
Redondo



Cuadrado



Triángulo



Diamantes rómbicos

FORMAS GEOMETRICAS BASICAS



Respecto a la necesidad del uso de refrigerantes...
 observado... la falta de... se preferible a aplicable...
 aplicación propia debe exponer antes del corte y no...
 la herramienta haya sido retirada de la pieza...
 flujo abundante y uniforme que cubra toda la pieza...

...
 ...
 ...

El... a favor del...
 refrigerantes...
 ...
 ...

...
 ...
 ...

PASTILLAS SOLDABLES PARA VÁSTAGOS

Las herramientas para el mecanizado de los vástagos para los productores de WC y sus relacionados, quienes proporcionan un amplio rango de herramientas, insertos, dados y perfiles resistentes al desgaste.

En el mecanizado de los vástagos para pastillas soldables, se utilizan los métodos convencionales para esta operación, aunque en la producción algunas fábricas se auxilian de medios más sofisticados. El material del vástago empleado para la mayoría de las herramientas es acero de un acero al carbono que contiene de 0.4 a 0.6% de carbono.

En el maquinado de los vástagos para pastillas soldables, los espacios para éstas se fresan a las medidas y formas adecuadas de las pastillas con objeto de darles cabida.

La Fig. 45 ilustra los tipos de mandriles estándar que son producidos actualmente por los fabricantes de herramientas de WC. Cabe aclarar que cada uno de los tipos ilustrados, cuenta con gran variedad de dimensiones.

Debido al bajo porcentaje de carbono en el acero de relación al WC que tiene el doble del WC, el acero de relación al WC se está usando en las herramientas, de los cuales resulta un mayor desgaste. El acero de relación al WC — el tipo de WC. Además de esto, el acero de relación al WC es más caro que el acero de relación al WC.

Los mandriles empleados para soldar con aleaciones de plata, los tienen en la temperatura de 1100°C (2000°F a 2100°F), aceros de bronce y cobre, cuyos puntos de fusión están de 1100°C a 1200°C (2000°F a 2160°F). La soldadura de otros metales se hace a altas temperaturas.

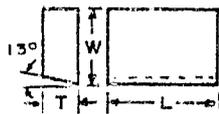
ESTILO 1000



ESTILO 2000



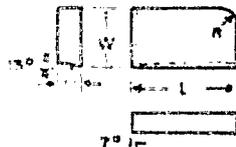
ESTILO 0000



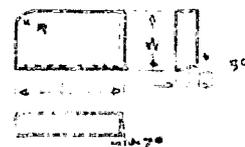
ESTILO 1000



ESTILO 3000



ESTILO 4000



ESTILO 5000



ESTILO 6000

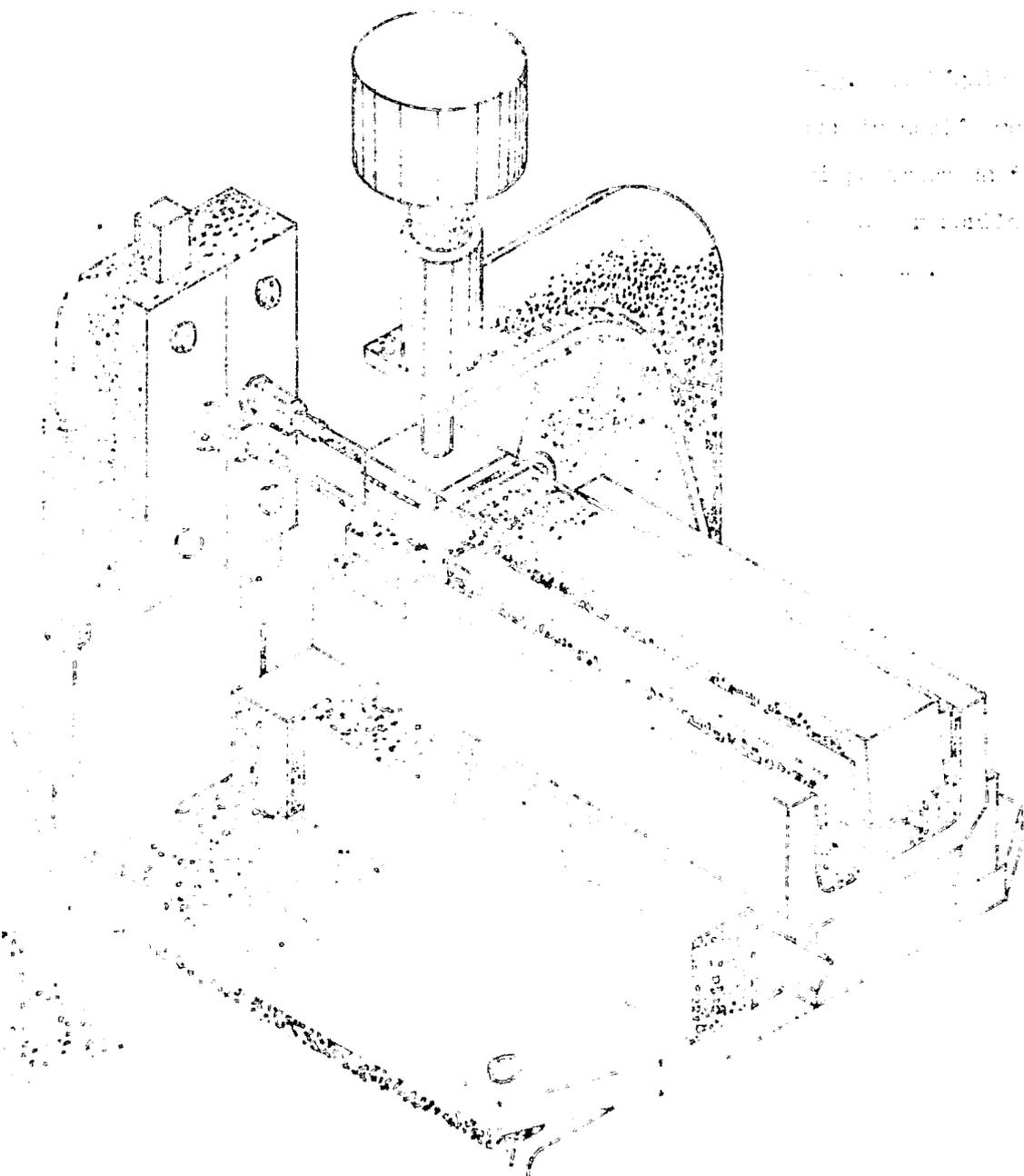


ESTILO KV
Pastillas para Poleas



Fig. 45 PASTILLAS SOLDABLES STANDARD

██████████



This drawing illustrates the
mechanical components of the
machine, including the spindle
and the workpiece, showing
the assembly details.

El método de inducción es el más adecuado para la soldadura de las
este proceso, una bobina está dispuesta a los lados de la pieza a soldar en el
tremo distante de la herramienta.

La bobina en cuestión es de una o varias vueltas. El material de soldadura
(aleación de plata) puede ser colocado arriba o directamente bajo la pastilla de
WC. La soldadura en atmósfera inerte, se lleva a cabo cuando se rodea el
cobre con la máquina de calentamiento por inducción; la bobina está devanada alre-
dedor de una cámara cilíndrica de cuarzo a través de la cual se alimenta nitróge-
no.

En las figs. 47 a 56 se contempla la diversidad de tipos de buriles con
pastillas soldadas, así como su aplicación más recomendable; la nomenclatura em-
pleada para su designación es la que actualmente utiliza uno de los fabricantes
más importantes del ramo, con la aclaración de que las letras "R" y "L" identifica-
can la posición de la herramienta al maquinar las piezas de trabajo y se designan
como buriles derechos e izquierdos.

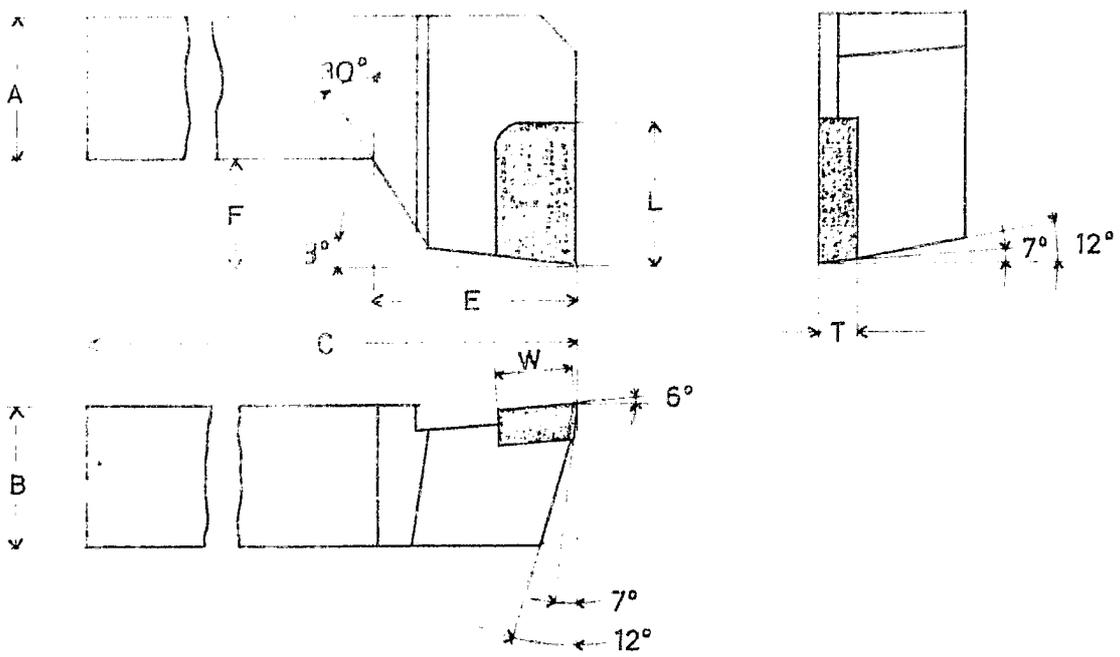


FIG. 47 BURIL PARA CILINDRADO PARALELO A LA PIEZA Y REFRENTADO.

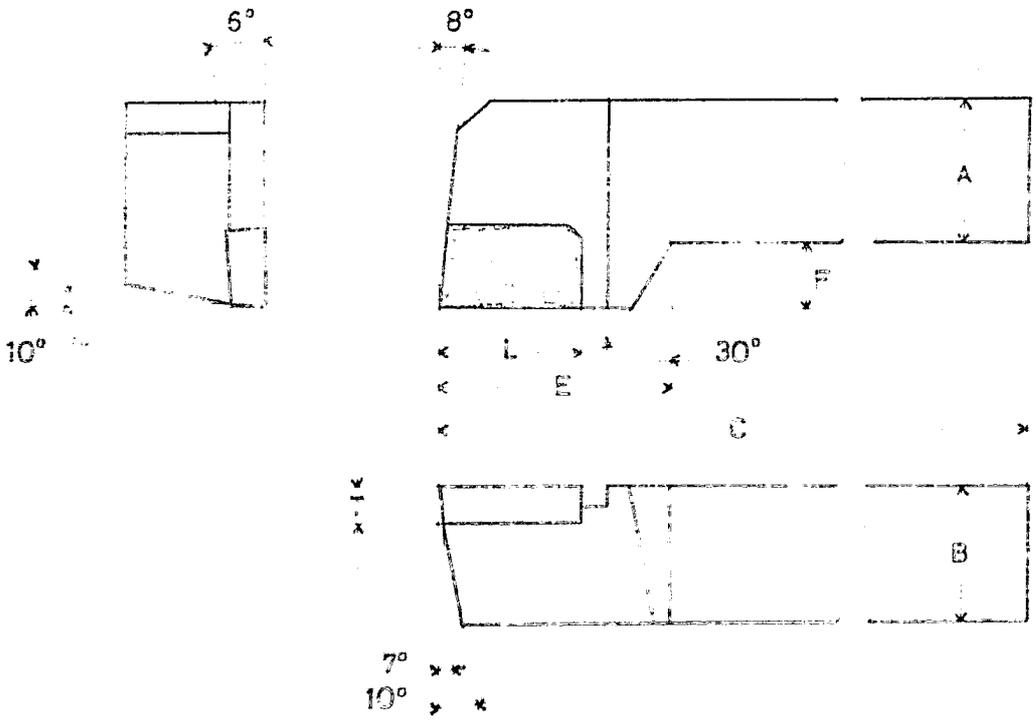


FIG. 48 BURIL PARA TORNEADO CERCANO AL CHUCK.

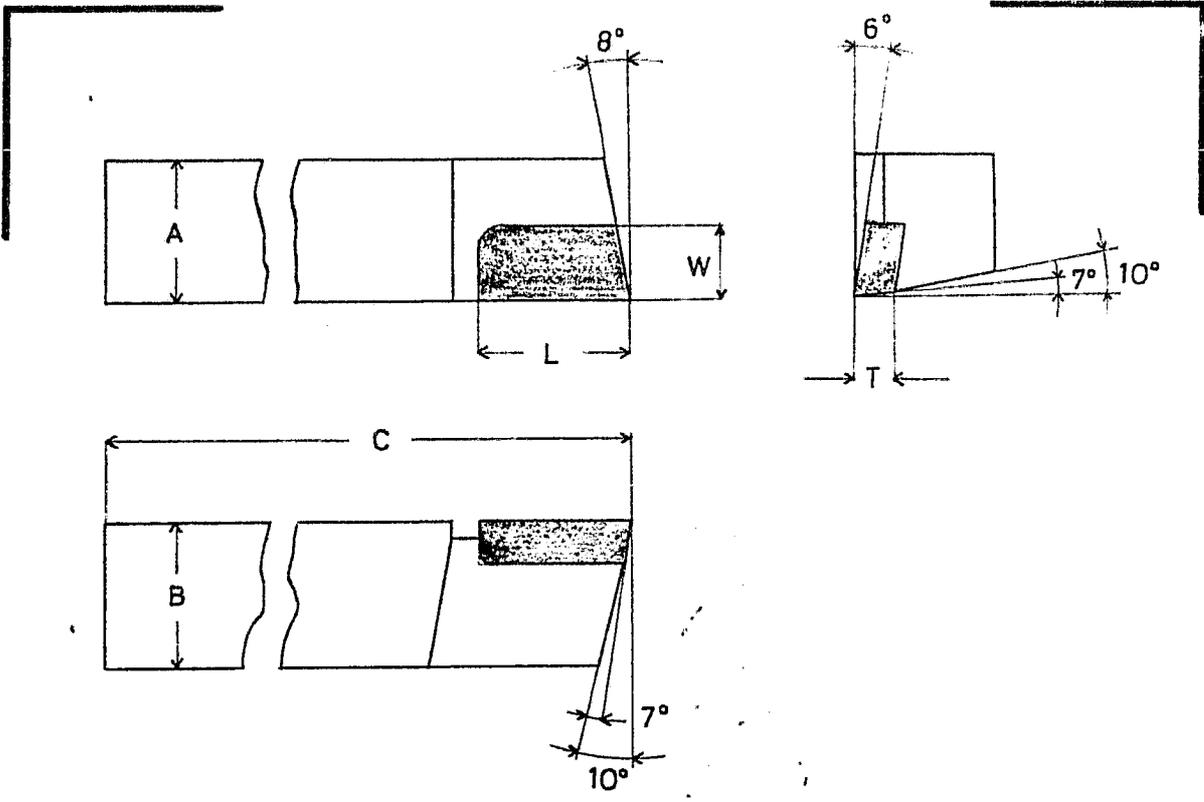


FIG. 49 BURIL PARA ACABADO A ESCUADRA.

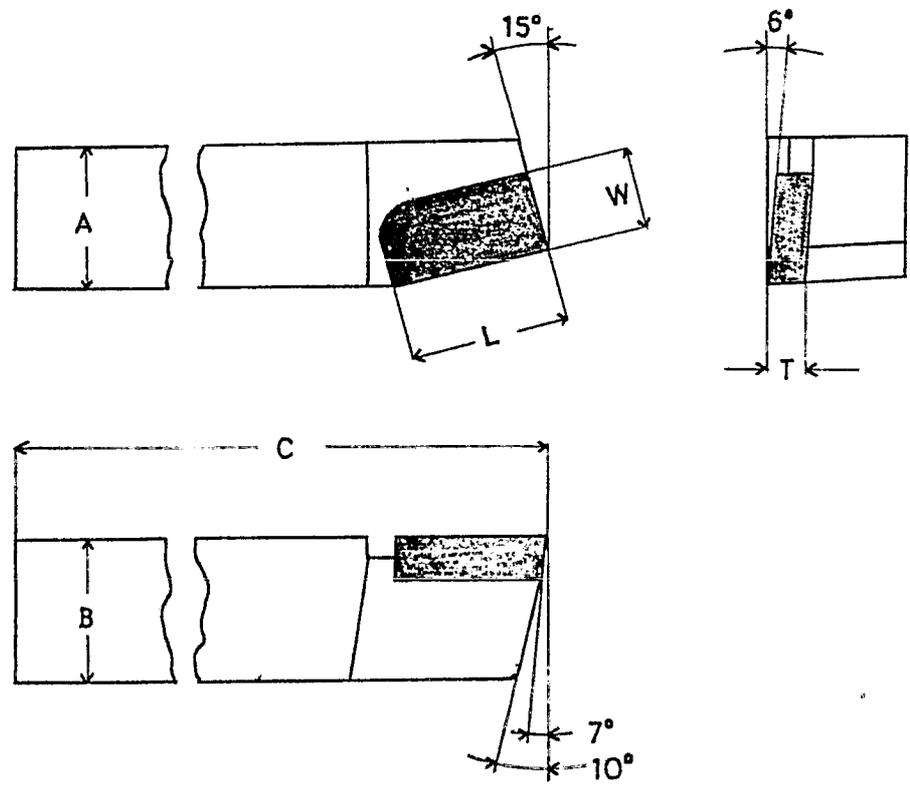


FIG. 50 BURIL PARA DESBASTE.

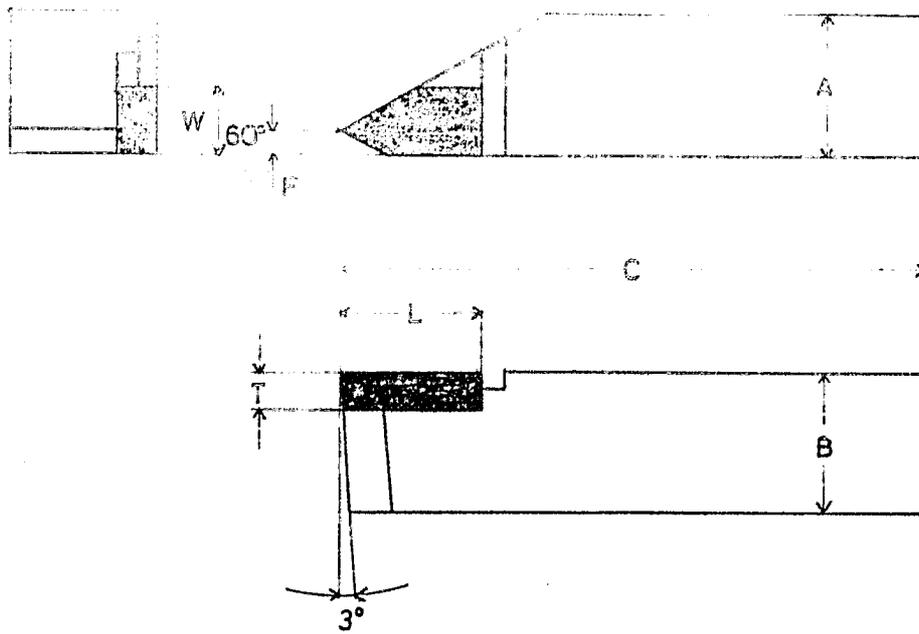


FIG. 51 BURIL PARA ROSCADO Y RANURADO HACIA UNA ESQUINA.

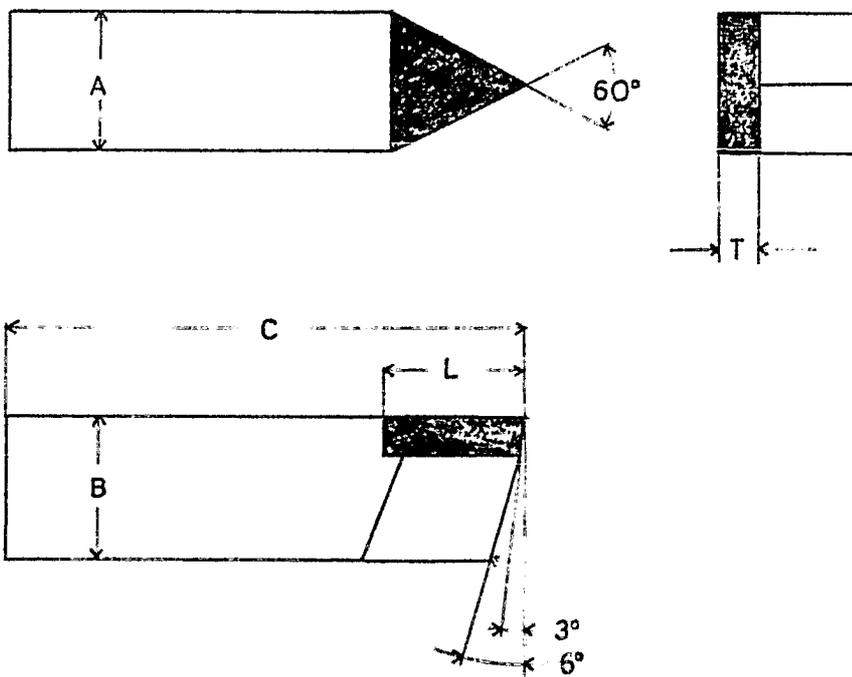


FIG. 52 BURIL PARA ROSCADO Y RANURADO.

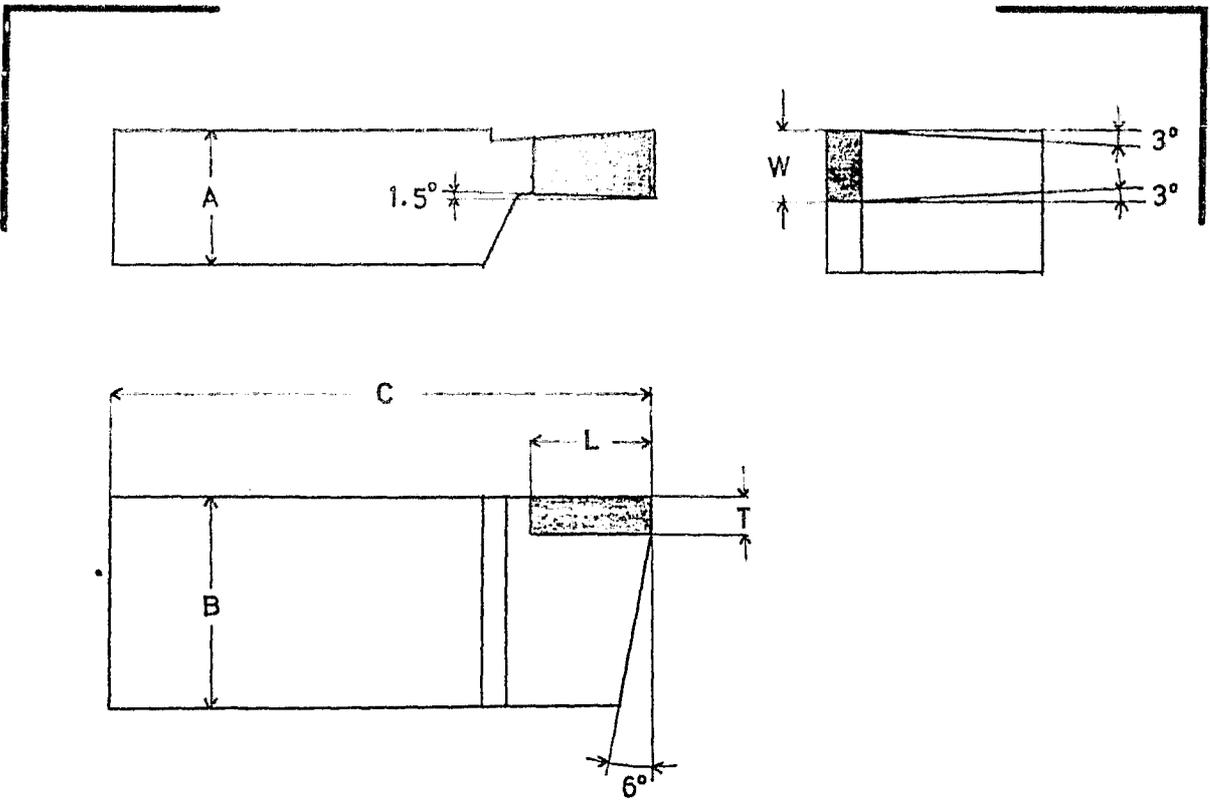


FIG. 53 BURIL PARA TRONZADO.

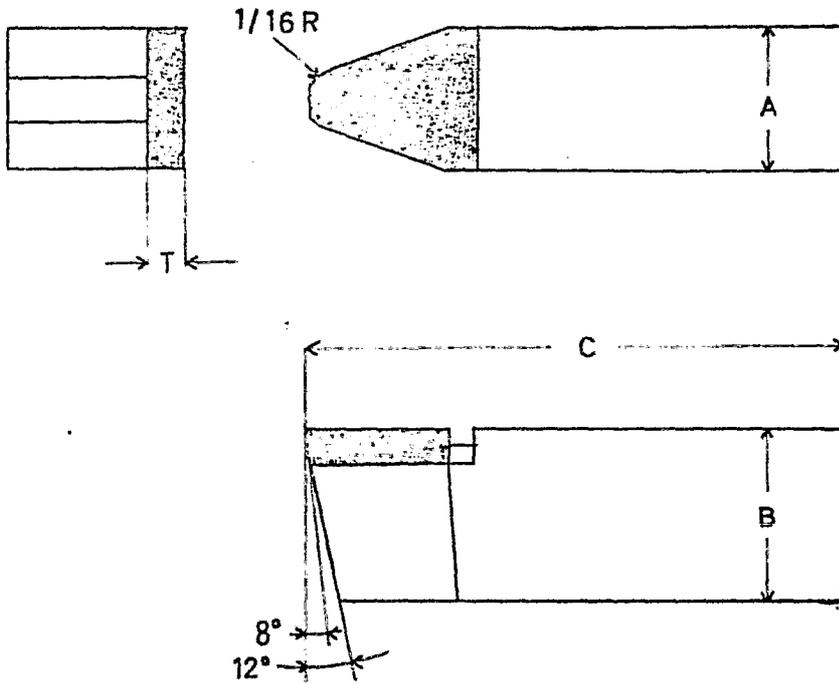


FIG. 54 BURIL PARA RANURADO DE POLEAS.

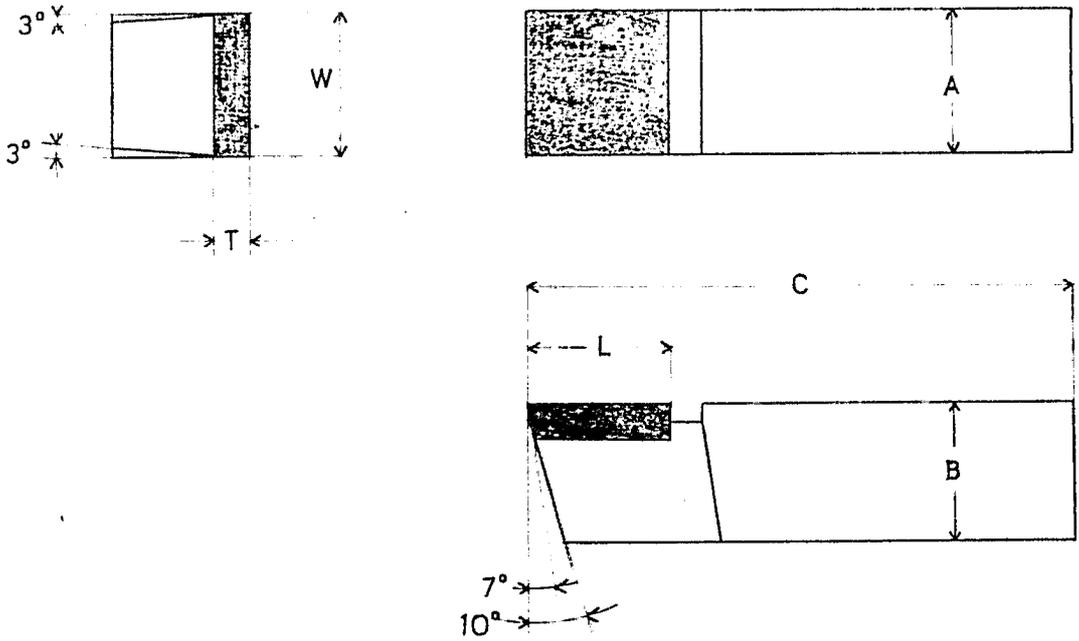


FIG. 55 BURIL PARA CHAFLANADO , REFRENTADO Y CILINDRADO.

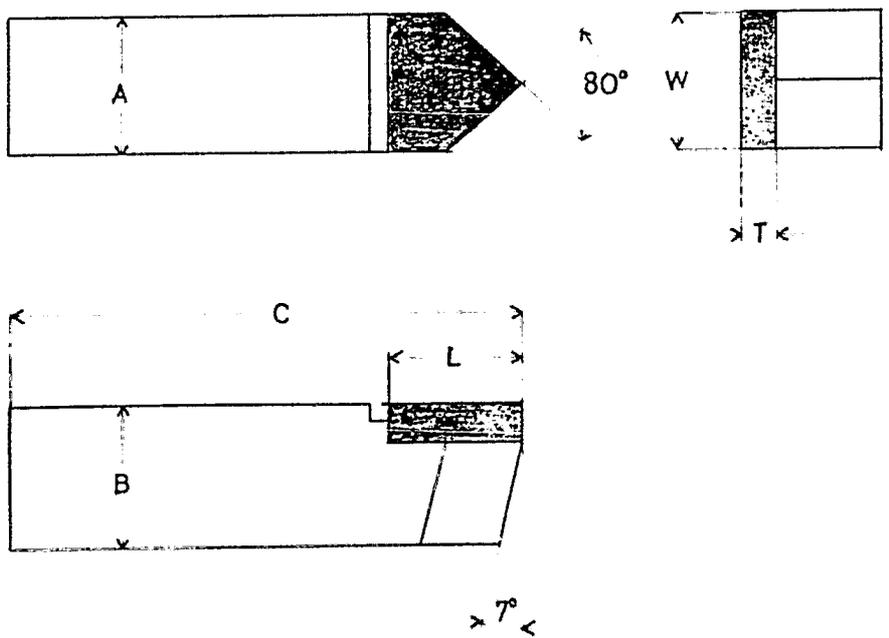


FIG. 56 BURIL PARA COPIADO Y CHAFLANADO.

4.1.1.2. INSERTOS INTERCAMBIABLES.

Los insertos de corte e insertos de torneado se fabrican que utilizan en ciertos tipos de máquinas de corte en el tornillo, en el torno y en el portabrocas, para el mecanizado de metales y aleaciones.

El portainseros es el componente de la herramienta de corte en el que se sujeta el inserto y le proporciona el movimiento de avance y profundidad de corte, por estar fijo al carro del torno.

En términos generales, es unástago de sección cuadrada en uno de cuyos extremos se mecaniza una cajita que sirve de alojamiento al inserto; hay una gran variedad, dependiendo del tipo de corte derecho, izquierdo o de frente, con distintos ángulos de posición, incidencia, etc.

Dado que su función principal es la de servir como medio de sujeción y posicionamiento con una rigidez al inserto, se hace de acero al carbón, por lo cual se acota en relativamente bajo.

La brida de sujeción es una pequeña pieza en forma de gancho, situada convenientemente para mantener al inserto fijo en posición en combinación con un tornillo prisionero.

El asiento es una parte removible del portainseros, cuya función es proveer de soporte al inserto.

El inserto, es la parte de la herramienta de corte que hace los trabajos de corte que realizan el avance de virutas al penetrar en la pieza que está girando.

Como se mencionó anteriormente, son 6 las formas básicas de insertos que cubren casi todas las necesidades en las operaciones de torneado.

Los principios básicos para el diseño de la geometría de un inserto, se fundamentan en los siguientes factores:

- La resistencia del filo cortante.
- El número de esquinas utilizables.
- El costo por esquina cortante.

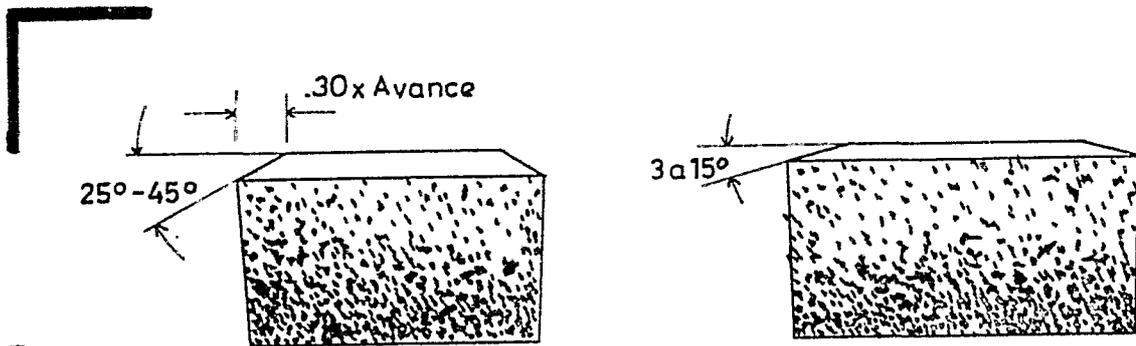
Con referencia al primer punto, cabe decir que cuanto más agudo es el filo, más fácilmente penetra en el material y desprende las virutas, pero su resistencia y por tanto su duración serán pequeñas; sin embargo, la máxima resistencia se obtiene a partir del mayor ángulo de la punta y aumenta aún más mientras mayor sea el radio de la nariz. La razón de esto es que la presión sobre el borde cortante se reparte en un área mayor, permitiendo además una mejor disipación de calor, dando como resultado una relevación de esfuerzos sobre la punta del inserto, que es su parte más débil. Bajo estas consideraciones, es obvio que la forma geométrica más resistente es la redonda.

El número de esquinas utilizables está determinado por la forma geométrica del inserto y el hecho que en muchos casos el inserto se pueda usar por ambas caras, con lo cual se duplica el número de esquinas o bordes cortantes. Por consiguiente, el inserto triangular puede tener 3 o 6 esquinas utilizables, el cuadrado y los diamantas róbicos 4 u 8 y el redondo de 4 a 10, dependiendo de la profundidad de corte empleada.

El costo es función de la cantidad de material necesaria para fabricar el inserto y del grado de que se trate, entre otras cosas.

Mediante algunas modificaciones en la geometría, puede alargarse la duración de un inserto y mejorar su utilización. La experiencia ha demostrado que redondeando los bordes agudos, máximo hasta un 30% del valor del avance por revolución de la pieza de trabajo, se han obtenido menos fallas por despostilladuras.

Otra práctica común en aplicaciones donde se presentan choques fuertes y cortes interrumpidos, consiste en afilar en el borde cortante un chaflán que va de 25° a 45°, medido desde la cara hacia abajo, con lo cual aumenta la resistencia del inserto bajo esas condiciones. El ancho del chaflán no debe exceder del 30% del valor del avance por revolución. Lo anterior se ilustra en la fig. 57.



INSERTO CON CHAFLAN

INSERTO CON BISEL

FIG. 57

El control de las virutas, es un punto que hay que considerar en el trabajo de metales dúctiles; a grandes velocidades, la resistencia reducida al flujo, la viruta hace que esta salga más delgada y menos distorsionada, pero no se vuelve más delgada y más derecha según aumenta la velocidad. Esto llega a representar un estorbo al corte del material, constituir un peligro para el operario y dificultar su accionar.

Con el fin de producir virutas cortas, se utilizan rompevirutas localizadas cerca de los filos cortantes. El efecto del rompevirutas se refleja en una deformación adicional en las virutas, causando su rotura.

Básicamente existen 2 clases de rompevirutas: rompevirutas mecánico o postizo y rompevirutas integrado o moldeado en el inserto desde su fabricación.

El rompevirutas mecánico es simplemente una pieza en forma de cuña que se fija sobre la cara superior del inserto. La ventaja de este tipo es que puede ajustarse en la posición más conveniente, dependiendo de las características del material a torneear y las condiciones del corte a realizar.

El rompevirutas moldeado en el inserto es una ranura de anchura y profundidad variables, localizada muy cerca del borde cortante. Produce un aumento en la tendencia natural que tienen las virutas de enrollarse y además permite ampliar las opciones de uso, tanto en cortes de desbaste como en cortes de acabado.

Recientemente, un fabricante de herramientas de WC introdujo un nuevo tipo de inserto para aplicaciones que requieren altas velocidades y buen control de virutas.

Su geometría se caracteriza por un borde cortante con inclinación negativa, es decir, que la punta es la parte más baja de la superficie plana, seguida de una rampa descendente hasta un área central de la cara que es plana. Ver. fig. 58.

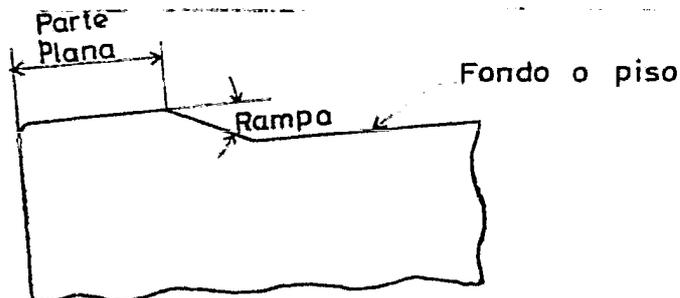


FIG. 58 GEOMETRIA DE UN INSERTO PARA APLICACIONES QUE REQUIEREN ALTAS VELOCIDADES Y BUEN CONTROL DE VIRUTAS.

El diseño de estos insertos se basa en las siguientes consideraciones:

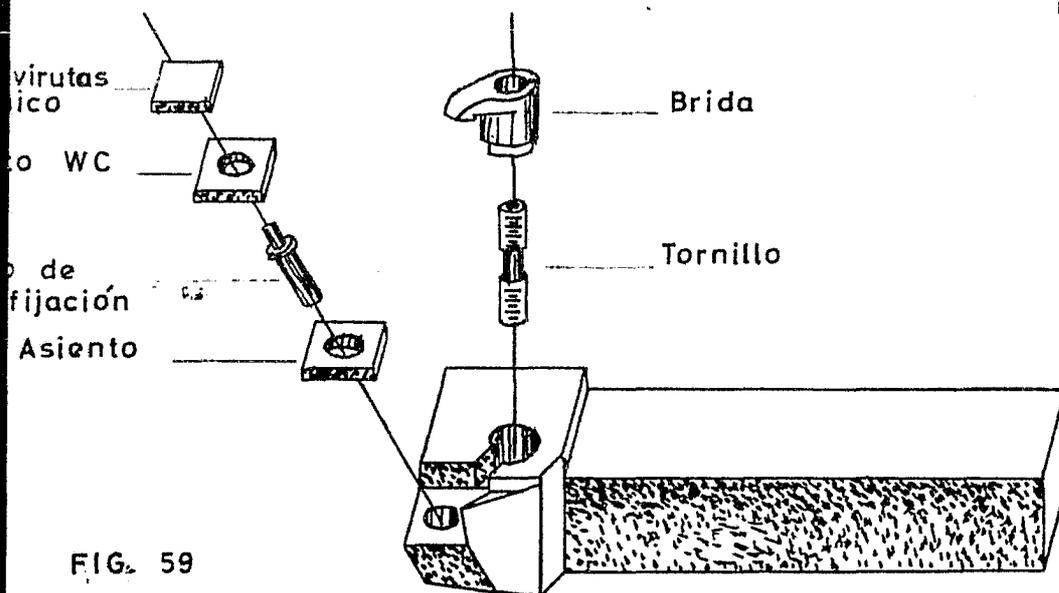
- Al aumentar el ancho del borde cortante, se incrementa la resistencia a la rotura y permite incrementar el valor del avance.
- Al incrementar el ancho de la ranura del rompevirutas, se reducen las fuerzas de corte a altas velocidades manteniendo un buen control de virutas.
- Al incrementar la profundidad de la ranura, aumenta la tendencia natural de las virutas a enrollarse.
- Al aumentar el ángulo de la rampa, se reducen las fuerzas de corte aunque se reduce también la resistencia a la rotura del inserto.
- Es recomendable eliminar cantos agudos por medio de chaflanes, reduciendo el riesgo de rotura.

Existen diferencias en el método de sujeción del inserto, dependiendo si tiene agujero central o no lo tiene.

Para el primer caso, si el inserto tiene rompevirutas moldeado, se coloca sobre el asiento y ambos se fijan por medio de un tornillo prisionero. La ventaja que se tiene de esta sujeción es que en la cara del inserto no hay algo que pudiera obstaculizar el flujo de las virutas generadas durante la operación y por tanto éstas son eliminadas más fácilmente.

Por otro lado, si el inserto no tiene rompevirutas moldeado, el asiento se fija al portainsertos por medio de un tornillo prisionero de cabeza plana, el inserto se coloca encima de aquél y junto con el rompevirutas postizo se fijan mediante brida de sujeción atornillada al portainsertos. Esto se aprecia en la Fig. 59.

Los insertos que no tienen agujero central se fijan al portainsertos mediante brida y tornillo de sujeción. El asiento tiene un barrenado avellanado a través del cual se atornilla al portainsertos.



La designación de insertos "positivos" o "negativos", se refiere al ángulo de desprendimiento o salida. El gran uso de insertos negativos es debido a que se pueden invertir, obteniéndose el doble de filos de corte. Los insertos positivos sólo se pueden emplear por un lado, ya que tienen un ángulo de incidencia positivo y son recomendados para operaciones de torneado interior, porque las fuerzas de corte son pequeñas en este tipo de insertos. Los ángulos más comunes son 5° y 15° .

Los insertos de precisión están totalmente rectificadas a tolerancias muy estrechas, por lo que sólo es necesario un ajuste mínimo al cambiar de filo y facilita el uso de insertos con diferentes ángulos de desprendimiento, aumentando la versatilidad en trabajos de precisión.

Los insertos de uso general o utilitarios, como su nombre lo indica, se emplean en una gran gama de operaciones que no requieran estrechas tolerancias; son más económicas que los de precisión y tienen rectificadas su cara superior e inferior únicamente.

Además de las seis formas básicas, se ofrecen insertos para aplicaciones específicas, como torneado de cuerdas standard, cuerdas Acme 29°, ranuras para o'ring, ranurado de poleas trapezoidales, cuchillas de corte, etc; cada uno requiere de un tipo propio de portainsertos.

Como puede verse, la demanda actual de la industria metal-mecánica por productividad y economía en el maquinado, queda satisfecha en gran medida con el uso de insertos intercambiables, los cuales por su variedad de formas geométricas y grados de WC en que son fabricados, constituyen el método preferido para el torneado de piezas metálicas.

La fig. 60 presenta una selección representativa de insertos intercambiables para diferentes propósitos.

	<p>Triángulo. Positivo.</p>
	<p>Triángulo. Negativo 5°. Rompevirutas moldeado.</p>
	<p>Cuadrado. Negativo.</p>
	<p>Cuadrado. Positivo 5°. Rompevirutas moldeado.</p>
	<p>Redondo. Negativo.</p>
	<p>Redondo. Negativo 5°. Rompevirutas moldeado</p>
	<p>Diamante 80°. Positivo.</p>
	<p>Diamante 80°. Positivo 15°. Rompevirutas moldeado.</p>
	<p>Diamante 55°. Negativo.</p>

FIG. 10. INGENIERO ANTONIO GARCIA.

	<p>Diamante 55°. Positivo 5°. Rompevirutas moldeado.</p>
	<p>Diamante 35°. Negativo 5°.</p>
	<p>Diamante 35°. Positivo 15°. Rompevirutas moldeado.</p>
	<p>Inserto para torneado de cuerda standard.</p>
	<p>Inserto para torneado de ranuras para o'ring.</p>

FIG. 60. INSERTOS INTERCAMBIABLES (Cont.)

En las figuras anteriores:

E - espesor del inserto

L - longitud de la cara.

A - ancho del inserto.

H - altura del inserto.

S - ancho del borde cortante para ranurado.

M - radio de la punta.

4.1.1.3. PORTAHERRAMIENTAS.

Como se describió anteriormente, el inserto es la parte de una herramienta de corte que, debido a sus filos cortantes, realiza el arranque de virutas de la — pieza de trabajo. Pero el responsable de mantenerlo fijo en posición y comunicarle los movimientos de avance y profundidad de corte del torno es el portainseros o — portaherramientas.

Un portaherramientas debe ser lo suficientemente rígido para evitar las — flexiones provocadas por las fuerzas de corte inherentes a las operaciones de tornea do y al mismo tiempo, las vibraciones, con el objeto de obtener un buen acabado su— perficial de la pieza terminada.

El acero de bajo carbono es el material más comúnmente empleado, ya que — además de poseer las características citadas para un portaherramientas, es económico, fácil de conseguir y puede someterse a tratamiento térmico para darle el grado de dur reza apropiado.

El diseño de un portaherramientas para una aplicación particular, está re— gido por los siguientes factores, aunque no en ese orden:

- Forma del inserto.
- Tipo de inclinación de la cara.
- Método para sujetar el inserto.
- Dirección del corte.
- Grado de precisión requerido para posicionar al inserto.

La forma del inserto determina la forma del espacio en el portaherramientas destinado para su alojamiento. En general, se procura que sea una cavidad que tenga 2 paredes contra las cuales se coloque el inserto de manera rápida y precisa con lo que se ahorra tiempo en el cambio de filo cortante o reposición del inserto, según el caso.

La inclinación de la cara puede ser positiva, negativa o neutral. Es neutral si la cara del inserto forma un plano con el eje longitudinal de la pieza de trabajo. Se define como positiva cuando el ángulo es más agudo que el neutral, y si es menos agudo, se trata de una inclinación negativa.

La inclinación positiva se emplea en insertos positivos, o sea, aquéllos que tienen un ángulo de alivio diferente de cero grados, que suele ser 5° . En cambio, la inclinación negativa se emplea en insertos negativos, es decir, cuyo ángulo de alivio es cero y tienen la ventaja sobre los positivos de poder invertir el inserto y de esta forma duplicar el número de bordes cortantes.

El método de sujeción más común para los insertos que tienen agujero central consiste de perno y brida combinados. El perno posiciona al inserto mientras que la brida ejerce en él la fuerza necesaria para mantenerlo fijo. Por otro lado, los insertos que no tienen agujero central, se sujetan mediante brida únicamente.

La dirección del corte puede ser derecha, izquierda o neutral. Para asignarla, debe verse la herramienta de frente y con la cara hacia arriba y si el borde cortante principal queda a la derecha, entonces la dirección de corte es derecha; análogamente para la izquierda y es neutral cuando el borde cortante principal queda dirigido hacia el frente.

Los portaherramientas de precisión son los que están fabricados a tolerancias tan estrechas como $.075 \text{ mm}$ ($.003''$) en todas sus dimensiones y son recomendables para trabajos de precisión con un mínimo ajuste.

Los portaherramientas de uso general no requieren tanta precisión y por esta razón tienen tolerancias en su fabricación de $\pm .25 \text{ mm}$ ($\pm .010''$) en anchura y $\pm 3.1 \text{ mm}$ ($\pm .125''$) en longitud.

El siguiente cuadro de figuras es una colección de portaherramientas que se utilizan con mayor frecuencia en operaciones de torneado. Fig. 34.

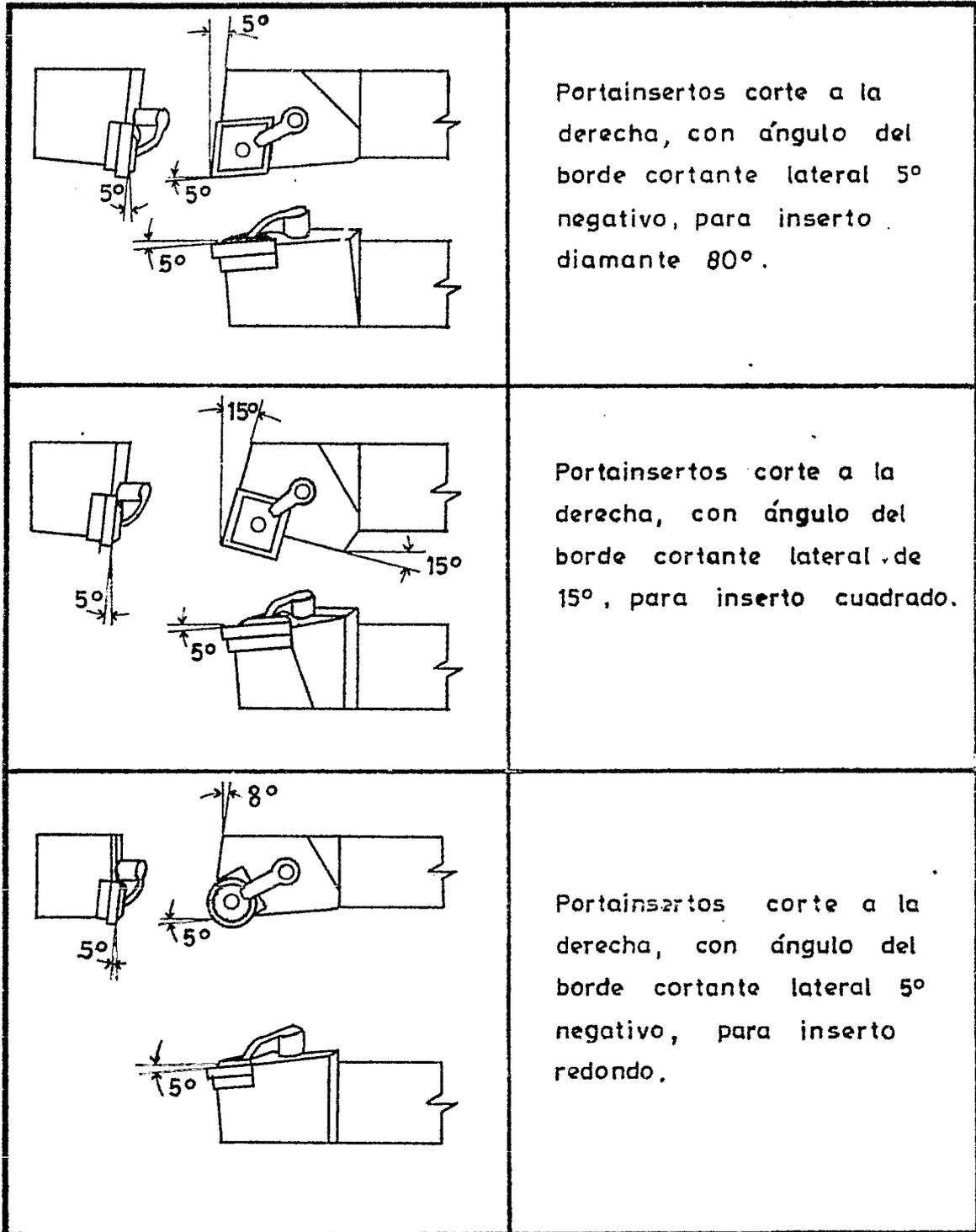


FIG. 81. PORTAHERRAMIENTAS PARA TORNEADO.

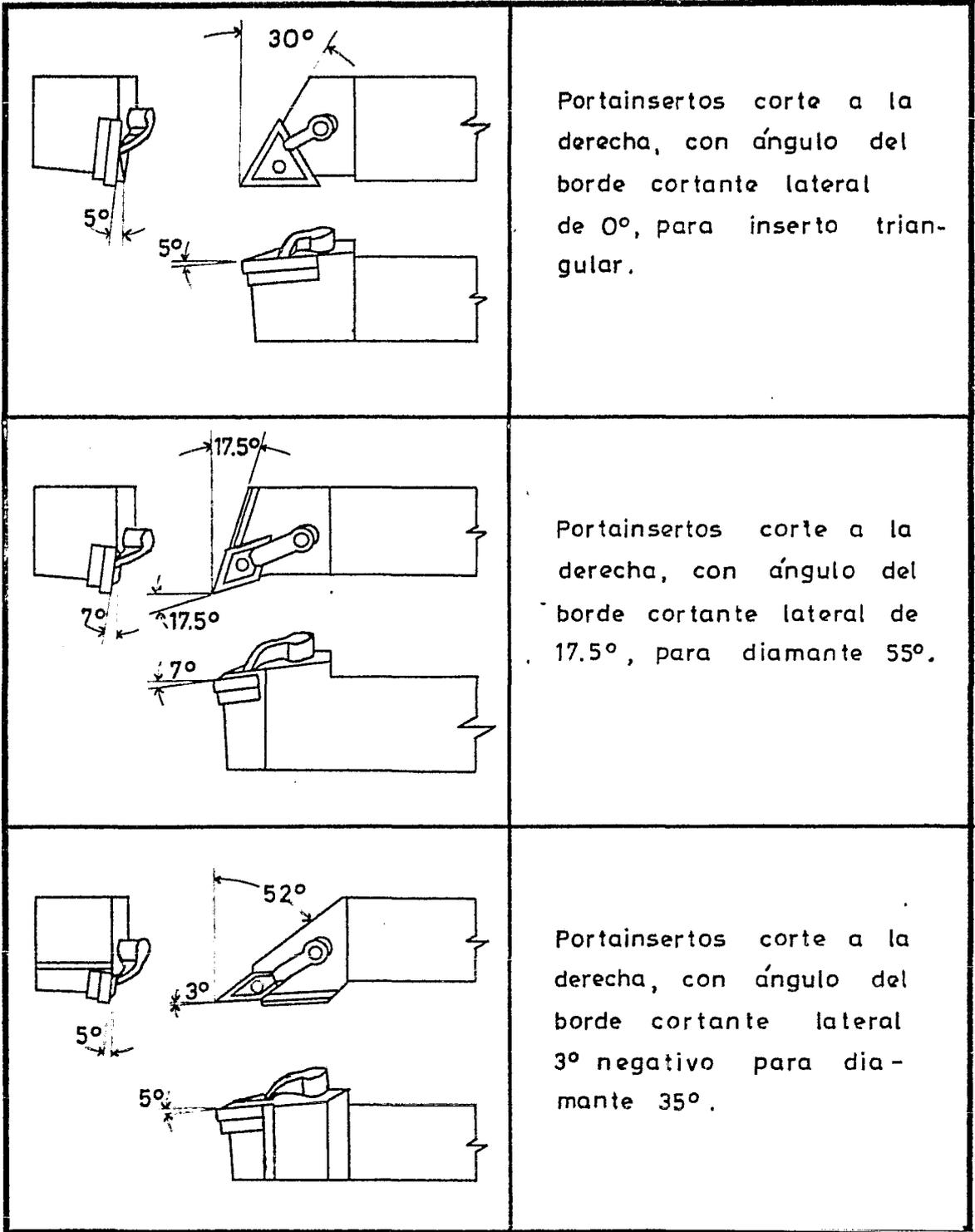


FIG. 61. PORTAHERRAMIENTAS PARA TORNEADO (Cont.)

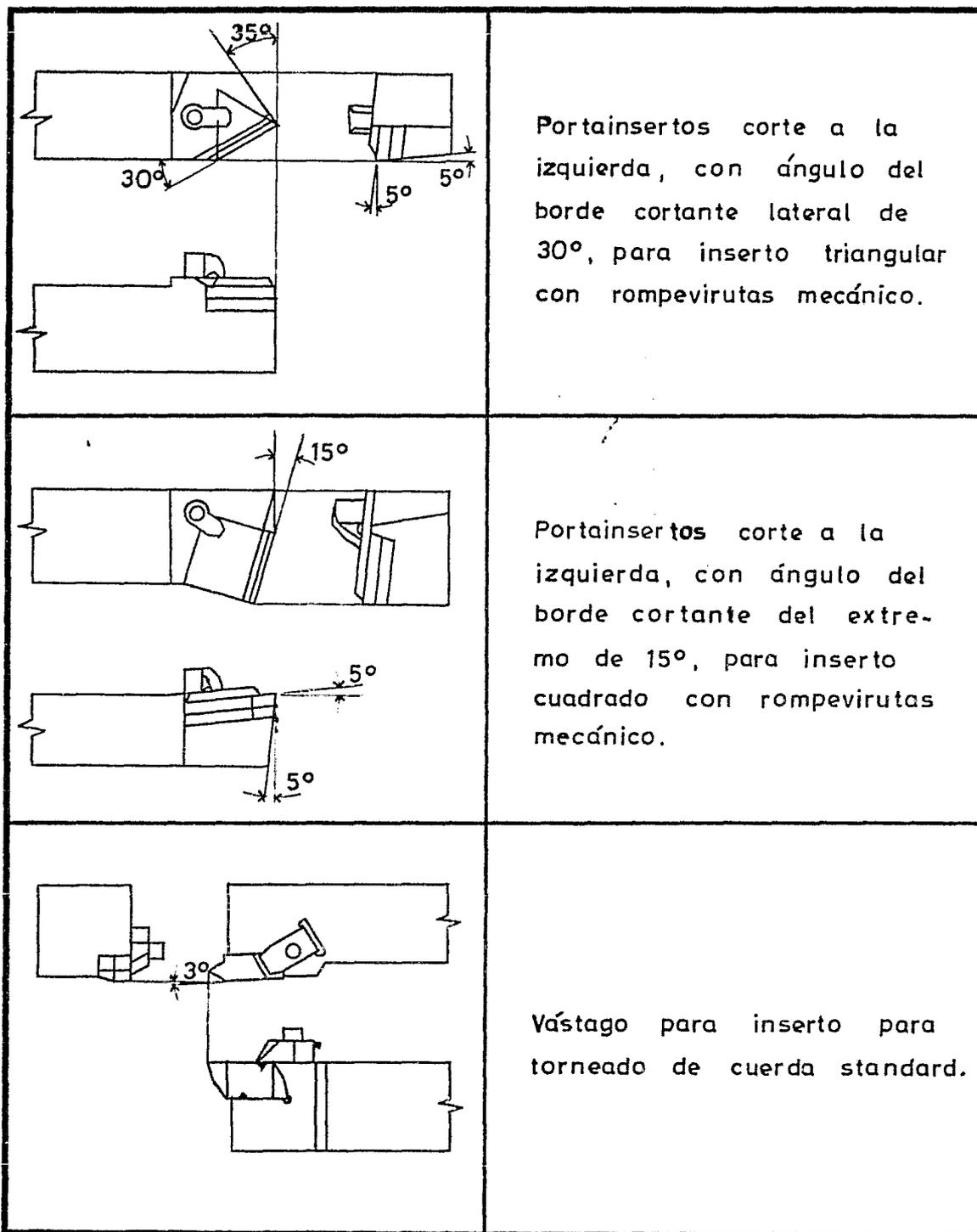


FIG. 01. PORTAHERRAMIENTAS PARA TORNEADO (Cont.)

4.1.2. FRESADO.

La operación de fresado se realiza mediante herramientas de corte de filos múltiples, conocidas comúnmente como fresas o cortadores. (Fig. 62a).

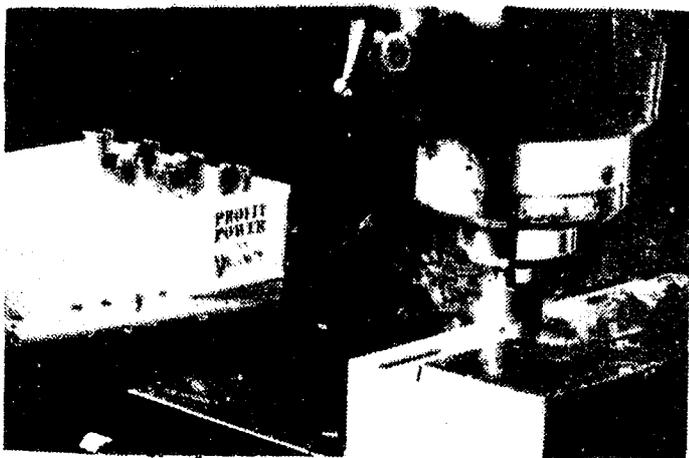


FIG. 62a. FRESADO FRONTAL.

A diferencia del torneado, en este tipo de maquinado, la pieza de trabajo - permanece fija a la mesa de la fresadora, la cual puede tener desplazamientos tanto longitudinales como transversales, constituyendo el movimiento de avance principal; por otro lado, el cortador gira y se desplaza verticalmente para dar la profundidad de corte.

Para que el fresado con cortadores que utilizan insertos de WC sea satisfactorio y se obtenga una larga vida útil de la herramienta, es recomendable tener presente lo siguiente:

1. La rigidez de la máquina es importante para evitar al máximo vibraciones y deflexiones durante el corte.

El hecho de que se haya en contra de las propiedades de la materia.

Según el autor, el mundo que se ve en la realidad es el mundo que aparece por dentro de la mente. El mundo que se ve en la realidad es el mundo que se ve en la mente, para mantener un mundo que se ve en la mente.

El mundo que se ve en la realidad es el mundo que se ve en la mente, para mantener un mundo que se ve en la mente.

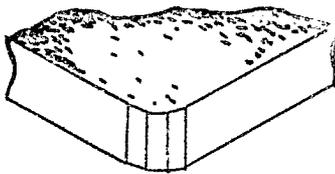
El mundo que se ve en la realidad es el mundo que se ve en la mente, para mantener un mundo que se ve en la mente.

El mundo que se ve en la realidad es el mundo que se ve en la mente, para mantener un mundo que se ve en la mente.

4.1.2.1. ADAPTACION DE INSERTOS EN FRESCO CIRCULAR.

La geometría de los insertos en el fresado es muy similar a la del torneado, con la única diferencia de que en los primeros no existe un radio en la punta, sino un chaflán paralelo a la superficie maquinada, con la cual se mejora el acabado superficial. Esto se aprecia en las figuras 62 y 63.

Pastilla para fresado, mostrando las esquinas con geometría negativa



Pastilla para fresado, mostrando las esquinas con geometría positiva

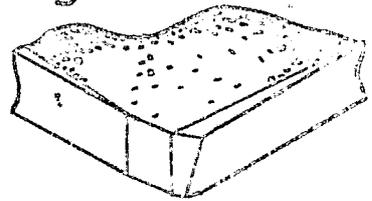


FIG. 62 b

Insertos de WC para fresado, mostrando los dos tipos de faceteado

PRIMARIO

SECUNDARIO

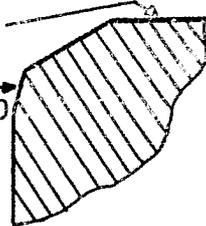
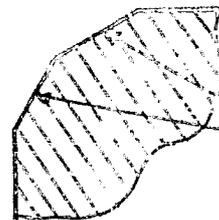
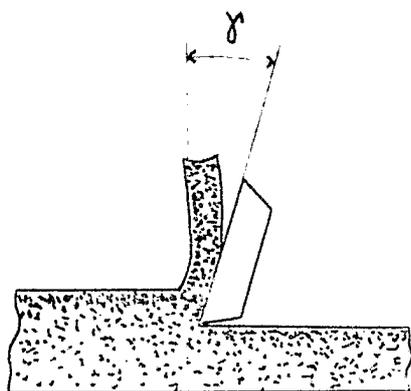


FIG. 63

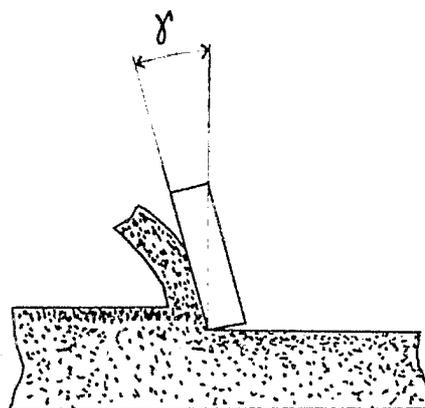
PRIMARIO



Un cortador frontal de WC puede ser positivo o negativo, según sea el ángulo de desprendimiento (γ), (fig. 64); el positivo requiere menor potencia en la máquina que el negativo.



PASTILLA CON ANGULO DE DESPRENDIMIENTO POSITIVO.

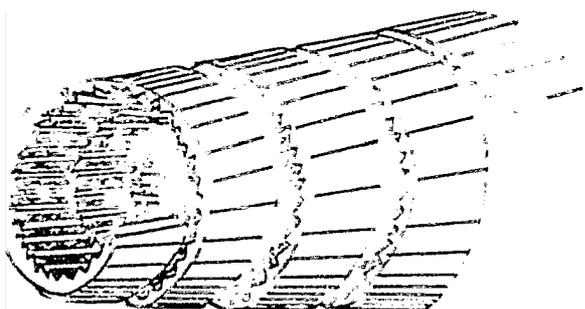


PASTILLA CON ANGULO DE DESPRENDIMIENTO NEGATIVO.

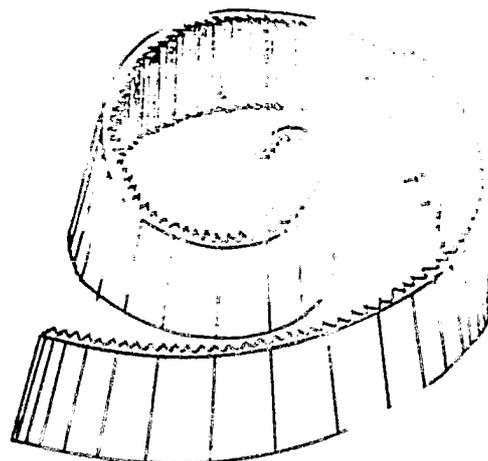
FIG. 64

Otra diferencia entre los cortadores de ángulo de desprendimiento positivo y negativo es la formación de virutas. Los primeros producen virutas en forma de espiral estrecha, mientras que los segundos las producen en forma de muelle de reloj, siendo ésta más ancha. Por tanto, en un cortador negativo se debe prestar más atención que se presente una obstrucción. Ambos tipos de virutas se muestran en la fig. 65.

FIG. 65



VIRUTA PROCEDENTE DE UNA FRESA CON INSERTO DE WC CON ANGULO DE DESPRENDIMIENTO POSITIVO.



VIRUTA PROCEDENTE DE UNA FRESA CON INSERTO DE WC CON ANGULO DE DESPRENDIMIENTO NEGATIVO.

El ángulo de posición (α) tiene cierta influencia sobre la dirección y la magnitud de las fuerzas de corte, asimismo sobre el consumo de potencia.

La fuerza de corte axial y el consumo de potencia aumentan con un valor decreciente del ángulo de posición. La fig. 66 ilustra una pastilla de WC para fresado en la que se indica el ángulo de posición.

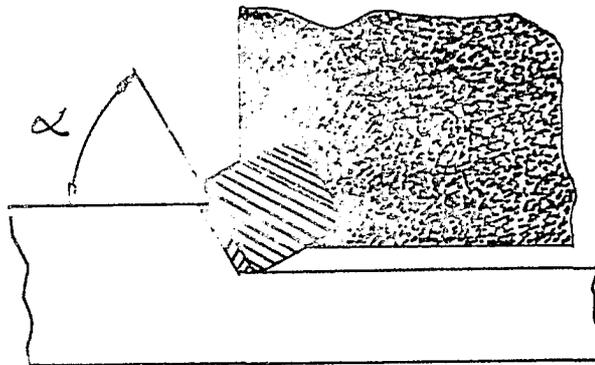


FIG. 66 PASTILLA FRESADORA MOSTRANDO EL ANGULO DE POSICION.

Para las operaciones de fresado, existen diferentes clases de cortadores que se enuncian a continuación:

A) Cortadores frontales.

En este tipo de cortadores es muy importante la localización de los insertos en el cuerpo de la fresa, ya que esto afecta directamente el acabado de la superficie fresada. Los insertos se sitúan mediante tres puntos de apoyo que los fijan en una posición geométrica fija en la fresa; los mismos puntos se utilizan para el montaje de los insertos de WC cuando se rectifican los chafloques paralelos a la superficie maquinada. De la fig. 67 a la 71, se muestran algunos tipos de cortadores frontales.

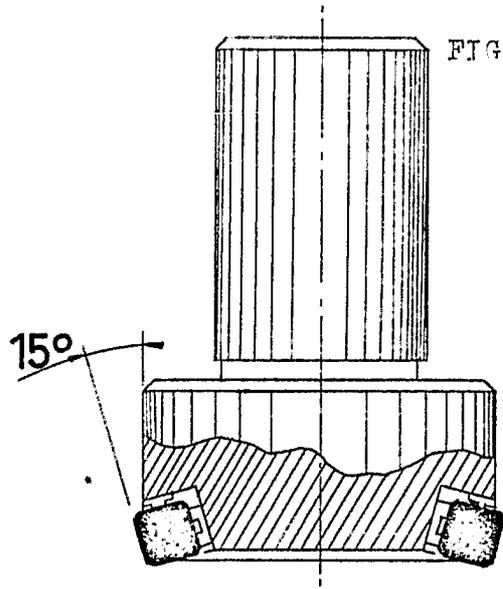


FIG. 67 Cortador Frontal
Zanco recto
Ang. ataque positivo
Ang. principal : 15°

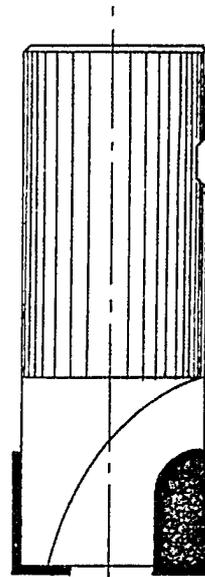


FIG. 68 Cortador Frontal
Inserto soldado
Ang. ataque positivo

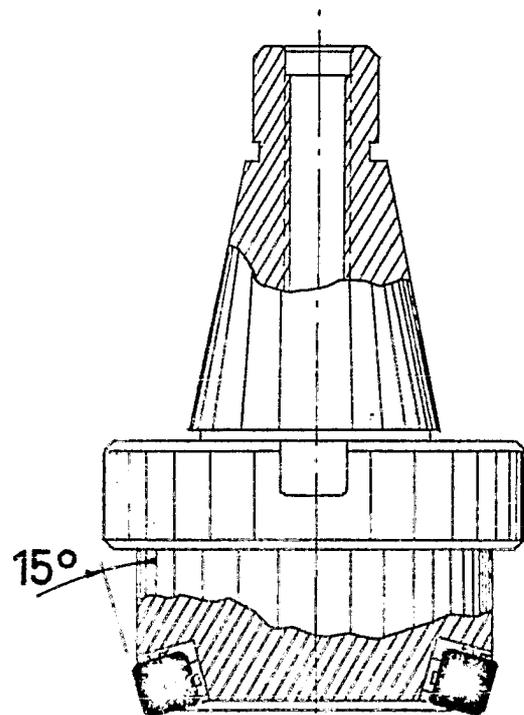


FIG. 69

Cortador Frontal
Zanco cónico
Ang. ataque positivo
Ang. principal : 15°

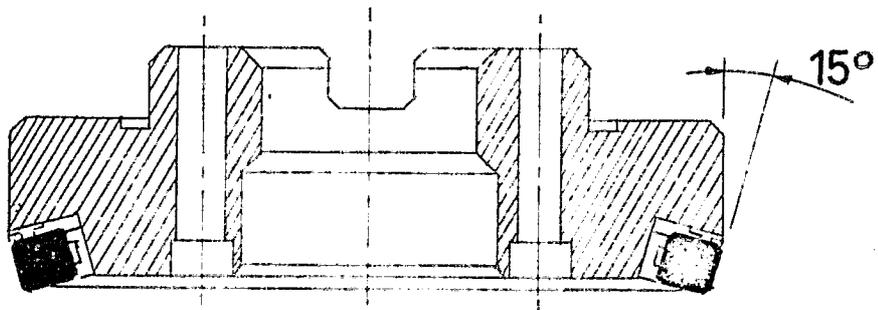


FIG. 70 Cortadores Frontales
Angulo de ataque: Positivo/Negativo
Angulo principal: 15°

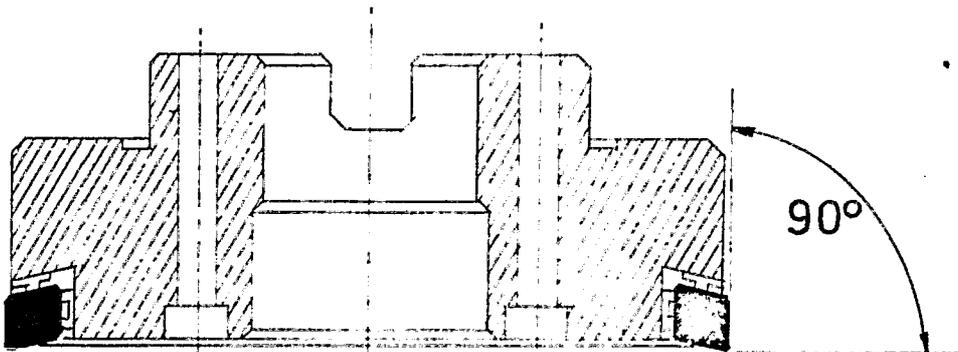
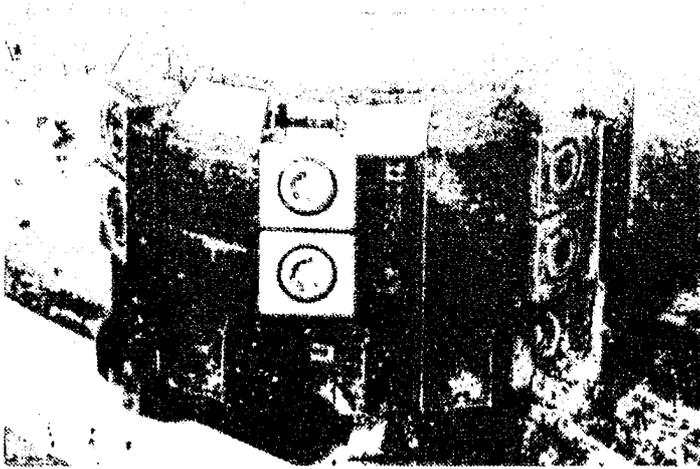


FIG. 71 Cortadores Frontales
Angulo de ataque: Positivo/Negativo
Angulo principal: 90°



CORTADOR FRONTAL (ESTATICO)



CORTADOR FRONTAL (EN ACCION)

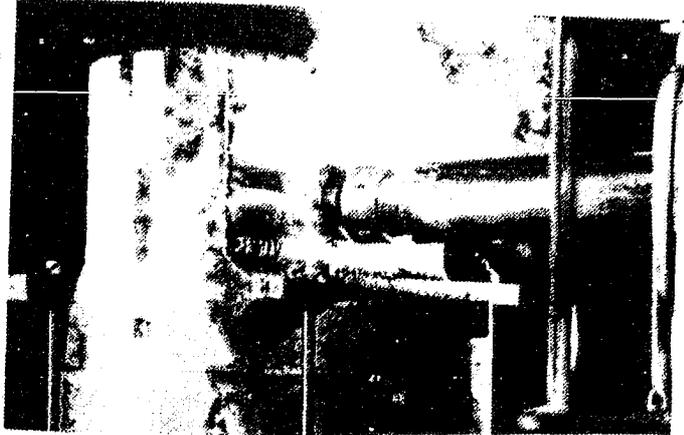


FIG. 71a. CORTADOR FRONTAL USADO EN MANDRINADORA.

Los insertos estan espaciados desigualmente, por lo cual se dice que tienen paso diferencial, produciendo un efecto moderador de las vibraciones. Dependiendo de la separación entre insertos, pueden ser:

- De gran peso.-Con menos insertos se tiene mayor capacidad de arranque en el fresado de acero.
- De peso reducido.-Para fresado de fundición, con avances moderados e incluso para acagados en acero.
- De paso extrareducido.-Para fresado de fundición con grandes avances.

B) Fresas de disco.

Estos cortadores realizan cortes periféricos y en ciertos casos se utilizan para refrentado. Generalmente, se usan para el fresado de ranuras, superficies a escuadra, etc.

Existen dos tipos:

- Fresa de tres cortes.-Fresan ranuras y tienen filo en ambas caras.
- Fresas de dos cortes.-Fresan superficies a escuadra y al frente tienen filo en una sola cara.

En operaciones específicas, se pueden combinar en juegos para ranurados múltiples. Los insertos para estas fresas son triangulares y se ajustan al cuerpo por medio de una cuña. Para este tipo de fresas, los resultados obtenidos en el maquinado pueden mejorarse añadiendo un volante de inercia en el montaje; esto reduce las vibraciones en el husillo de la máquina y ayuda a mantener uniformes las velocidades de corte.

D) Fresas de escuadrar.

Su diseño es parecido al de los cortadores frontales para refrentar, pero tienen un ángulo de incidencia de 30° empleando insertos cuadrados y triangulares.

Son cortadores de precisión, con largos filos de corte para el fresado de escuadras. (Fig. 71b).



FIG. 71b FRESDO LATERAL, PARA ESCUADRAR.

D) Fresas de ranurar.

Ejecutan los mismos trabajos que las fresas de disco, pero para fresados verticales, ya que estas pequeñas fresas tienen mango recto o cónico integrado al cuerpo de la fresa. La geometría de corte puede ser positiva o negativa.

El método de sujeción del inserto puede ser mediante una brida (Para las más pequeñas), o bien mediante una cuña (para las más grandes).

1.3. TALADRADO.

Aunque existen muchos tipos de carburo sinterizado, se ha encontrado que el carburo de tungsteno puro es el más idóneo para herramientas de corte y en particular para brocas.

Las características del carburo sinterizado son su elevada dureza, su resistencia a la pérdida de dureza, excepto a muy altas temperaturas y su buena resistencia a la abrasión. Sin embargo, tiene ciertas limitaciones como su fragilidad, su escasa ductilidad y su pobre resistencia a las cargas de impacto.

Como se expuso en capítulos anteriores, existen varios grados de WC que se identifican por la letra C y van del C-1 al C-8, de los cuales para la fabricación de brocas helicoidales se utilizan solo el C-1 y el C-2, que proporcionan la mejor combinación de dureza, resistencia al desgaste, tenacidad y habilidad para la perforación.

El WC para brocas se emplea, ya sea en forma de barra, que constituirá la broca completa, o como inserción soldada de barras de acero de alta velocidad o de acero aleado de alta resistencia y dureza, formando solo los filos de la punta de la broca.

Muchas aplicaciones de las brocas con punta de WC implican condiciones difíciles de maquinado, de modo que podría ocurrir una fractura del inserto. Para evitarlo, aunque esto sea mínimo, muchas de las puntas para brocas -salvo las diseñadas para plásticos- se fabrican de grado C-1. Esta selección se basa en la mayor tenacidad del grado C-1 comparado con el C-2.

Cuando la broca es totalmente de WC, es posible disponer de diámetros pequeños, hasta de 0.343 mm (.0135"), las cuales por su buena rigidez proporcionan un factor de seguridad muy aceptable. Estas brocas que son generalmente de grado C-2, pueden llegar a tener hasta 12.7 mm (.500") de diámetro, en cuyo caso se vuelve marginal la conveniencia económica de utilizar brocas de WC debido a su alto costo.

4.1.3.1. TIPOS DE BROCAS DE WC.

A) Broca cañón.

La broca cañón se caracteriza por su gran precisión y por su alto régimen de arranque de virutas. Su diseño conduce a unos tiempos de mecanizado más cortos que los obtenidos por la broca helicoidal, haciendo esta operación mucho más económica en la mayoría de las aplicaciones. La broca cañón puede reafilarse unas pocas veces y cubren la gama de diámetro de 3 a 13 mm ($1/8''$ a $3/4''$).

Como lo indica la Fig. 72, la broca está formada por tres partes principales: la cabeza (A), caña (B) y mango (C). La cabeza está fabricada de WC y tiene un agujero en forma de riñón para el suministro del fluido de corte. La caña es un tubo de acero resistente, relativamente largo soldado a la cabeza. Es de diámetro un poco menor que la cabeza y el mango, en el que están también soldados. El mango se ajusta en la máquina y se conecta al suministro de fluido de corte.



FIG. 72 BROCA CAÑÓN

El principio de la broca cañón está basado en un sistema de fluido de corte de alta presión. Esto influye sobre la acción de corte y proporciona una evacuación efectiva de las virutas (fig. 73). El fluido de corte se suministra a través de un canal por dentro de la broca y pasa por el filo de corte, para ser evacuado junto con la viruta a través de la ranura en V. por fuera de la broca. El fluido de corte actúa también como refrigerante, facilita la acción de corte moderando las fuerzas inherentes a la operación y tiene propiedades antisoldantes para los filos de corte.

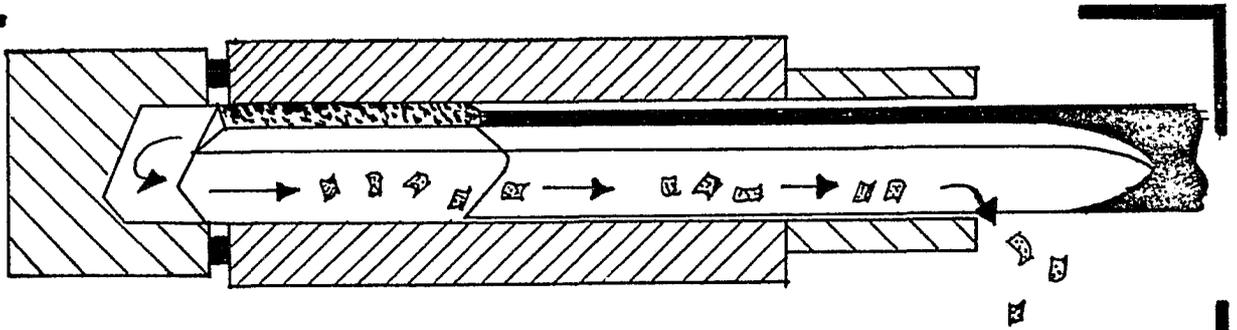


FIG. 73 SALIDA DE VIRUTAS

La broca cañón no rompe por sí misma la viruta, sin embargo algunas de ellas pueden equiparse con rompevirutas rectificadas. La fig. 74 ilustra una aplicación típica de esta broca.

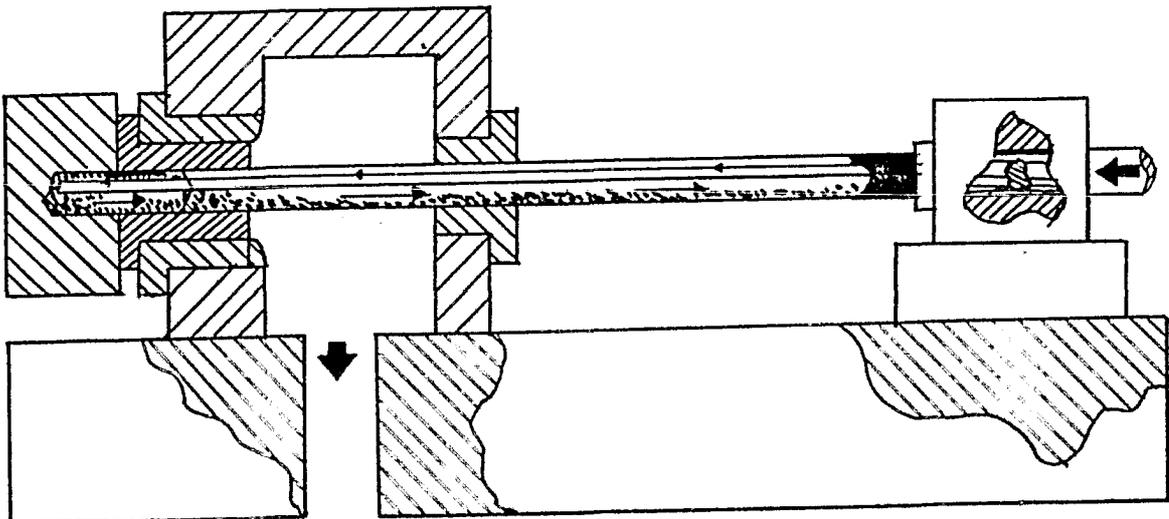


FIG. 74 EJEMPLO APLICACION BROCA CAÑON

B) Broca eyector.

El principio de la broca eyector es una cabeza de taladrar con plaquitas de WC, roscada a un tubo de taladro. Dentro del tubo exterior va otro tubo.

Está diseñada en tal forma por la existencia de un suministro exterior de fluido de corte y una corriente interior de virutas. El fluido es bombeado entre el tubo de taladrado y el tubo interior hacia la cabeza de la broca. La mayor parte del fluido es forzado a través de los agujeros en la cabeza de la broca, enfriando y lubricando las plaquitas de corte. El fluido que ha enfriado y lubricado, es aspirado hacia el tubo interior junto con las virutas y pasa hacia el orificio de salida, como se aprecia en la fig. 75.

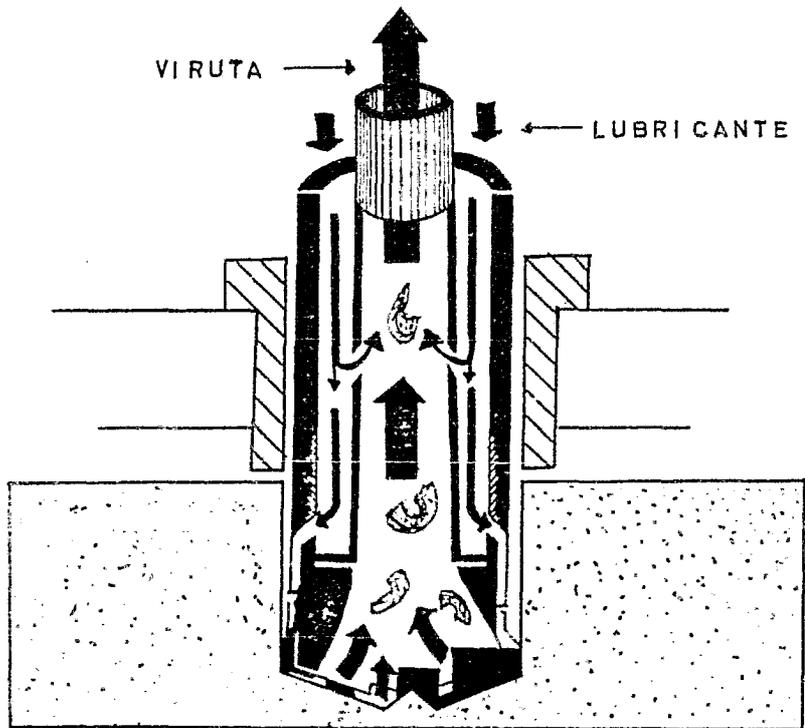


FIG. 75 BROCA EYECTOR

Existen dos variantes del sistema eyector: broca rotativa y pieza rotativa y cada una de ellas tiene un conector entre la broca y la máquina. Ambos tipos tienen conductos de entrada en los conectores, pero en distinta posición dependiendo de la función.

El tipo de cabeza rotativa comprende una parte que gira sobre rodamientos de apoyo en un alojamiento estático. El tipo fijo, no tiene partes móviles.

La cabeza de corte consta de tres plaquitas de WC, situadas a cada lado de la cabeza de broca y tienen rompevirutas moldeado. La cabeza que es desechable, está roscada en un tubo exterior. La Fig. 76 ilustra lo anterior

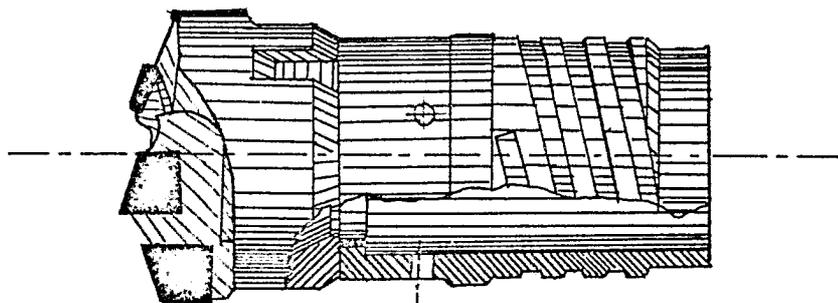


FIG. 76 CABEZA DE BROCA

Como regla, el sistema eyector puede ser utilizado en taladradoras convencionales o en tornos con rigidez adecuada y se fabrican en diámetros de 10 a 65 mm (.706" a 2.560").

C) Sistema T-MAX.

Este sistema, denominado así por uno de los fabricantes de brocas de WC -- más importantes, se basa en plaquitas intercambiables estandard, logrando un programa de taladrado más avanzado que los que existen actualmente.

Este sistema es ideal para grandes taladros y ha demostrado ser superior a los diseñados existentes que utilizan plaquitas de WC soldadas. Este sistema sirve de las muchas ventajas de la tecnología de las plaquitas intercambiables.

En lo que se refiere al diseño y a la geometría, Fig. 77, las cabezas T-MAX son similares a las cabezas eyector. Se pueden utilizar insertos con rompe virutas moldeado o postizo.

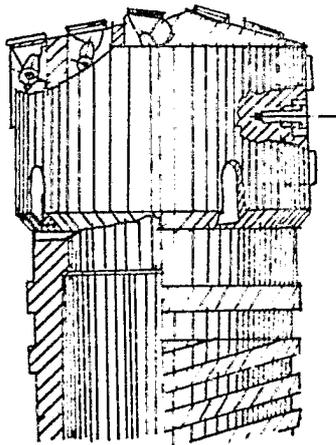


FIG. 77 SISTEMA T-MAX

Se emplean cabezas con el sistema T-MAX para operaciones de taladrado profundo y retaladrado de grandes agujeros.

La desventaja encontrada cuando se talan grandes agujeros profundos donde deben ser evacuados eficientemente grandes cantidades de viruta, con altas presiones y consumo de potencia implícitos, que en cierto modo pueden ser

das por el trepanado. El principio del trepanado es el siguiente: la broca es un tubo abierto con un filo de corte. El fluido de corte se suministra a presión como en el sistema BTA, por fuera de la broca y se evacúa junto con las virutas por el interior del tubo.

El retaladrado se lleva a cabo cuando el límite de potencia restringe el diámetro del taladrado inicial.

El retaladrado, Fig. 78, es una operación necesaria para acabar el agujero al tamaño requerido. La broca de retaladrar agranda el agujero practicado a una cierta profundidad, avanzando en una sola dirección y retrocediendo después.

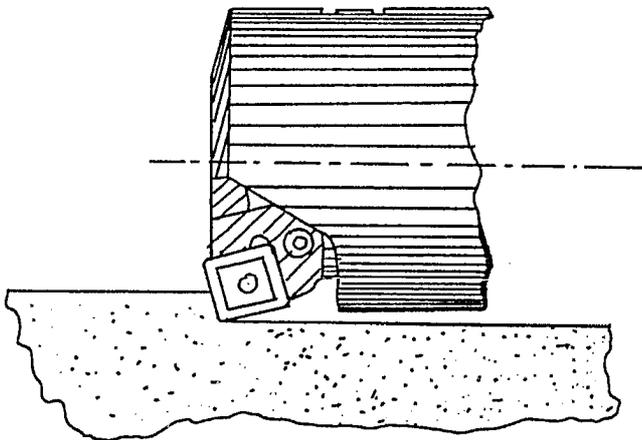


FIG. 78 RETALADRADO T-MAX

D) Sistema de taladrado BTA.

Las brocas del tipo BTA tienen el suministro de fluido de corte externo y la corriente de virutas interno. (Ver Fig. 79). Forzando el fluido de corte en el tubo de taladrado, la velocidad del fluido aumenta de tal forma que es posible asegurar una evacuación efectiva de las virutas a través del tubo. En contraste con el sistema eyector, el método de taladrado BTA requiere una estanqueidad satisfactoria

del aparato que suministra el fluido de corte, así como también de la pieza de trabajo. Se necesita una máquina y equipo especial.

Existen cabezas de taladrar desechables y reafilables que cubren la misma gama de diámetros que el sistema eyector en cualquier aplicación, incluyendo agujeros profundos.

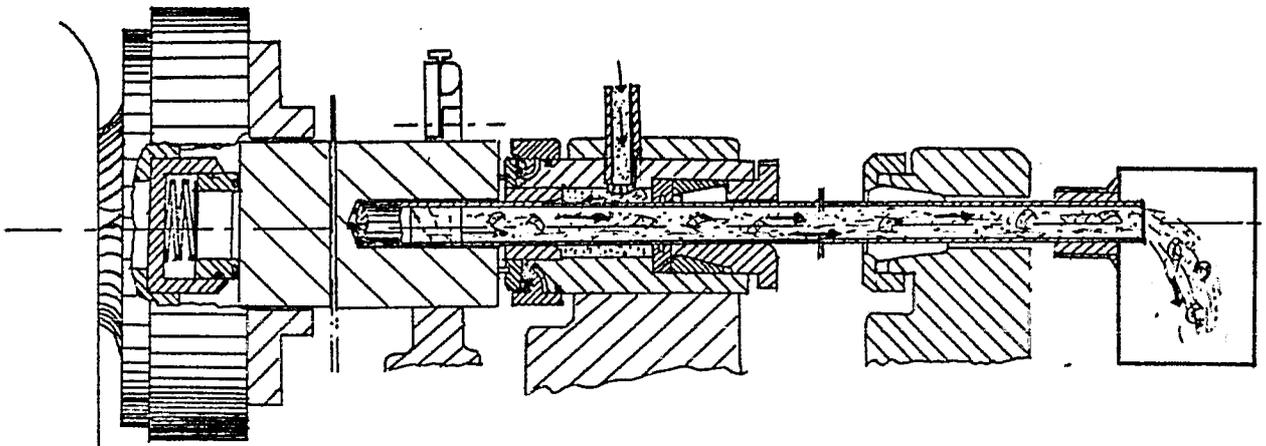


FIG.79 SISTEMA DE TALADRADO BTA

4.2 TROQUELADO.

El uso de troqueles progresivos fabricados a base de partes sólidas, o bien de insertos de WC, será costeable cuando se tengan que fabricar millones de piezas, tales como laminaciones para motores eléctricos o en el caso en que los materiales que constituyen las piezas sean muy abrasivos. Ver Fig. 80.

Además del ejemplo señalado anteriormente, otras aplicaciones que justifican el uso de troqueles progresivos de WC son: laminaciones y balastros para transformadores, palancas templadas de cerraduras, partes de controles eléctricos, partes de acero inoxidable, zapatas eléctricas, partes para máquinas de escribir, engranes, así como otras partes de espesor grueso.

La decisión de fabricar troqueles de acero o de WC es muy importante, ya que ésto significa la diferencia entre beneficios o pérdidas.

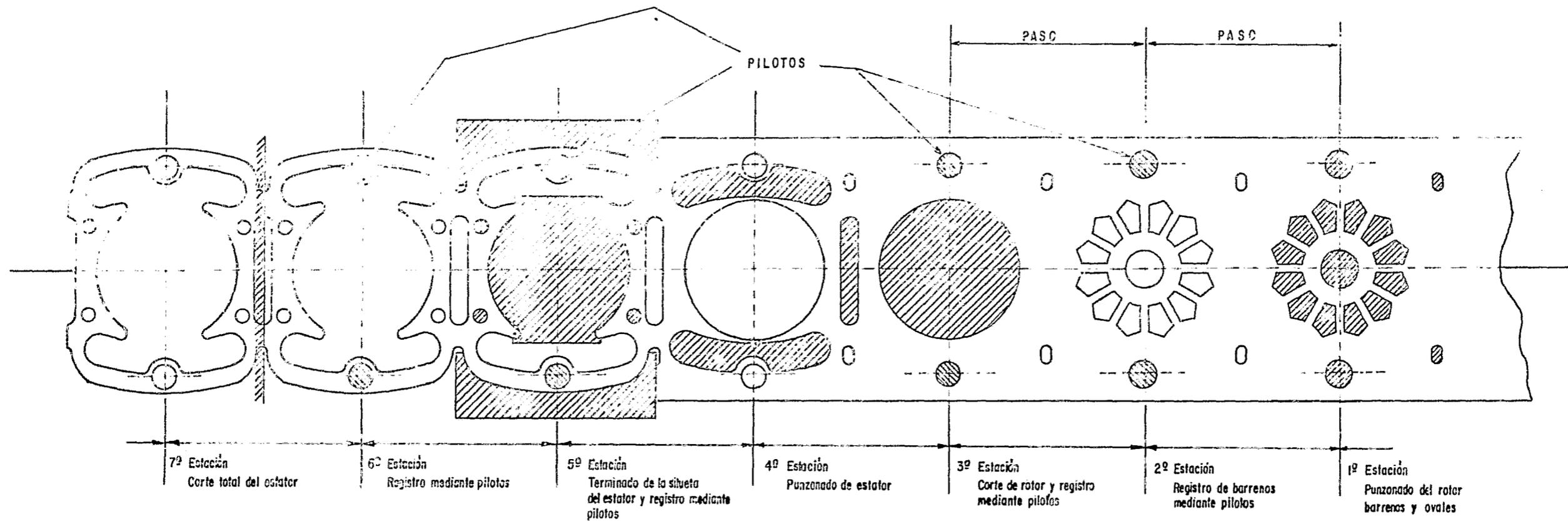
¿Cómo hacer esta importante elección? Los factores que deben considerarse son los siguientes:

1. Cantidad de piezas a producir.
2. Costo del troquel.
3. Tiempo requerido en obtener los materiales necesarios para su fabricación y tiempo para completar el troquel.
4. Costo de reafilado y tiempos muertos de la prensa asignada al troquel.
5. Costo del troquel por pieza troquelada.

La producción de un troquel puede variar grandemente dependiendo de las características metalúrgicas del material de la pieza, tolerancias requeridas, consistencia de la parte y otros factores adicionales como lubricantes empleados y situación general de la prensa.

FIG. 80

TROQUEL PROGRESIVO PARA OBTENER UN ROTOR Y UN ESTATOR
EN CADA GOLPE DE LA PRENSA



La fabricación de punzones y matrices de WC, particularmente aquéllos de configuración complicada, es más difícil en comparación con los de acero.

El WC sinterizado es extremadamente duro y solo puede ser formado por rectificado con ruedas de diamante o por electroerosión.

En su estado semisólido el WC se preforma con facilidad para darle una determinada forma que se aproxima a las necesidades dimensionales, pasando posteriormente por el sinterizado final hasta alcanzar el grado de dureza adecuado y finalmente es rectificado.

Los costos de reafilado son de 25% más elevados para troqueles de WC que para los de acero, ya que las piedras de diamante son muy caras y además las tasas de remoción de material son menores que en el caso de acero, para evitar un sobrecalentamiento del WC que podría producir su fractura prematura. Sin embargo, el número de reafiladas para troqueles hechos de WC es mucho menor que para troqueles de acero, constituyéndose en la principal ventaja para grandes volúmenes de producción de piezas.

En la página siguiente, se muestra una tabla comparativa de grados de WC utilizados en la fabricación de troqueles para grandes producciones. Fig. 81.

FABRICANTES DE CARBUROS	TROQUELES DE CORTE		TROQUELES DE EMBUTIDO		DADOS DE FORMADO		APLICACION AL IMPACTO			APLICACION AL DESGASTE		
	MATERIAL FERROSO	MATERIAL NO FERROSO	EMBUTIDO PROMEDIO	EMBUTIDO SEVERO	FORMADO NORMAL	FORMADO SEVERO	LIGERO	MEDIANO	PESADO	SIN CHOQUE	CHOQUE LIGERO	CHOQUE PESADO
CLAVE ESTANDAR	C-13	C-12	C-10	C-12	C-12	C-13	C-12	C-13	C-14	C-9	C-10	C-11
CARBOLOY	55 B	55 A	779 55A	55 B	55 A	55 B	44A 55A	55A 55B	190	883 44A	44A 779	55A 55B
KENNAMEX	K 94 K 92	K 94	K82	K 84	K 84	K92	K94	K92	K94	K95	K 82	K90
INDS CARBIDE	G-80	C-85	C-88	C-85	C-85	C-80	C-85	C-80	C-75	C-99	C-88	C-80

FIG. 81 GRADOS DE WC PARA TROQUELADO

CLAVE ESTANDAR	DUREZA		ESFUERZO DE RUPTURA TRANSVERSAL (PSI)
	ROCKWELL C	ROCKWELL A	
C-9	78 - 80	91 - 92	$230 - 275 \times 10^3$
C-10	77 - 79	905 - 915	$250 - 295 \times 10^3$
C-11	71 - 74	87 - 89	$325 - 360 \times 10^3$
C-12	74 - 76	89 - 90	$300 - 346 \times 10^3$
C-13	69 - 72	86 - 87.5	$360 - 390 \times 10^3$
C-14	65 - 68	84 - 85.5	$365 - 395 \times 10^3$

4.2.1. DISEÑO DE TROQUELES DE WC PARA GRANDES PRODUCCIONES.

Un troquel de WC es en esencia similar en diseño a un troquel de acero de precisión de alta producción.

Sin embargo, hay varias consideraciones básicas que tienen una especial aplicación a los troqueles de WC:

1. Se espera que los troqueles de WC tengan una larga vida productiva.
2. Aunque el WC es muy resistente bajo compresión, tiene poca resistencia a los esfuerzos cortantes.
3. En los troqueles de WC, más que en los de acero, un buen diseño puede ahorrar muchas horas de maquinado.

A continuación se describirán las partes más importantes que componen un troquel típico de WC y las consideraciones que intervienen para su diseño.

a) Portatroquel.

Con el objeto de satisfacer los dos primeros puntos citados, un troquel de WC debe estar diseñado para tener máxima rigidez y alineamiento preciso.

El portatroquel deberá ser de construcción de precisión, con cuatro o más postes guía, dependiendo del tamaño del troquel.

De ser posible, deben usarse postes guía removibles para facilitar el reemplazo en caso de desgaste. Generalmente se localizan en la placa portapunzones para facilitar el reafilado del troquel. También se pueden colocar dos postes arriba y dos abajo, aunque ésto dificulta el reafilado. La Fig. 82 muestra ambas opciones.

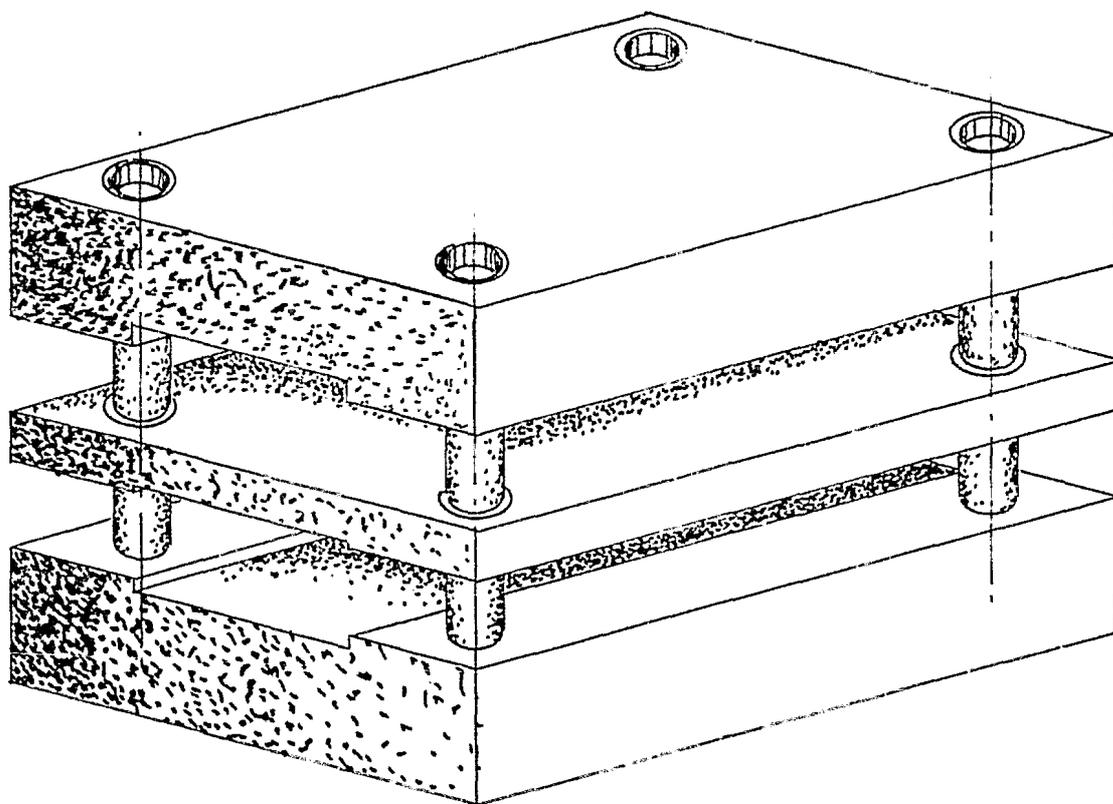


FIG. 80. PORTATROQUEL CON COTADOR CARGADO CON RESORTES, POSTES INTERCAMBIABLES Y BUJES EMBALADOS.

Los bujes pueden ser de acero templado, de bronce o del tipo embalado, como se ilustra en la Fig. 81.

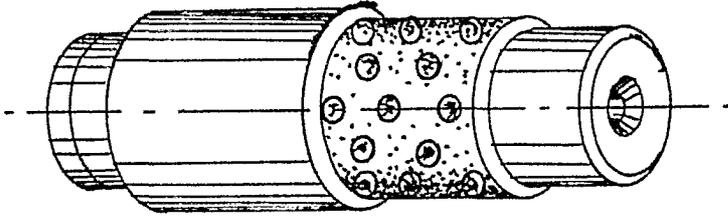


FIG. 83. SISTEMA DE POSTE Y BUJE EMBALADO.

B) Botador o Puente.

El diseño y construcción del botador es muy importante en un troquel de WC, pues es necesario eliminar cualquier posibilidad de choque entre punzones y matrices cuando ocurran errores de alimentación de la tira de material.

Para evitar ésto, el huelgo entre punzón y botador debe ser 50% menor que el que existe entre punzón y matriz.

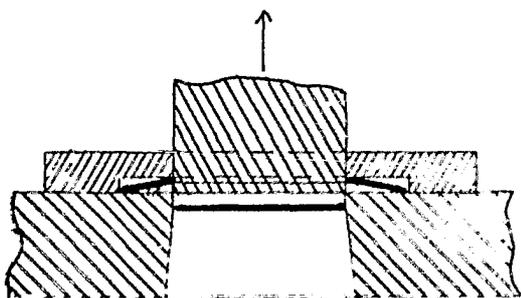
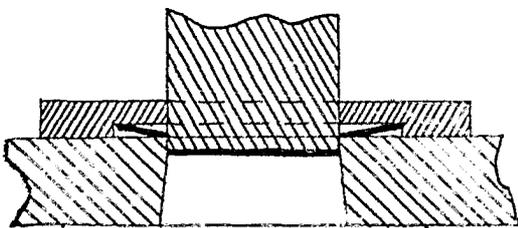
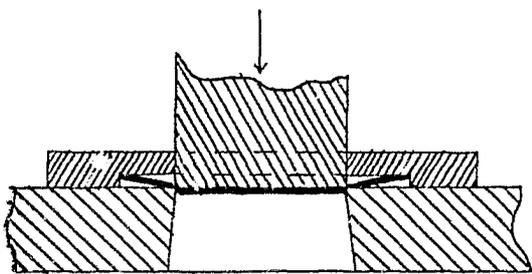
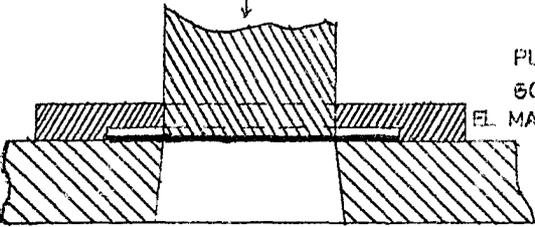
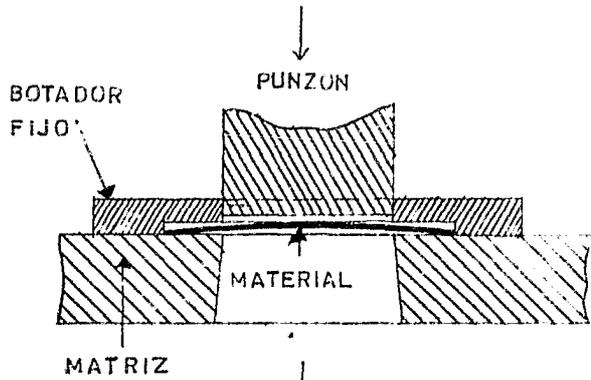
Los dos tipos de botadores que se emplean en los troqueles de WC son:
(Ver fig. 84).

- Botador cargado a base de resortes.
- Botador tipo puente fijo a la matriz.

Los puntos a favor del primero son los siguientes:

- Los punzones están apoyados durante la carrera completa de la prensa. Esto es bueno para troqueles en los cuales la longitud de la carrera de la prensa permitiría a los punzones llegar al ras de un botador tipo puente fijo a la matriz.
- Ya que el movimiento del botador es muy pequeño (en la mayoría de los casos menor de 1/8"), casi no hay desgaste de los punzones.

BOTADOR TIPO PUENTE



PUNZON JALA AL MATERIAL Y AL BOTADOR

1

COMIENZA CARRERA HACIA ABAJO

2

PUNZON GOLPEA EL MATERIAL BOTADOR PLANCHA AL MATERIAL

3

MATERIAL PARCIALMENTE CORTADO

4

FINAL DE LA CARRERA

5

CARRERA DE RETORNO

BOTADOR CARGADO CON RESOR

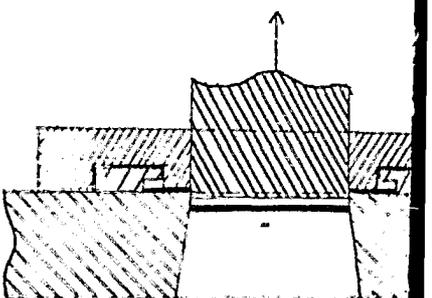
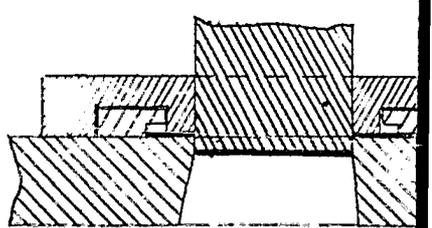
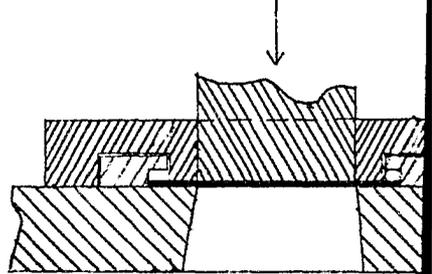
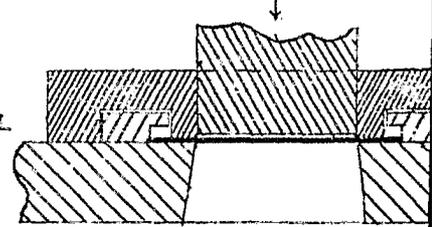
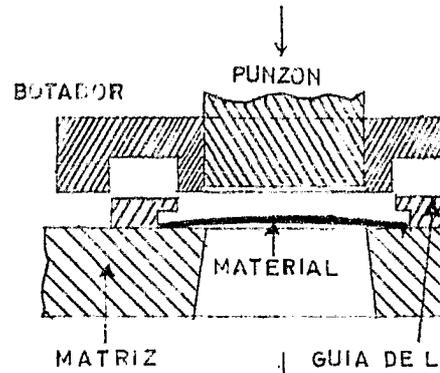


FIG. 84 SECUENCIA DE EVENTOS DURANTE EL TROQUELADO CON DOS TIPOS DISTINTOS DE BOTADORES.

- La superficie de la matriz está disponible para inspección ocular y remoción de objetos extraños al troquel.

Los puntos a favor del botador tipo puente fijo a la matriz se pueden resumir en los siguientes:

- El botador está localizado mediante guías a través de la matriz y no requiere de bujes guía, por lo que su mantenimiento es mínimo.
- Es fácil de quitar para propósitos de reafilado de punzones y matrices.
- Forma una cubierta protectora sobre la superficie de la matriz y elimina el peligro de rotura por efecto de resorteo del material.

Existe la posibilidad de fabricar troqueles de WC por secciones, por las ventajas que se presentan principalmente en el reemplazo de partes dañadas durante la operación.

Primeramente, los daños debido a errores de alimentación de la tira de material están aislados a una o dos secciones.

Asumiendo que las secciones de que se compone el troquel consta de partes pequeñas, siempre es posible contar con partes de refacción para ser utilizadas en caso de rotura o despostilladura de cualquiera que esté montada en el troquel, reduciendo los tiempos muertos en la operación.

En la mayoría de los casos, la localización o fijación de las secciones de punzones o matrices, se hace en piezas de acero templado y rectificado. Los componentes de WC están soportados lateralmente, evitando daños en un posible error de alimentación de la tira de material.

Para la sujeción de las secciones de WC se emplean placas de acero templado: éstas a su vez se localizan en cavidades perfectamente alineadas en el portatroquel, mediante tornillos y pernos pasadores.

Es aconsejable, aunque no absolutamente necesario, usar detectores de error en la alimentación de la tira de material, que frenen la carrera de la prensa en el momento en que ocurra. Estos detectores son activados por sondeo de los agujeros piloto en la tira alimentada, como se muestra en la Fig. 85.

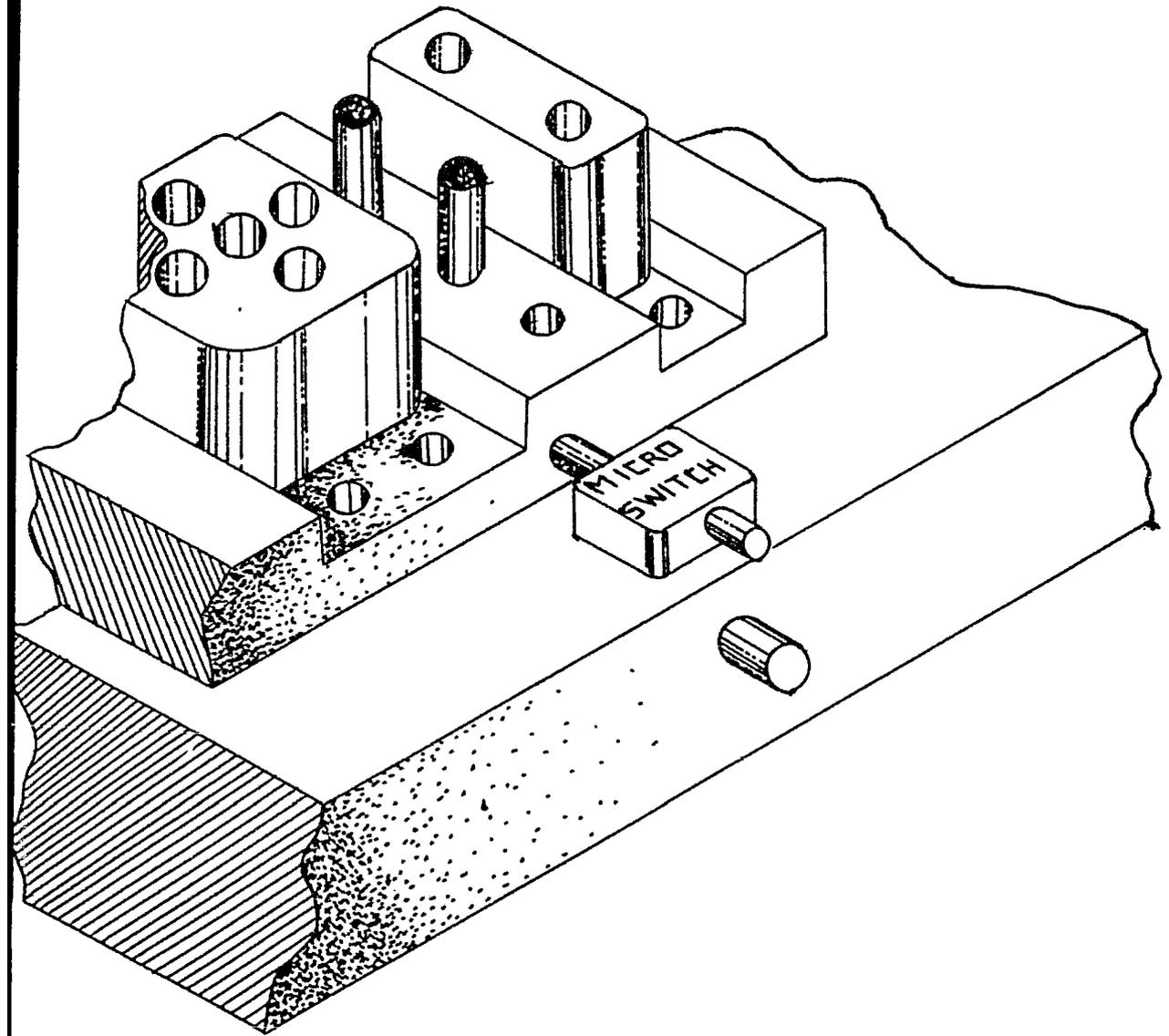


FIG. 85. DETECTOR DE ERROR EN LA ALIMENTACION
DE LA TIRA DE MATERIAL.

Después que el diseño del troquel ha sido terminado, revisado y aprobado, se envían al proveedor de carburo de tungsteno, copias de los planos para que procedan a su fabricación. Las piezas deben tener una sobremedida que varía de 0.62 mm a 1.5mm (de .025" a .060") para rectificado final, dependiendo del perfil de la pieza.

Para el rectificado de las partes de WC deben usarse ruedas de aglomerado de diamante o de carburo de solicio. Estas ruedas son muy costosas y por tanto, con tribuyen al alto costo de los troqueles de WC.

Debido a que resulta caro perfilar una rueda de diamante para rectificar un contorno complicado, es preferible perfilar dichos contornos en ruedas pequeñas.

Cuando se rectifica WC, es indispensable usar lubricante para evitar el calentamiento y mantener tanto la rueda como la pieza de trabajo limpias.

Para asegurar la intercambiabilidad y fácil reemplazo de los componentes para troqueles progresivos en el momento de rotura, todas las piezas se rectifican exactamente a las medidas determinadas en el diseño.

El ensamble de un troquel de WC es similar al ensamble de un troquel de precisión de acero, pero además deben seguirse las indicaciones que a continuación se mencionan:

- En todas las estaciones de ensamble y especialmente durante la prueba del troquel, debe tenerse cuidado para evitar que las piezas de WC — trabajen bajo esfuerzo cortante. Cuando los punzones penetren dentro del botador y de la matriz, la presión debe aplicarse suavemente.
- Si un inserto de WC va a ser sujetado por contracción dentro de un blo que de acero, la tolerancia para meterlo debe ser de 0.0125mm (.0005"), por lado.

La figura de la pieza al ser trabajada, también se ve afectada por el **lateral** de un eje de la máquina de herramienta.

En la práctica, se verifica en los troqueles de M., que al ser trabajados con un programa eficiente, se obtiene de calidad, en las distintas etapas de su fabricación, el tamaño y forma definidos.

1º. Inspección del material en bruto.- El material es chequeado en dimensiones, irregularidades superficiales y dureza en distintos puntos.

2º. Inspección de componentes durante cada fase del proceso de maquinado. La inspección es continua, pues cada componente es chequeado después de cada operación de maquinado.

3º. Inspección total del troquel.- Consiste generalmente de un chequeo punto por punto contra las especificaciones de las partes.

4º. Inspección de las piezas producidas.- Las primeras piezas pasan a través de pruebas para determinar su exactitud dimensional, concen- cidad de diámetros, planicidad y ausencia de rebabas.

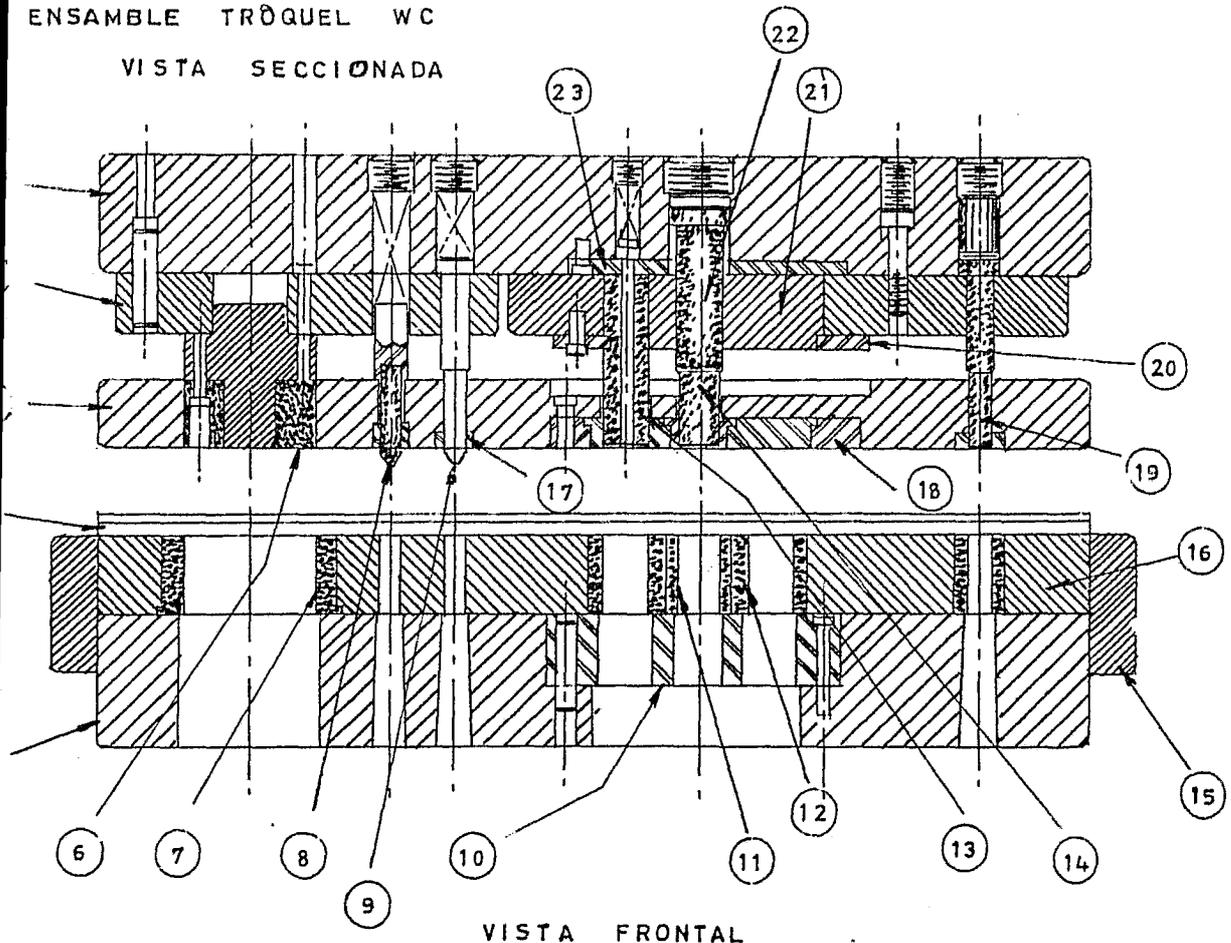
La instrumentación para alcanzar el objetivo de un buen programa de control de calidad consiste de:

- Probadores de dureza Rockwell.
- Comparadores ópticos.
- Micrómetros para interiores, exteriores, alturas, etc.
- Calibradores estándar, para radios, etc.

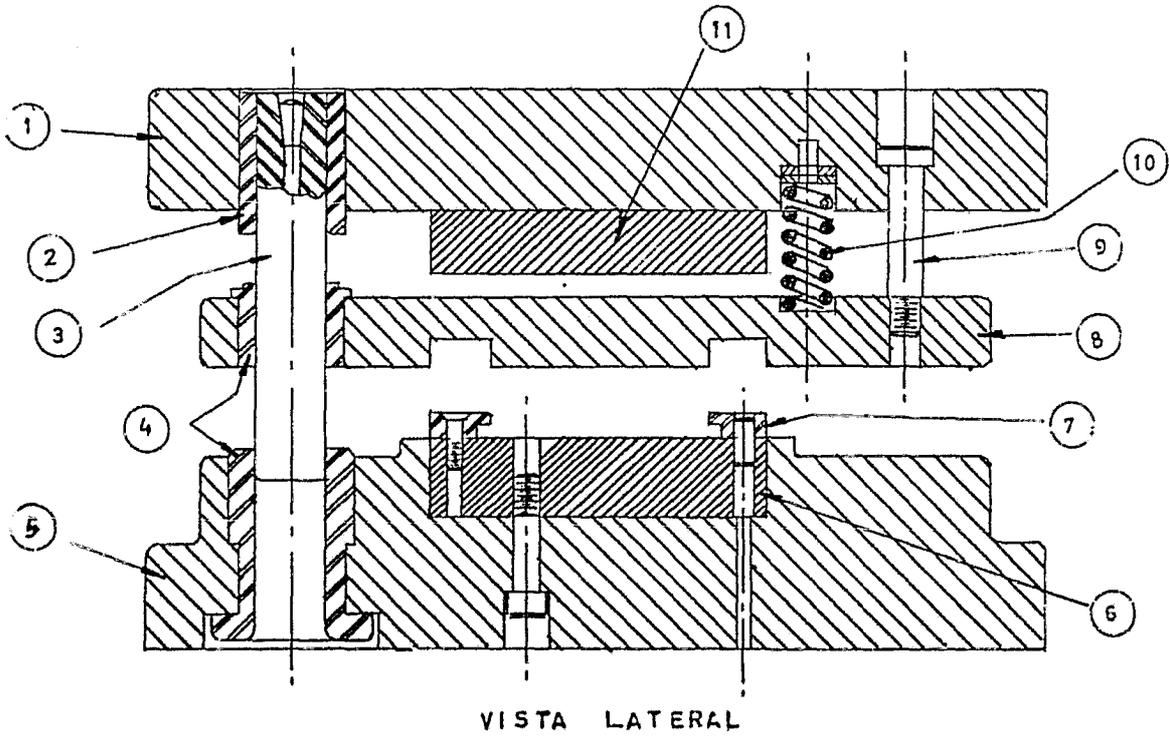
El más efectivo de todos ellos es el comparador óptico, pues con este se puede chequear visualmente y con gran exactitud contornos, dimensiones lineales y angulares con descensos que van muy por arriba de 100.

ENSAMBLE TRÓQUEL WC

VISTA SECCIONADA



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL

FIG. 65 ENSAMBLE DE UN TROQUEL DE WC.

VISTA FRONTAL.

1. Placa portapunzones.
2. Portapunzones.
3. Estante guiado, cargado con resortes.
4. Cufa de la tira de material.
5. Placa base.
6. Punzón de WC.
7. Matriz de WC.
8. Piloto de WC.
9. Piloto de acero.
10. Sufridera de acero.
11. Taza central de WC.
12. Secciones periféricas de WC.
13. Punzón perforado slot de WC.
14. Punzón perforado centro de WC.
15. Caja periférica.
16. Portatazas.
17. Guje guía.
18. Ara retén.
19. Punzón.
20. Ara retén.
21. Cuchillo, extrínsecos.
22. Punzón centro.
23. Sufridera de acero.

VISTA LATERAL.

1. Placa portapunzones.
2. Guje + eje guía y resorte.
3. Resorte guía.
4. Guje guía de bronce.
5. Placa base.

6. Portatazas.
7. Guía de la tira de material.
8. Botador guiado, cargado con resortes.
9. Tornillo guía.
10. Resorte del botador.
11. Portapunzones.

Debe prestarse especial atención a la lubricación de un troquel de WC, ya que su producción es aproximadamente 10 veces mayor que la de un troquel de acero, bajo condiciones normales.

Los lubricantes que sirven para troqueles de acero, no siempre serán los adecuados para los de WC. Un lubricante que no conserve sus cualidades a través — del tiempo en los postes guía y en los bujes guía, traerá como consecuencia daños al troquel.

A continuación se enumeran algunas recomendaciones para la lubricación de troqueles de WC.

- 1.- El lubricante debe aplicarse a intervalos regulares mediante graseras localizadas en lugares accesibles al operador en las plazas botadoras (bujes guía — del botador) y en la zapata portamatriz (bujes guía de los postes).
- 2.- Puede utilizarse aceite para motor de automóvil de buena calidad.
- 3.- Después del reafilado, el troquel debe limpiarse cuidadosamente para quitar — cualquier residuo extraño y debe relubricarse en todas sus partes con aceite y grasa nuevos.

En lo que respecta al material de trabajo, la lubricación adecuada puede incrementar la cantidad de piezas producidas por afilada, tanto como 3 veces.

El mantenimiento reportado para lograr esto, consiste en aplicar sobre la superficie que cubren los mandiles, una superficie que cubra toda la matriz.

Para obtener la mejor eficiencia en el funcionamiento de un troquel de WC, es importante atender a lo siguiente:

- 1.- Un aceite de corte mineral, como el Paragon No. 38, o equivalente, es lo más recomendable para tal propósito.
- 2.- Es bueno tener un sistema para aplicación del aceite de corte, ya sea por goteo o spray.
- 3.- Los aceites lubricantes con alto contenido de azufre o sustancias alcalinas (PH 9.5), deben evitarse, pues estos compuestos atacan al aglutinante cobalto del WC, dando como resultado un desgaste prematuro de las piezas del troquel.

4.3. ESTIRADO.

Se conoce como estirado al proceso de trabajo en frío de los metales, mediante el cual se logra la reducción de la sección transversal del material, haciéndolo pasar a través de una serie de accesorios diseñados para tal efecto.

Existen dos procesos para llevar a cabo el estirado de alambre:

1. Estirado simple.- En este proceso se coloca un rollo del material sobre un carrete o armazón, en cuyo extremo se le hace punta, de tal forma que pueda entrar en el dado o matriz. El extremo se sujeta con tenazas sobre un banco de estirar y se jala una longitud tal como la que pueda ser devanada en torno a un bloque o carrete estirador. Así en adelante, la rotación del bloque estira el alambre a través del dado y lo enrolla. Estas operaciones se repiten con bloques más pequeños hasta que el alambre es reducido a su tamaño final.
2. Estirado continuo.- En este proceso el alambre es pasado a través de una serie de dados y bloques dispuestos en serie. El número de dados se define de acuerdo a la liga se de metal o aleación que se vaya a procesar, variando de 4 a 12 revoluciones sucesivas.

Para los dos métodos descritos con anterioridad, la industria ha desarrollado estirado de alambre dentro de una amplia gama de maquinaria diseñada para tal propósito y destacan por su eficiencia y versatilidad las siguientes:

- 1) Máquinas para trefilar en caliente:

Se usan para diámetros pesados donde se requiere un alto rendimiento; existen con diferente número de dados y diferentes velocidades.

La reducción de la sección transversal del material proporcionada por el tamaño de la ranura es fija y éstas se hallan sumergidas en el interior de la caja que contiene el líquido lubricante.

La temperatura del líquido lubricante no debe incrementarse excesivamente su viscosidad; por este motivo es importante disponer de sistemas adecuados de enfriamiento.

II) Máquinas monoblock.

Se utilizan normalmente para dar al alambre reducciones fuertes, para lo cual tienen uno o dos dados. Las ranuras son verticales u horizontales. Las velocidades de estirado en general son bajas.

III) Máquinas múltiples para trofilado continuo.

Estas máquinas se usan para lograr la reducción total en una sola operación. Su principal característica es la de contar con trozos de control de velocidad, que son de fácil control en un amplio rango de velocidades, dando una gran flexibilidad en las aplicaciones que se les pueden dar.

Las máquinas para trofilado continuo pueden ser:

- a) Máquinas de doble tambor.- Su ventaja es en que el tambor superior genera durante el estirado del alambre.
- b) Máquinas de tambor simple desarrolladas para operar a velocidades de estirado, dando al alambre una longitud variable durante el trofilado, lo que no es de gran importancia.
- c) Máquinas de tambor simple cotinuas rectas. En estas máquinas el tambor superior tiene en un plano horizontal, y el inferior en un plano vertical. Se usan para trozos grandes y a bajas velocidades.

Para obtener resultados satisfactorios en el estirado de alambre es indispensable disponer de un buen lubricante.

La función del lubricante es la de depositar una película no metálica - entre el material a estirar y el dado. La película fluye juntamente con el alambre.

Los lubricantes pueden ser:

1. Jabones en polvo.
 - a) Solubles en agua.
 - b) No solubles en agua.
2. Compuestos grasos.
 - a) Con base de agua.
 - b) Con base de aceite.
3. Lubricantes líquidos.
 - a) Emulsiones en agua.
 - b) Emulsiones en aceite.

Los jabones en polvo solubles en agua se preparan por reacción entre la sosa cáustica y grasas o ácidos grasos.

Los jabones no solubles en agua son jabones metálicos de calcio, aluminio, zinc y plomo, siendo éstos los más comúnmente usados.

Es importante considerar el tamaño de grano adecuado en los jabones en polvo; para estirado de alambre de diámetro grande se emplean los lubricantes de grano grueso, para los de diámetro pequeño, es recomendable utilizar lubricantes de grano fino.

El tamaño de grano de los lubricantes en polvo se clasifica de acuerdo a la siguiente forma:

TIPO DE GRANO	PORCENTAJE RETENIDO POR UNA MALLA DEL No. 20
Muy grueso	más de 50
Grueso	41 a 50
Mediano	26 a 40
Fino	16 a 25
Extra fino	6 a 15
Extra extra fino	0 a 5

En los alambres muy delgados (.020" o menos) y en aquéllos que requieren un acabado brillante, es común estirarlos en húmedo; para eso se utilizan los lubricantes líquidos, consistentes en soluciones de jabones solubles o productos sintéticos en agua.

Para la aplicación de jabones en polvo, es importante mantener los depósitos con suficiente lubricante para que el alambre se impregne bien al pasar por dichos depósitos.

El elemento de mayor importancia en el estirado de alambre es el dado matriz. El dado consta de dos partes; la caja y el núcleo, como lo muestra la figura 87.

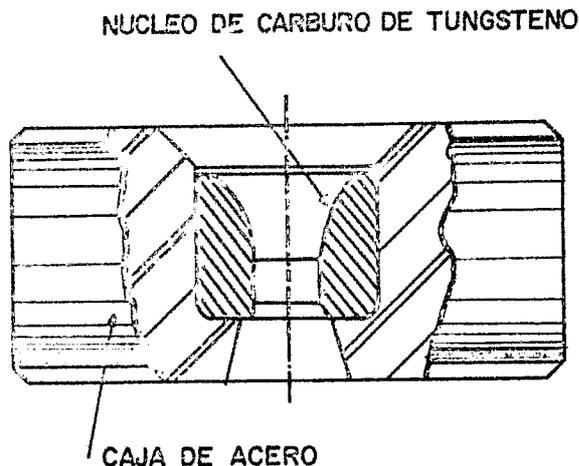


FIG. 67 DADO DE WC PARA ESTIRADO DE ALAMBRE.

La caja normalmente es de acero cold rolled y su función principal es la de proteger el núcleo.

El núcleo es de carburo de tungsteno y es el que efectúa la reducción del alambre de alambre. Por su constitución, el núcleo es de gran dureza y es muy frágil.

El montaje del núcleo en la caja es de gran importancia, ya que de no es bien ajustado en ella tendrá movimiento al iniciar y al interrumpir el estirado y producirá su fractura. De estar demasiado comprimido en la caja, tendrá esfuerzos adicionales a los de estirado, fracturándose también.

Para obtener una buena duración del dado es necesario el enfriamiento durante el estirado, pero además no exponerlo a choques térmicos que pudieran causar su fractura. Las propiedades del grado de WC empleadas en la fabricación del dado de estirado son: resistencia al desgaste, dureza y robustez.

El diseño del núcleo debe contemplar un buen flujo continuo de lubricante para facilitar el estirado. Las partes principales que forman la geometría de un dado típico de estirado, se presentan en la Fig. 38.

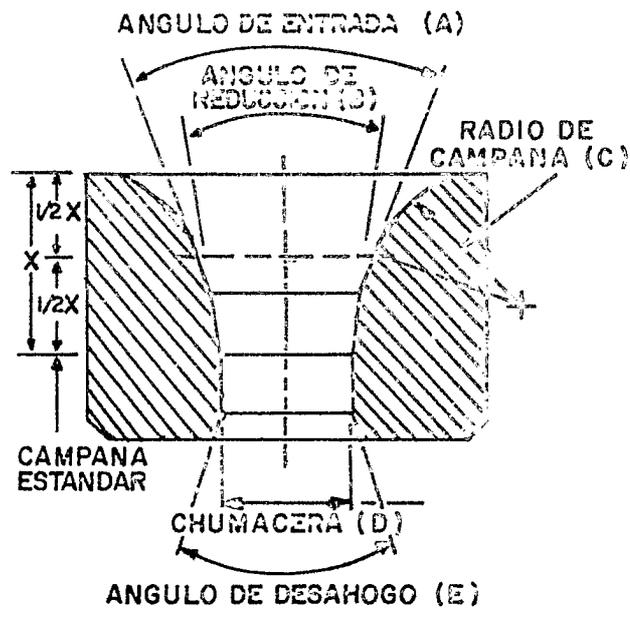


FIG. 38. GEOMETRIA DE UN DADO TIPO DE ESTIRADO.

El ángulo de entrada que depende del material y del lubricante en la parte reductora del dado; varía de 45° a 55° para el estirado de aceros de bajo carbono; de 40° a 45° para aceros de alta calidad, 35° para alambres de acero e latón y se titula por un radio que es igual a la distancia entre el punto de reducción, y el caso del dado para el estirado de tubos de acero, acero e latón.

El ángulo (B) constituye el ángulo reductor del dado y debe ser una gran fluencia sobre la fuerza real del material que se estira.

El radio de campana (C) sirve para guiar el material hacia el interior del dado, desde el punto de reducción.

La chumacera (D) es la zona donde el material es estirado a medida; su longitud depende de la medida y tipo de material que se va a estirar.

El ángulo de desahogo (E) está diseñado para dar salida al lubricante y rebabas; además, distribuye la presión cuando el material pasa por la chumacera. Para el estirado de alambre hasta 8.8 mm de diámetro, este ángulo es de 90° u para diámetros mayores es de 30° . Su altura está en función de la altura total del dado, siendo con frecuencia el 15% de dicha dimensión.

Durante la operación del dado, la chumacera sufre un desgaste normal cuando hay una buena lubricación, ocasionando la formación de un anillo.

Para la recuperación del dado, es necesario remover el anillo puliéndolo mediante abrasivos, como pasta de diamante y carburo de boro. Una vez desaparecido el anillo, se rectifican las demás partes para que el diámetro superior quede lo más próximo al anterior.

La Fig. 69 ilustra la aplicación de un dado de WC en combinación con un mandril, para el estirado de tubo.

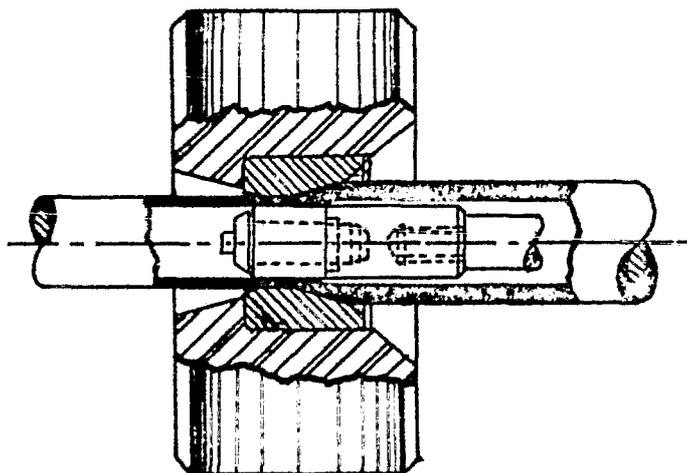


FIG. 69. DADO Y MANDRIL DE WC PARA ESTIRADO DE TUBO.

CAPITULO V.

COMPARACION ECONOMICA DE HERRAMENTACION CON
CARBURO DE TUNGSTENO CONTRA HERRAMENTACION
CONVENCIONAL.

5.1 JUSTIFICACION DE SU USO EN BASE AL FACTOR ECONOMICO.

Hasta ahora, no se conoce material de herramientas que pueda resistir por completo el contacto y el roce bajo condiciones que incluyen temperaturas elevadas, grandes presiones o fuerzas de impacto, sin sufragar cambios en su contorno original en un cierto período de tiempo. A esto se debe el desgaste que se presenta en cualquier herramienta de corte, con lo cual queda determinada su duración o vida útil.

Algunos de los factores que afectan la vida de una herramienta son:

- Tipo de operación realizada.
- Material y geometría de la herramienta.
- Material de la pieza de trabajo.
- Condición general de la máquina utilizada.
- Rigidez de la herramienta.
- Uso o carencia de líquidos refrigerantes.
- Velocidades, avances y profundidades de corte empleadas.

Todos ellos intervienen en el proceso de desgaste de la herramienta, pero son los tres últimos los que tienen mayor relevancia.

Siempre que se incremente el avance, la velocidad o la profundidad de corte, se gana en productividad pero se pierde algo de vida de la herramienta. En términos de maquinado, lo que interesa es remover el mayor volumen de material de la pieza de trabajo en el menor tiempo posible y esto puede alcanzarse incrementando algunos de los tres parámetros mencionados.

Experimentalmente se ha observado que la velocidad de corte tiene por mucho el efecto más pronunciado sobre la vida de una herramienta, ya que un incremento del 50% reducirá la vida en 90%; un aumento de 50% en el avance propiciará una reducción del 50% de la vida de la herramienta. La profundidad de corte es una función simultánea del avance; sin embargo, para una profundidad de 10 veces el valor del avance, un

incremento del 100% disminuye la duración de la herramienta tan sólo un 10%.

Estos hechos conducen a establecer las siguientes condiciones de maquinado: seleccionar la mayor profundidad de corte posible, luego el mayor avance y finalmente ajustar la velocidad de corte que dé una vida económicamente aceptable.

Lo que sea posible en cada caso depende de factores ajenos al inserto, como potencia de la máquina, cantidad de energía, avances y velocidades disponibles, rigidez de la pieza de trabajo, tolerancias en las dimensiones y acabado final requerido.

La velocidad de corte apropiada puede estimarse aproximadamente de la ecuación de duración de la herramienta de Taylor:

$$(1) \quad VT^n = K$$

donde

V es la velocidad de corte (ft/min)

T es la duración de la herramienta (min)

n es un exponente estable experimentalmente que depende del material de la herramienta y los parámetros de maquinado.

K es una constante que representa la velocidad de corte para un minuto de duración de la herramienta.

Se han desarrollado relaciones más extensas para calcular la velocidad de corte para una duración determinada de la herramienta en función de avance y profundidad de corte, como la propuesta por H.H. Grinivas del Warner & Swaccy Research Department:

$$(2) \quad V = K T^a F^b D^c$$

en la cual F es el avance (in/rev), D es la profundidad de corte (in), a y b son exponentes determinados experimentalmente.

Este investigador efectuó una serie de pruebas por medio de las cuales determiné los exponentes a y b de la ecuación (2), para 5 materiales de herramientas de corte distintos, al torneear acero 1045 (197 DIN) con insertos de forma cuadrada, con ángulo de ataque negativo, sujetos en un portainseros especialmente instrumentado.

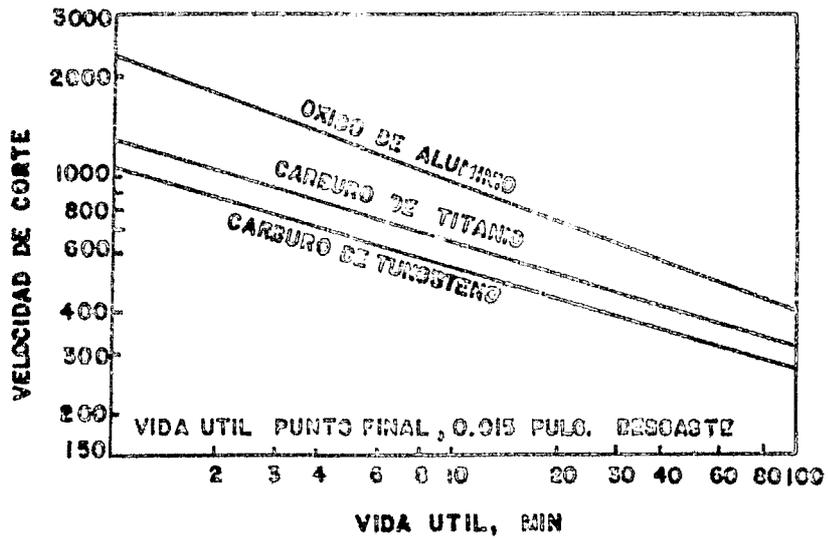
Se seleccionaron valores bajos, medios y altos para velocidad y avance y profundidad de corte, sin usar refrigerante. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

MATERIAL DEL INSERTO	EXONENTES PARA		
	DURACION (n)	AVANCE (a)	PROFUNDIDAD (b)
WC no recubierto	- 0.30	- 0.31	- 0.13
WC recubierto con TiC	- 0.27	- 0.43	- 0.15
TiC sólido	- 0.31	- 0.41	- 0.23
Nitruro de Níobio	- 0.39	- 0.40	- 0.17
Oxido de aluminio	- 0.38	- 0.48	- 0.12

Estos valores se usaron para trazar las curvas de vida de la herramienta en una gráfica del logaritmo de la duración contra el logaritmo de la velocidad de corte, como se ilustra en la fig. 90. Para esta gráfica, el avance fue de .005 pulgadas por revolución y la profundidad de corte de .200 pulgadas.

Los fabricantes de insertos de WC cuentan con tablas de soluciones precalculadas de vida de herramientas para diferentes valores de velocidad de corte, avances y profundidades aplicables a los distintos grados de WC; sin embargo, debe hacerse la aclaración de que los valores que aparecen en dichas tablas deben ser interpretados por el usuario antes de una aplicación particular.

FIG 90. CURVAS DE VIDA UTIL



NOTA:

MATERIAL	ACERO 1045 (197 Dhr)
INSERTO	SN0-432
PROFUNDIDAD DE CORTE	0.200 PULGADAS
AVANCE	0.025 PULG. POR REV.
REFRIGERANTE	SECO

SIMBOLOS EMPLEADOS EN ESTE CAPITULO.

a	Proximidad de la herramienta a la pieza, in
C	Costo total de maquinado, \$/pieza
Ca	Costo de cada esquina de un inserto por pieza, \$/pieza
Cc	Costo del inserto, \$
Cd	Depreciación de la herramienta por pieza, \$/pieza
Cp	Costo de venta de la herramienta, \$
Cw	Costo de la rueda abrasiva, \$
d	Profundidad de corte, in
D	Diámetro de la pieza de trabajo en torneado o de la herramienta en fresado y taladrado, in
e	Longitud extra que pasa el cortador a la pieza, in
Fr	Avance por revolución, in/rev
Ft	Avance por diente en fresado, in/diente
G	Costos de operación y gastos generales en la afiladora, \$
k ₁	No. de reafiladas antes de descartar la herramienta o No. de veces que se fija el inserto antes de descartar el portainseros.
k ₂	No. de veces que la herramienta es reafilada antes de soldar una nueva pastilla.
k ₃	No. de veces que el inserto es reafilado (o cambiada la esquina cortante) antes de ser descartado.
L	Longitud de la pieza de trabajo en torneado y fresado o suma de todos los agujeros del mismo diámetro en taladrado, in
M	Costos de operación y gastos generales de la máquina herramienta, \$
n	Exponente de la vida de herramienta de Taylor
Nb	No. de piezas producidas por pastilla soldada
NI	No. de piezas a producir por lote
Ns	No. de piezas producidas por reafilada
P	Taza de producción, piezas/hr
r	Retroceso rápido para empezar un nuevo corte, in/min

S	Velocidad de corte para 1 min de vida útil de la herramienta, ft/min
T _b	Tiempo para soldar una pastilla en su vástago, min
T _c	Tiempo de cambio de herramienta o tiempo para fijar insertos en cortadores, min
T _l	Tiempo para fijar y quitar la pieza de trabajo, min
T _m	Tiempo de operación de la máquina herramienta, min
T _c	Tiempo de operación de la máquina herramienta para su operación, min
T _s	Tiempo de reafilado, min/herramienta
T	Vida de la herramienta, min
u	No. de agujeros del mismo diámetro en la pieza de trabajo
V	Velocidad de corte, ft/min
w	Ancho de corte, in
W	Costo de la rueda abrasiva por herramienta reafilada, \$/pieza
Z	No. de dientes que tiene el cortador en fresado

$$(3) \quad C = M \left[\frac{T_m + T_o + T_c}{N_1} + \frac{T_c}{N_s} \right] + C_d + G \left[\frac{T_s}{N_s} + \frac{T_b}{N_b} \right] + C_a + W$$

Costo op. maq.
Depr.
Costo reafilado y reacond.

El primer término incluye el costo por mano de obra y gastos generales, - tiempo de instalación y tiempo por cambio de herramienta; el segundo término se refiere a la depreciación de la herramienta cortante, mientras que el tercero se compone del tiempo de reafilado, tiempo para soldar la pastilla al vástago y costo de la rueda abrasiva.

El costo de maquinado de una pieza es la suma de los tres términos mencionados anteriormente (los cuales incluyen tanto los componentes directos como los generales).

Graficando el costo total contra velocidad de maquinado, la curva resultante tendrá un valor mínimo, porque el costo de operación de la máquina disminuye considerablemente al incrementar la velocidad, a pesar de que los otros dos factores aumentan, pero en menor proporción. Lo anterior se ilustra en la fig. 91

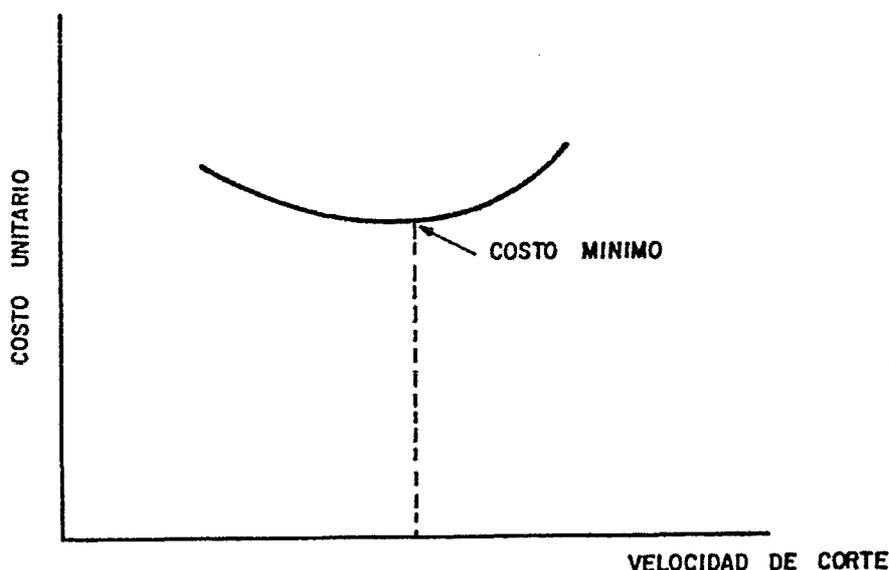


FIG. 91 Gráfica de costo unitario vs velocidad de corte

En otras palabras, si el herramental es utilizado a bajas velocidades de corte, el costo de producción unitario se eleva porque el costo por hora de trabajo y gastos generales se dividen entre muy pocas piezas producidas. Y si por el contrario, se trabajara a velocidades de corte muy elevadas, el costo de producción unitario se elevaría por el mayor consumo de herramientas de corte y más importante- el costo por el mayor tiempo muerto para cambiar el borde cortante.

La ecuación (3) puede desarrollarse para cada operación de maquinado en particular, como lo muestran las ecuaciones (4), (5) y (6):

(4) Torneado

$$C=M \left[\frac{DL}{3.82 FrV} + \frac{2aL}{r} + Tl + \frac{T_o}{Nl} + \frac{DL T_c}{3.82 FrVt} \right] + \frac{DL}{3.82 FrVT} \left[\frac{C_p}{(k_1 - 1)} + \frac{GT_s + GT_b + C}{k_2 k_3} \right]$$

(5) Fresado

$$C=M \left[\frac{D(aL)}{3.82 ZFtV} + \frac{2a+eH}{r} + Tl + \frac{T_c}{Nl} + \frac{LT_c}{ZTt} + \frac{L}{ZTt} \left[\frac{C_p}{(k_1 - 1)} + \frac{GT_s + GT_b + ZC_c + C_w}{k_2 k_3} \right] \right]$$

(6) Taladrado

$$C=M \left[\frac{DL}{3.82 FrV} + \frac{2ua+L}{r} + Tl + \frac{T_o}{Nl} + \frac{LT_c}{Tt} + \frac{L}{Tt} \left[\frac{C_p}{(k_1 - 1)} + GT_s \right] \right]$$

El costo en cada una de estas ecuaciones ha sido separado en 10 factores. Los primeros cinco están asociados al costo de operación de la máquina. Este costo se calcula multiplicando el factor de mano de obra y gastos generales (M, en peso por min) por el tiempo total requerido para producir una pieza, es decir, el tiempo de avance, tiempo para retroceder la herramienta y empezar un nuevo corte, tiempo para fijar y quitar la pieza, tiempo de instalación y tiempo para cambio de herramienta, todos ellos expresados en minutos.

Los últimos cinco factores se refieren a la herramienta cortante y constan en la depreciación de la herramienta, el costo por reafilado, el costo por soldar o colocar un nuevo inserto, el costo del inserto y el costo de la rueda abrasiva utilizada en el reafilado de la herramienta cortante.

Por otro lado, la tasa de producción puede calcularse en forma general, mediante la ecuación (7), dividiendo 60 entre el tiempo total de operación de la máquina.

(7)

$$P = \frac{60}{T_m + \frac{T_o}{N_l} + \frac{T_c}{N_s}}$$

Graficando la producción de piezas contra velocidad de corte, la curva resultante pasará por un valor máximo, como se ilustra en la Fig. 92.

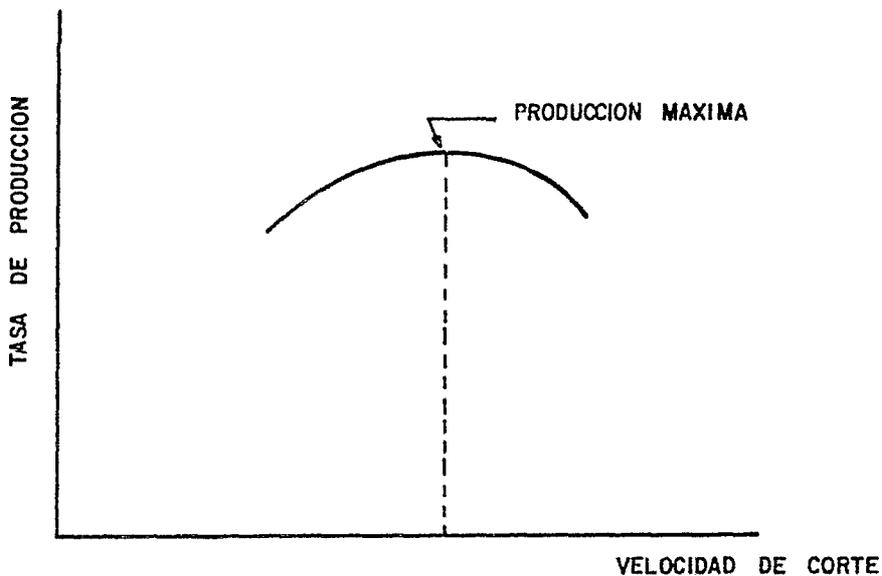


FIG. 92 Gráfico de tasa de producción vs velocidad de corte

En el rango de baja velocidad, es obvio que cualquier aumento en velocidad propiciará una mayor producción de piezas. Al final de la curva, la tasa de producción cae por el exceso en tiempo de cambio de herramienta.

Al igual que el costo de producción unitario, la tasa de producción puede desarrollarse para cada operación de maquinado particular, como se aprecia en las ecuaciones (8), (9) y (10):

(8) Torneado.

$$P = \frac{60}{\frac{DL}{3.82 FrV} + \frac{2a L}{r} + T_1 + \frac{T_0}{NI} + \frac{DL T_c}{3.82 Fr VT}}$$

(9) Fresado.

$$P = \frac{60}{\frac{D(e+L)}{3.82 FrV} + \frac{2a + e + L}{r} + T_1 + \frac{T_0}{NI} + \frac{LT_c}{XTt}}$$

(10) Taladrado.

$$P = \frac{60}{\frac{DL}{3.82 FrV} + \frac{2ua L}{r} + T_1 + \frac{T_0}{NI} + \frac{LT_c}{Tt}}$$

Los símbolos utilizados son los mismos que para las ecuaciones del costo de producción unitario.

El costo del inserto por filo cortante y el costo de mano de obra y gastos generales se pueden obtener fácilmente. El tiempo para cambio de herramienta puede medirse con un cronómetro siendo el tiempo suero total resultante de la necesidad de fijar el inserto y debe incluir cualquier tiempo para medición de las piezas y el ajuste de herramienta para estar dentro de tolerancias. Los demás tiempos y costos pueden obtenerse también fácilmente. El exponente de Taylor (n) se determina experimentalmente y típicamente estará entre 0.25 y 0.35 para AC no recubierto y 0.15 para cerámica, etc.

Las ecuaciones del costo de producción unitario y de la tasa de producción pueden minimizarse o maximizarse para obtener el costo mínimo y la producción máxima, respectivamente. Para hacerlo, es necesario emplear una relación matemática entre la velocidad de corte y la vida de la herramienta.

La expresión más común es la ecuación de Taylor. Esta ecuación es válida siempre que la gráfica del logaritmo de la vida de la herramienta contra el logaritmo de la velocidad de corte resulte una línea recta o aproximadamente recta.

En materiales y operaciones de maquinado en los cuales se cumpla la relación lineal, la ecuación de Taylor puede aplicarse a las ecuaciones del costo de producción unitario y a las ecuaciones de tasa de producción y diferenciándolas adecuadamente, se pueden derivar las ecuaciones para calcular la velocidad de corte para costo mínimo y tasa de producción máxima.

Las ecuaciones (11) y (12) son las correspondientes a torneado y en forma similar pueden derivarse para las demás operaciones de maquinado.

$$(11) \quad v_{\text{costo min}} = \left[\frac{Mn}{(1-n) \left(\frac{MTc}{k_1} + \frac{Cp}{l} + \frac{GTs}{k_2} + \frac{GTb}{k_3} + \frac{Cc}{k_3} + Cw \right)} \right]^{\frac{1}{n}} \text{ 's}$$

$$(12) \quad v_{\text{prod. max}} = \left[\frac{1}{\left(\frac{1}{n} - 1 \right) Tc} \right]^{\frac{1}{n}} \text{ 's}$$

Esta exposición algo académica nos conduce al concepto de alta eficiencia de maquinado (Hi-E). El concepto establece que hay un rango de volumen de remoción de metal económicamente justificable (el rango Hi-E) que cae entre el punto de costo mínimo y el punto de máxima producción, como se indica en el Fig. 93. En general, la —

velocidad de corte para costo mínimo y máxima producción no tienen el mismo valor por tanto, para obtener una buena eficiencia de maquinado es conveniente seleccionar las RPM que caigan entre estos dos valores.

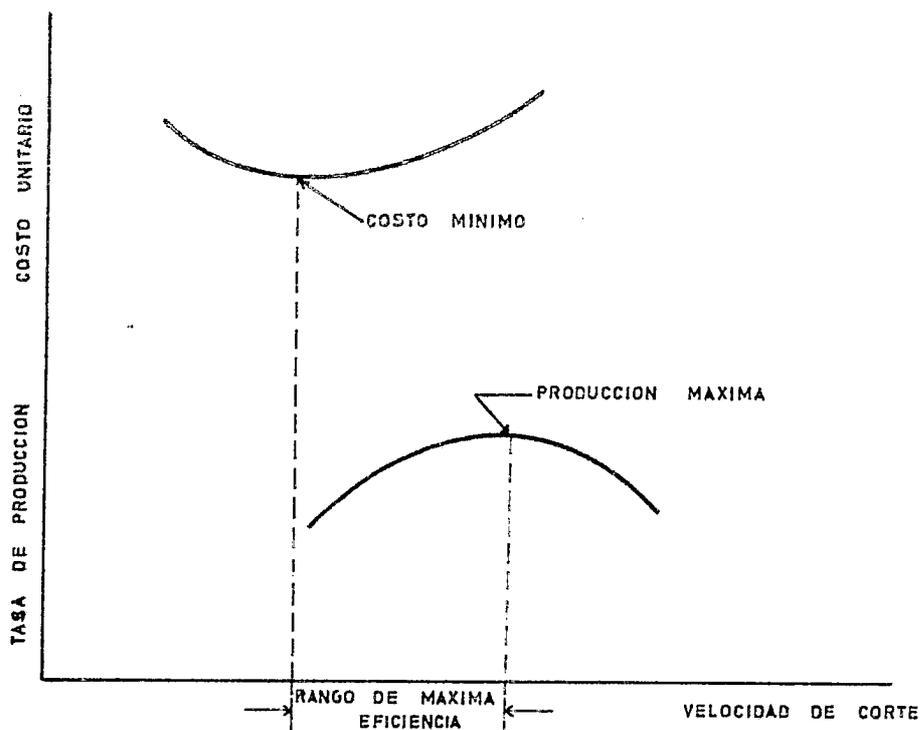


FIG.93 Gráfica que muestra el rango de máxima eficiencia de maquinado.

A continuación se presenta un ejemplo que muestra la aplicación de las ecuaciones para el cálculo del costo unitario y la tasa de producción en torneado.

La operación consiste en torneear una barra de 4" de diámetro, de tres clases de acero con diferente dureza, con una longitud de corte de 10", utilizando tres herramientas distintas: (1) buril de acero rápido, (2) buril con pastilla de WC cerámica y (3) herramienta con inserto intercambiable de WC. Los parámetros de maquinado así como los costos correspondientes al presente ejemplo, se enlistan a continuación.

DESCRIPCION	HERR. PAST. SOLD.	HERR. INSERTO INTERC.	BURIL ACERO RAPIDO
a - Proximidad de la herramienta, in	1.0	1.0	1.0
Cc - Costo del inserto, \$	85.00	222.00	---
Cp - Costo de la herramienta, \$	196.00	1 492.00	153.40
Cw - Costo del esmeril por reafilado, \$	1.91	---	1.68
d - Profundidad de corte, in	.1	.1	.06
D - Diámetro a tornear, in	4.0	4.0	4.0
Fr - Avance, in/rev	.01	.01	.009
G - Costos de operación afiladora, \$/min	4.33	---	4.33
K ₁ - No. de reafilados antes de descartar la herramienta o No. de veces que se fija un inserto antes de descartar el portainsertos	12	2 000	36
K ₂ - No. de reafilados antes de soldar una nueva pastilla	6	---	---
K ₃ - No. de veces que el inserto cambia de filo antes de ser descartado	6	8	---
L - Longitud de la pieza, in	10.0	10.0	10.0
M - Costos de operación y generales del torno, \$/min	4.33	4.33	4.33
NI - No. de piezas del lote	25	25	25
r - Retroceso rápido, in-min	100.0	100.0	100.0
Tb - Tiempo para soldar una pastilla nueva en su vástago, min	15	---	---
Tc - Tiempo de cambio de herramienta o para fijar un inserto, min	3	.5	3
Tl - Tiempo para fijar y quitar la pieza de trabajo, min	2	2	2
Tc - Tiempo de preparación del torno para operar, min	15	15	15
Ts - Tiempo de reafilado de la herramienta, min	10	---	12

La siguiente tabla contiene los datos relativos a la vida de la herramienta para diferentes velocidades de corte:

MAT PZA.	DUREZA BRINELL	MAT. HER.	BR°	GEOMETRIA HERRAMIENTA			RADIO NARIZ	PROF. CORTE	AVANCE	VIDA VEL.	HER. CORTE	MIN.		
				SR°	SCEA°	ECEA°						REL°	FT/MIN.	
3140	190	HSS	0	15	0	5	5	.005	.060	.009	15 140	30 130	45 126	60 123
3140	190	C-6	0	6	0	6	6	.040	.100	.010	15 605	30 485	45 415	60 360
3140	295	HSS	0	15	0	5	5	.005	.060	.009	15 109	30 106	45 105	
3140	295	C-6	0	6	0	6	6	.040	.100	.010	5 530	15 385	30 305	
A.I.	352	HSS	0	15	0	5	5	.020	.060	.009	15 85	30 73	45 67	50 65
A.I.	352	C-6	-5	-5	15	15	5	.032	.100	.010	10 320	15 290	30 260	40 240

Los datos están basados en las pruebas efectuadas por Michael Field y Norman Zlatin de Metcut Research - Associates Inc. Para mejor identificación, han sido numerados del 1 al 11 para herramienta de acero rápido y del 12 al 22 para herramienta de WC y están graficados en las figuras 94 y 95.

Fig. 94 Gráfica de vida de la herramienta vs velocidad de corte para acero rápido

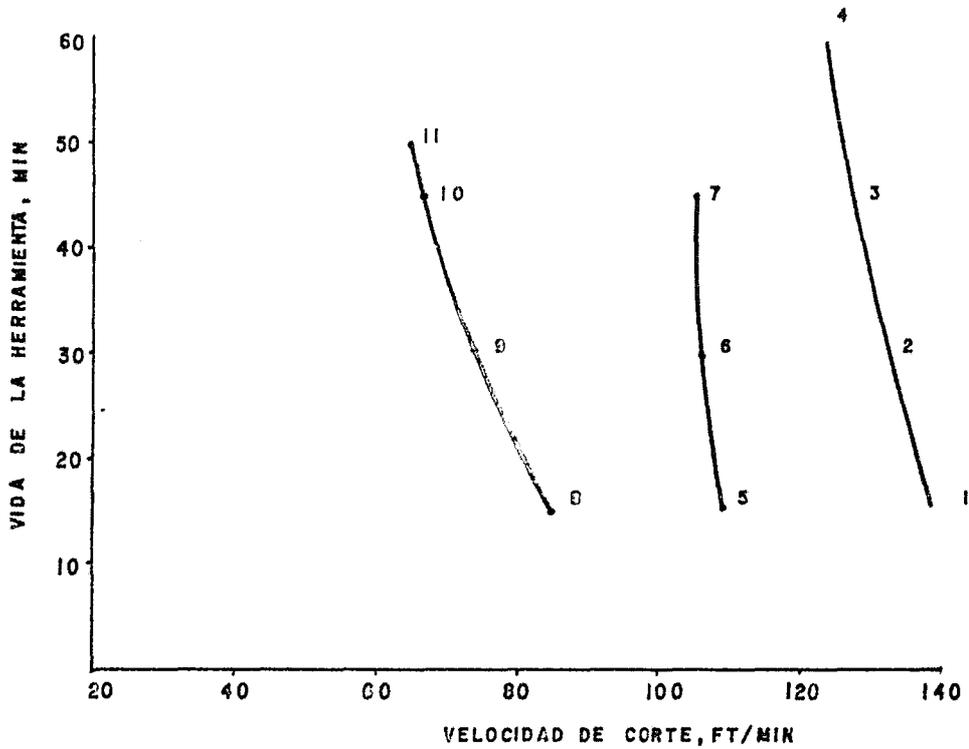
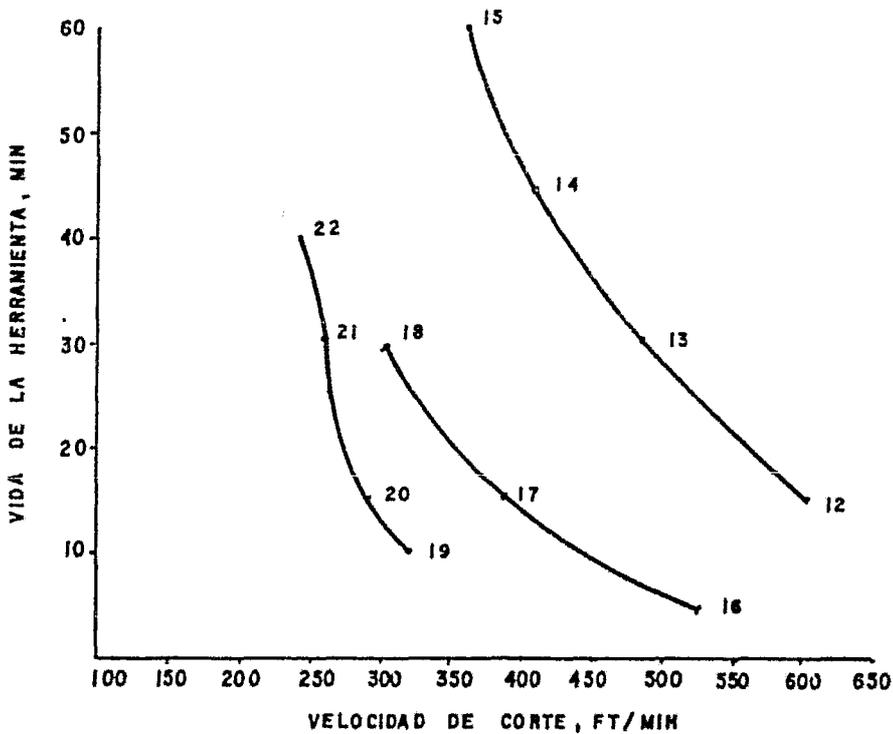


Fig. 95 Gráfica de vida de la herramienta vs velocidad de corte para WC.



Hay que hacer notar la gran diferencia que existe en las velocidades de corte empleadas para acero rápido y WC para una vida de herramienta dada, ya que una de las principales características del WC es conservar sus propiedades aún a velocidades de corte y temperaturas elevadas.

Mediante las ecuaciones 4 y 7 pueden calcularse el costo unitario y la tasa de producción, respectivamente. Los resultados así obtenidos se anotan en las siguientes tablas, en las cuales se muestran todos los factores que incurren en el costo unitario y la tasa de producción, para cada uno de los casos de este ejemplo.

La notación empleada es:

- Mat. Pza. - Material de la pieza de trabajo.
- NBD - Número Brinell de dureza del material de la pieza de trabajo.
- Mat. Her.-Material de la herramienta cortante.
- V - Velocidad de corte.
- T - Vida de la herramienta de corte.
- C.A. - Costo debido al movimiento de avance.
- R.R. - Costo debido al retorno rápido para comenzar un nuevo corte.
- F.Q. - Costo por fijar y quitar la pieza de trabajo.
- INST. - Costo de instalación y preparación del torno.
- C.H. - Costo por cambio de la herramienta de corte.
- D.H. - Depreciación de la herramienta de corte.
- R.H. - Costo por reafilado de la herramienta de corte.
- R.A. - Costo de la rueda abrasiva por cada afilado de la herramienta cortante.
- SOLD. - Costo por soldar una nueva pastilla de WC en su vástago.
- ESQ. - Costo por esquina cortante.
- C.I. - Costo del inserto de WC.
- C - Costo unitario de producción.
- P - Tasa de producción.
- A.I. - Acero inoxidable.
- HSS - Acero rápido.

Las figuras 96, 97 y 98 representan las curvas que resultan de graficar el costo unitario y la tasa de producción contra la velocidad de corte.

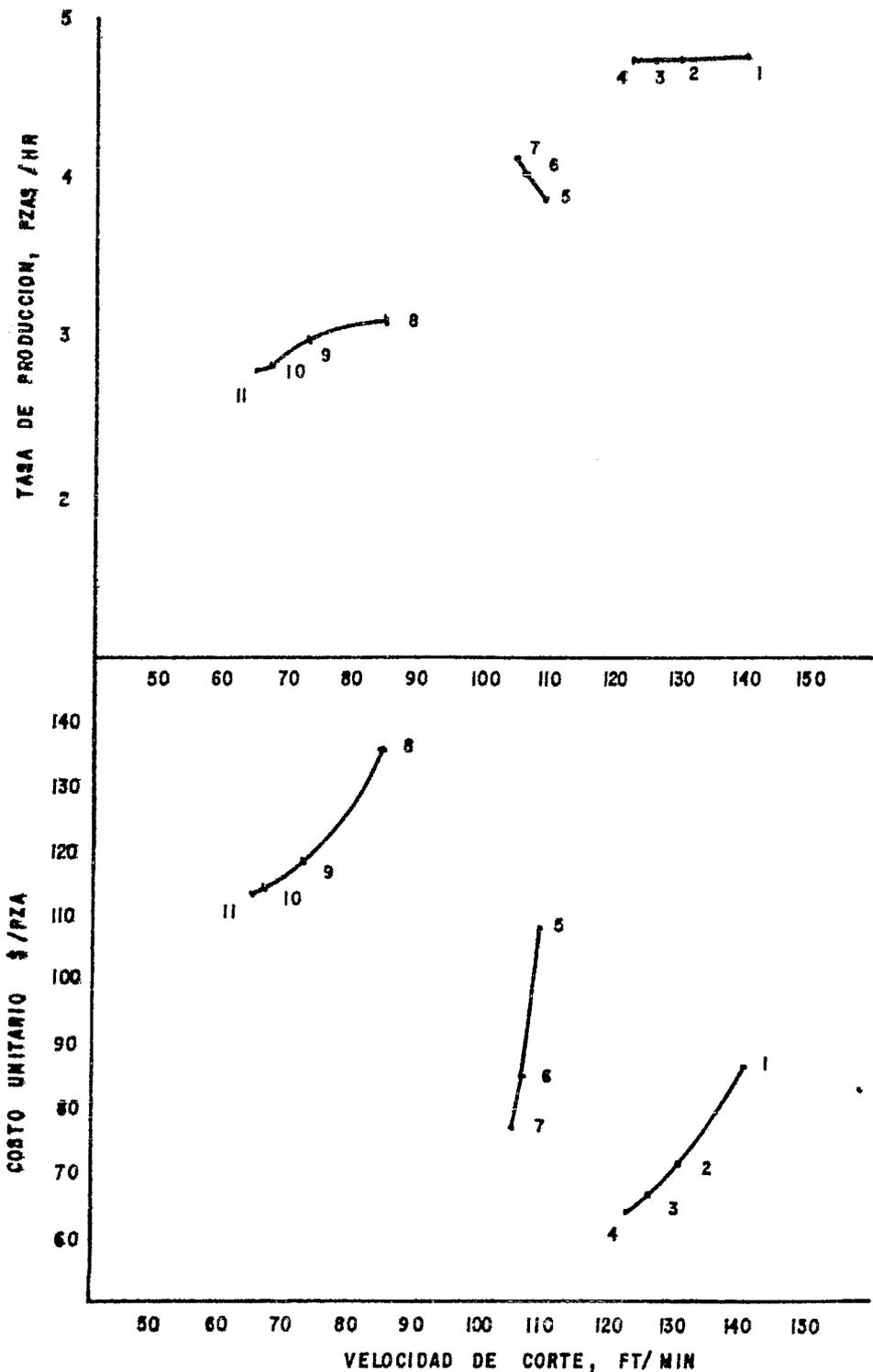


Fig. 96 Gráfica de costo unitario y tasa de producción vs velocidad de corte para herramienta de acero rápido.

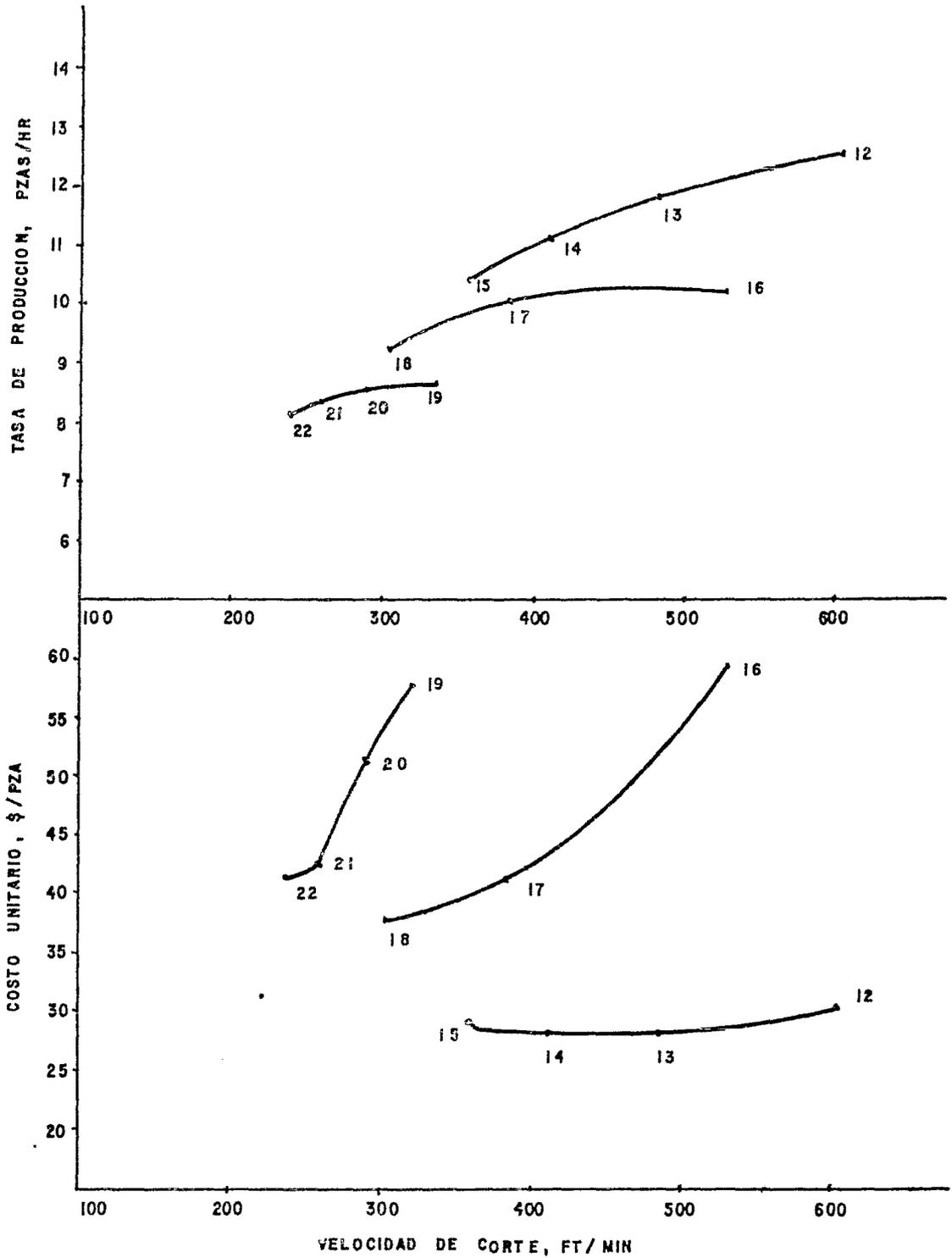


Fig. 97 Gráfica de costo unitario y tasa de producción vs velocidad de corte para herramienta de pastilla de WC soldada.

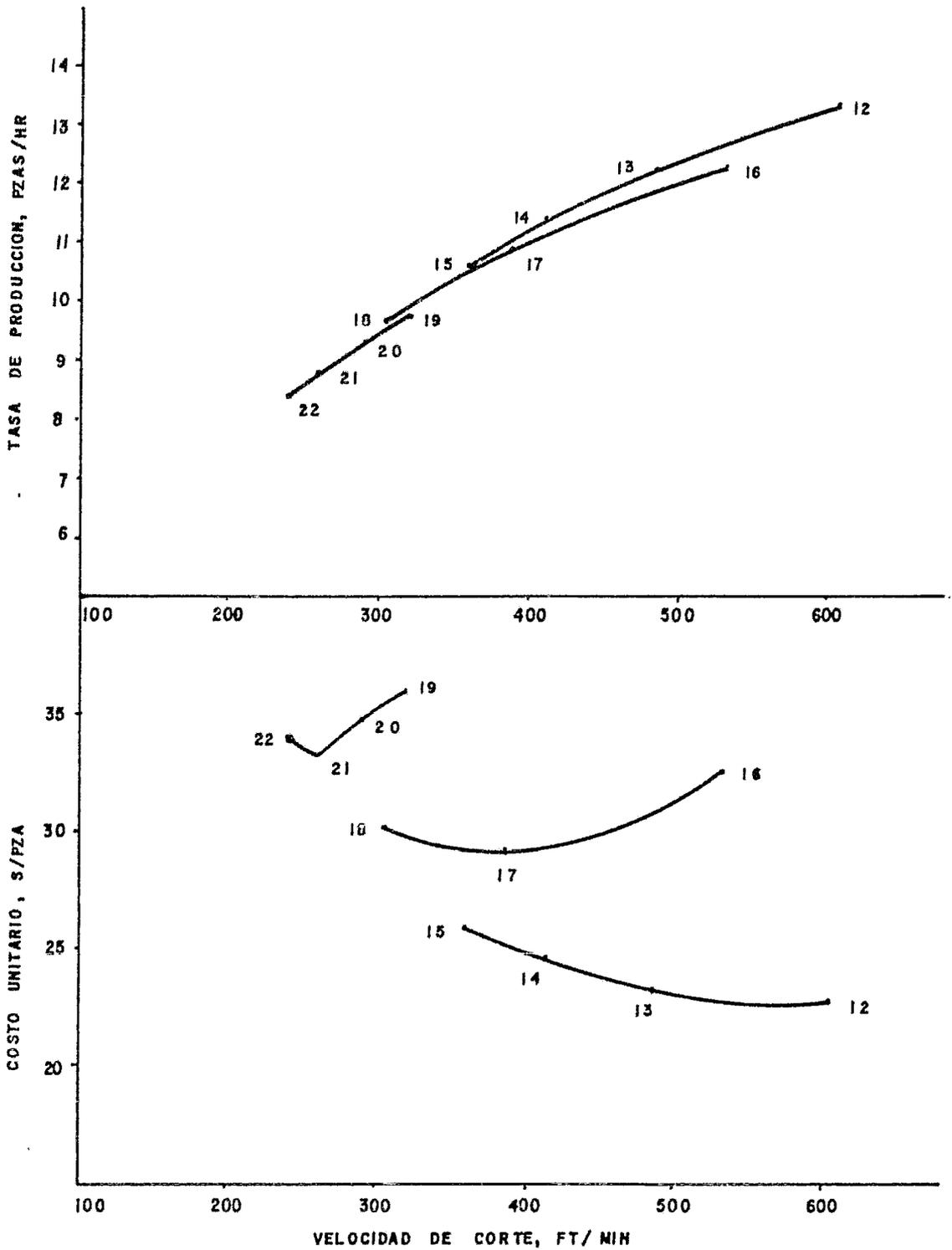


Fig. 98 Gráfica de costo unitario y tasa de producción vs velocidad de corte para herramienta de inserto intercambiable de WC.

Las gráficas muestran claramente que el costo unitario se eleva considerablemente al aumentar la dureza del material de la pieza de trabajo y por el contrario, la tasa de producción disminuye, porque mientras mayor es la dureza del material de la pieza de trabajo, las fuerzas de corte y la temperatura aumentan y el desgaste de la herramienta se acelera rápidamente.

Por tanto, para conservar la vida de la herramienta, es necesario disminuir la velocidad de corte. Esto trae por consecuencia dos cosas: primero, un incremento en el costo por avance, el costo por reafilado y el costo por cambio de herramienta; por consiguiente, el costo unitario se incrementa. Segundo, una menor producción de piezas, porque el avance es más lento y por el mayor tiempo muerto para reafilado y cambio de herramienta.

Con herramienta de acero rápido, las gráficas de costo unitario muestran que el costo mínimo corresponde a las velocidades de corte más bajas y que un pequeño incremento en la velocidad produce un incremento considerable del costo y beneficia muy poco la producción de piezas. Esto sugiere que para acero rápido es más conveniente trabajar a velocidades de corte bajas, para "hacer durar el filo" y alargar el período de vida de la herramienta entre dos afilados sucesivos.

En el caso de la herramienta de pastilla de WC soldada, para acero 3140 con una dureza Brinell de 190, el costo unitario es prácticamente constante y la tasa de producción tiene la tendencia de seguir aumentando a velocidades altas.

Sin embargo, para acero 3140 con dureza de 295 y acero inoxidable de dureza 352, el costo unitario se eleva rápidamente al incrementar la velocidad de corte, mientras que la tasa de producción parece disminuir más allá de la máxima velocidad.

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE ACERO RAPIDO.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat Her.	V. Ft./Min.	T. min.	C.A. \$	R.E. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. * \$	D.H. \$	R.H. \$	R.A. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
1	3140	190	HSS	140	15	35.98	.52	8.66	2.60	7.19	2.29	28.78	.93	86.95	4.72
2	3140	190	HSS	130	30	38.75	.52	8.66	2.60	3.97	1.23	15.50	.50	71.63	4.77
3	3140	190	HSS	126	45	39.98	.52	8.66	2.60	2.66	.85	10.66	.34	66.27	4.77
4	3140	190	HSS	123	60	40.95	.52	8.66	2.60	2.64	.65	8.19	.26	63.87	4.74
5	3140	295	HSS	109	15	46.21	.52	8.66	2.60	9.24	2.95	36.97	1.19	108.34	3.86
6	3140	295	HSS	106	30	47.52	.52	8.66	2.60	4.75	1.51	19.01	.61	85.12	4.05
7	3140	295	HSS	105	45	47.97	.52	8.66	2.60	3.19	1.02	12.79	.41	77.16	4.13
8	A.I.	352	HSS	85	15	59.26	.52	8.66	2.60	11.85	3.78	47.41	1.53	135.61	3.13
9	A.I.	352	HSS	73	30	69.01	.52	8.66	2.60	6.90	2.20	27.60	.89	118.38	2.96
10	A.I.	352	HSS	67	45	75.19	.52	8.66	2.60	5.01	1.60	20.05	.65	114.28	2.82
11	A.I.	352	HSS	65	50	77.50	.52	8.66	2.60	3.87	1.48	18.60	.60	113.83	2.79

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE ACERO RAPIDO.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat Her.	V. Ft./Min.	T. min.	C.A. \$	R.F. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. \$	D.H. \$	P.H. \$	R.A. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
1	3140	190	HSS	140	15	35.98	.52	8.66	2.60	7.19	2.29	28.78	.93	86.95	4.72
2	3140	190	HSS	130	30	38.75	.52	8.66	2.60	3.87	1.23	15.50	.50	71.63	4.77
3	3140	190	HSS	126	45	39.98	.52	8.66	2.60	2.66	.85	10.66	.34	66.27	4.77
4	3140	190	HSS	123	60	40.95	.52	8.66	2.60	2.04	.65	8.19	.26	63.87	4.74
5	3140	295	HSS	109	15	46.21	.52	8.66	2.60	9.24	2.95	36.97	1.19	108.34	3.86
6	3140	295	HSS	106	30	47.52	.52	8.66	2.60	4.75	1.51	19.01	.61	85.18	4.05
7	3140	295	HSS	105	45	47.97	.52	8.66	2.60	3.19	1.02	12.79	.41	77.16	4.13
8	A.I.	352	HSS	85	15	51.26	.52	8.66	2.60	11.85	3.78	47.41	1.53	135.61	3.13
9	A.I.	352	HSS	73	30	63.01	.52	8.66	2.60	6.90	2.20	27.60	.89	118.38	2.96
10	A.I.	352	HSS	67	45	75.19	.52	8.66	2.60	5.01	1.60	20.05	.65	114.28	2.82
11	A.I.	352	HSS	65	50	77.50	.52	8.66	2.60	3.87	1.48	18.60	.60	113.83	2.79

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE INSERTO INTERCAMBIABLE.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat. Her.	V. Ft./min.	T. min.	C.A. \$	R.A. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. \$	D.H. \$	C.I. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
12	3140	190	C-6	605	15	7.50	.52	8.66	2.60	.25	.08	3.20	22.81	13.30
13	3140	190	C-6	485	30	9.35	.52	8.66	2.60	.15	.05	2.00	23.33	12.21
14	3140	190	C-6	415	45	10.92	.52	8.66	2.60	.12	.04	1.55	24.41	11.38
15	3140	190	C-6	360	60	12.59	.52	8.66	2.60	.10	.03	1.34	25.64	10.62
16	3140	295	C-6	530	5	8.55	.52	8.66	2.60	.85	.29	10.96	32.43	12.27
17	3140	295	C-6	385	15	11.77	.52	8.66	2.60	.39	.13	5.03	29.10	10.87
18	3140	295	C-6	305	30	14.86	.52	8.66	2.60	.24	.08	3.17	30.13	9.67
19	A.I.	352	C-6	320	10	14.16	.52	8.66	2.60	.70	.24	9.07	35.95	9.75
20	A.I.	352	C-6	290	15	15.63	.52	8.66	2.60	.52	.16	6.67	34.76	3.30
21	A.I.	352	C-6	260	30	17.43	.52	8.66	2.60	.29	.10	3.72	33.32	8.81
22	A.I.	352	C-6	240	40	18.89	.52	8.66	2.60	.23	.08	3.02	34.00	8.41

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE ACERO RAPIDO.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat Her.	V. Ft./Min.	T. min.	C.A. \$	R.R. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. \$	D.H. \$	R.H. \$	F.A. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
1	3140	190	HSS	140	15	35.98	.52	8.66	2.60	7.19	2.29	28.78	.93	86.95	4.72
2	3140	190	HSS	130	30	38.75	.52	8.66	2.60	3.87	1.23	15.50	.50	71.63	4.77
3	3140	190	HSS	126	45	39.98	.52	8.66	2.60	2.66	.85	10.66	.34	66.27	4.77
4	3140	190	HSS	123	60	40.95	.52	8.66	2.60	2.04	.65	8.19	.26	63.87	4.74
5	3140	295	HSS	109	15	46.21	.52	8.66	2.60	9.24	2.95	36.97	1.19	108.34	3.86
6	3140	295	HSS	106	30	47.52	.52	8.66	2.60	4.75	1.51	19.01	.61	85.18	4.05
7	3140	295	HSS	105	45	47.97	.52	8.66	2.60	3.19	1.02	12.79	.41	77.16	4.13
8	A.I.	352	HSS	85	15	59.26	.52	8.66	2.60	11.85	3.78	47.41	1.53	135.61	3.13
9	A.I.	352	HSS	73	30	69.01	.52	8.66	2.60	6.90	2.20	27.60	.89	118.38	2.96
10	A.I.	352	HSS	67	45	75.19	.52	8.66	2.60	5.01	1.60	20.05	.65	114.28	2.82
11	A.I.	352	HSS	65	50	77.50	.52	8.66	2.60	3.87	1.48	18.60	.60	113.83	2.79

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE INSERTO INTERCAMBIABLE.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat. Her.	V. Ft./min.	T. min.	C.A. \$	R.A. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. \$	D.H. \$	C.I. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
12	3140	190	C-6	605	15	7.50	.52	8.66	2.60	.25	.08	3.20	22.81	13.30
13	3140	190	C-6	485	30	9.35	.52	8.66	2.60	.15	.05	2.00	23.33	12.21
14	3140	190	C-6	415	45	10.92	.52	8.66	2.60	.12	.04	1.55	24.41	11.38
15	3140	190	C-6	360	60	12.59	.52	8.66	2.60	.10	.03	1.34	25.84	10.62
16	3140	295	C-6	530	5	8.55	.52	8.66	2.60	.85	.29	10.96	32.43	12.27
17	3140	295	C-6	385	15	11.77	.52	8.66	2.60	.39	.13	5.03	29.10	10.87
18	3140	295	C-6	305	30	14.86	.52	8.66	2.60	.24	.08	3.17	30.13	9.67
19	A.I.	352	C-6	320	10	14.16	.52	8.66	2.60	.70	.24	9.07	35.95	9.75
20	A.I.	352	C-6	290	15	15.63	.52	8.66	2.60	.52	.16	6.67	34.76	9.30
21	A.I.	352	C-6	260	30	17.43	.52	8.66	2.60	.29	.10	3.72	33.32	8.81
22	A.I.	352	C-6	240	40	18.89	.52	8.66	2.60	.23	.08	3.02	34.00	8.41

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE INSERTO INTERCAMBIABLE.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat. Her.	V. Ft./min.	T. min.	C.A. \$	R.A. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. \$	D.H. \$	C.I. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
12	3140	190	C-6	605	15	7.50	.52	8.66	2.60	.25	.08	3.20	22.81	13.30
13	3140	190	C-6	485	30	9.35	.52	8.66	2.60	.15	.05	2.00	23.33	12.21
14	3140	190	C-6	415	45	10.92	.52	8.66	2.60	.12	.04	1.55	24.41	11.38
15	3140	190	C-6	360	60	12.59	.52	8.66	2.60	.10	.03	1.34	25.64	10.62
16	3140	295	C-6	530	5	8.55	.52	8.66	2.60	.85	.29	10.96	32.43	12.27
17	3140	295	C-6	385	15	11.77	.52	8.66	2.60	.39	.13	5.03	29.10	10.87
18	3140	295	C-6	305	30	14.86	.52	8.66	2.60	.24	.08	3.17	30.13	9.67
19	A.I.	352	C-6	320	10	14.16	.52	8.66	2.60	.70	.24	9.07	35.95	9.75
20	A.I.	352	C-6	290	15	15.63	.52	8.66	2.60	.52	.16	6.67	34.76	3.30
21	A.I.	352	C-6	260	30	17.43	.52	8.66	2.60	.29	.10	3.72	33.32	8.81
22	A.I.	352	C-6	240	40	18.89	.52	8.66	2.60	.23	.08	3.02	34.00	8.41

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE ACERO RAPIDO.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat Her.	V. Ft./Min.	T. min.	C.A. \$	R.R. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. \$	D.H. \$	R.H. \$	F.A. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
1	3140	190	HSS	140	15	35.98	.52	8.66	2.60	7.19	2.29	28.78	.93	86.95	4.72
2	3140	190	HSS	130	30	38.75	.52	8.66	2.60	3.87	1.23	15.50	.50	71.63	4.77
3	3140	190	HSS	126	45	39.98	.52	8.66	2.60	2.66	.85	10.66	.34	66.27	4.77
4	3140	190	HSS	123	60	40.95	.52	8.66	2.60	2.04	.65	8.19	.26	63.87	4.74
5	3140	295	HSS	109	15	46.21	.52	8.66	2.60	9.24	2.95	36.97	1.19	108.34	3.86
6	3140	295	HSS	106	30	47.52	.52	8.66	2.60	4.75	1.51	19.01	.61	85.18	4.05
7	3140	295	HSS	105	45	47.97	.52	8.66	2.60	3.19	1.02	12.79	.41	77.16	4.13
8	A.I.	352	HSS	85	15	59.26	.52	8.66	2.60	11.85	3.78	47.41	1.53	135.61	3.13
9	A.I.	352	HSS	73	30	69.01	.52	8.66	2.60	6.90	2.20	27.60	.89	118.38	2.96
10	A.I.	352	HSS	67	45	75.19	.52	8.66	2.60	5.01	1.60	20.05	.65	114.28	2.82
11	A.I.	352	HSS	65	50	77.50	.52	8.66	2.60	3.87	1.48	18.60	.60	113.83	2.79

COSTO UNITARIO Y TASA DE PRODUCCION CON HERRAMIENTA DE INSERTO INTERCAMBIABLE.

No.	Mat. Pza.	NBD.	Mat. Her.	V. Ft./min.	T. min.	C.A. \$	R.A. \$	F.Q. \$	INST. \$	C.H. \$	D.H. \$	C.I. \$	C. \$/Pza.	P. Pza/Hr.
12	3140	190	C-6	605	15	7.50	.52	8.66	2.60	.25	.08	3.20	22.81	13.30
13	3140	190	C-6	485	30	9.35	.52	8.66	2.60	.15	.05	2.00	23.33	12.21
14	3140	190	C-6	415	45	10.92	.52	8.66	2.60	.12	.04	1.55	24.41	11.38
15	3140	190	C-6	360	60	12.59	.52	8.66	2.60	.10	.03	1.34	25.84	10.62
16	3140	295	C-6	530	5	8.55	.52	8.66	2.60	.85	.29	10.96	32.43	12.27
17	3140	295	C-6	385	15	11.77	.52	8.66	2.60	.39	.13	5.03	29.10	10.87
18	3140	295	C-6	305	30	14.86	.52	8.66	2.60	.24	.08	3.17	30.13	9.67
19	A.I.	352	C-6	320	10	14.16	.52	8.66	2.60	.70	.24	9.07	35.95	9.75
20	A.I.	352	C-6	290	15	15.63	.52	8.66	2.60	.52	.16	6.67	34.76	9.30
21	A.I.	352	C-6	260	30	17.43	.52	8.66	2.60	.29	.10	3.72	33.32	8.81
22	A.I.	352	C-6	240	40	18.89	.52	8.66	2.60	.23	.08	3.02	34.00	8.41

En el caso de herramienta con inserto de WC intercambiable, el rango de máxima eficiencia se encuentra cerca de la máxima velocidad de corte, ya que se logra un equilibrio entre el costo unitario mínimo y la tasa de producción máxima.

Comparando este tipo de herramienta con la de pastilla soldada, se ve que el costo por cambio de filo y la depreciación de la herramienta son casi despreciables, mientras que para herramienta de pastilla soldada, estos dos costos, además del costo por soldar la pastilla y principalmente el costo por reafilado son factores ponderantes en el costo total.

La tabla a continuación, resume el costo unitario mínimo y la tasa de producción máxima para cada tipo de herramienta y material de las piezas de trabajo de este ejemplo:

Mat. Pza.	NBD	TIPO DE HERRAMIENTA	COSTO UNITARIO MINIMO, \$/Pza.	TASA PRODUC. MAXIMA, Pzas/Hr
3140	190	Buril de acero rápido	63.87	4.7
3140	190	Herramienta de pastilla sold.	28.17	12.5
3140	190	Herramienta de inserto interc.	22.81	13.3
314C	295	Buril de acero rápido	77.16	4.1
314C	295	Herramienta de pastilla sold.	37.85	10.2
314C	295	Herramienta de inserto interc.	29.10	12.2
A.I.	352	Buril de acero rápido	113.83	3.1
A.I.	352	Herramienta de pastilla sold.	41.38	8.6
A.I.	352	Herramienta de inserto interc.	33.32	9.7

Analizando la tabla anterior, puede verse que en general, el costo unitario mínimo para buril de acero rápido es aproximadamente el triple que para herramienta con inserto intercambiable y poco más del doble que para herramienta con pastilla soldada.

En cambio, el costo unitario mínimo para herramienta con inserto intercambiable es el 80% del costo unitario mínimo para herramienta con pastilla soldada.

Por otro lado, para herramienta de acero rápido, la tasa de producción máxima tiene un rendimiento de 65% por que el que puede obtenerse con herramienta de WC.

Este ejemplo muestra las ventajas que ofrece el uso de insertos de WC sobre otro tipo de herramientas convencionales, en una operación sencilla de torneado.

Sin embargo, pocas piezas pueden maquinarse con un solo inserto. En la mayoría de los casos se requieren insertos de geometría diferente o portainsertos que los posicionen en forma distinta.

En los tornos revólver se presenta esta situación y al mismo tiempo complica la cuestión acerca de la vida óptima de un inserto. Como cada pieza se produce bajo la acción de varios insertos, es muy raro el caso en que todos se desafilan simultáneamente.

Obviamente sería una eficiencia de operación muy pobre si se parara el torno revólver cada vez que terminara la vida útil de una herramienta.

Se lograría una economía mucho mejor a base de insertos que sean colocados por grupos. El inserto con el promedio de vida más corto —generalmente el que opera el mayor tiempo total en un ciclo de maquinado, es la herramienta clave. Puede justificarse el reconsiderar esta operación para investigar un grado de carburo más resistente al desgaste o quizá una herramienta de cerámica. También pueden variarse, tanto velocidades como avances para obtener una vida similar en todos los insertos.

Un punto que no debe olvidarse es que el costo por filo de corte de un inserto, es en realidad muy pequeño en comparación con otros costos de maquinado. En

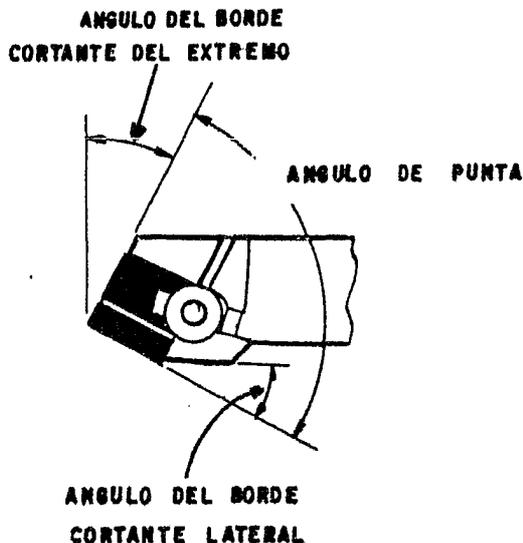
verdad que el costo de los insertos va aumentando con la inflación mun
cial, pero también es cierto que los otros costos están aumentando más rápidamente
y los continuos progresos en materiales, diseño y manufactura de insertos se
suman constantemente a su efectividad económica.

6. GLOSARIO DE TERMINOS.

En virtud que el lector requiere conocer la terminología técnica que se empleó para la creación de este trabajo, se considera de vital importancia - contemplar un glosario de términos, esperando que contribuya significativa-- mente en la unificación de criterios en materia de normalización, que en un esfuerzo loable, el recientemente creado Comité Consultivo Nacional de Norma-- lización de Herramientas y Máquinas Herramienta, a través del Subcomité No.5, integrado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), el Ins-- tituto Politécnico Nacional, Centro de Instrumentación y Facultad de Ingenie-- ría de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se avocan a estu-- diar con entusiasmo.

A

- ALIVIO, DESAHOGO (Relief).- El ángulo de sección libre detrás o bajo el bor-- de cortante, permitiendo que sea forzado dentro del trabajo. Algunas veces se divide en alivio primario (adyacente al borde cortante) y alivio secunda-- rio (detrás del alivio primario). Depende del ángulo de sección libre del - inserto y la colocación del inserto en el portaherramienta.
- ASIENCO, YUNQUE (Seat, shim, anvil).- Una parte removible de un portaherra-- mienta, diseñado para proporcionar apoyo al inserto cortante.
- ASTILLADO (Chipping).- La falla de los bordos cortantes por pérdida de frag-- mentos fracturados, durante la acción de corte.
- ANGULO DE ATAQUE (Attack angle, lead angle, side-cutting-edge angle).- Tér-- mino preferido por algunos, para evitar confusión sobre el significado de - "ángulo del borde cortante lateral" (side-cutting-edge angle). (Ver ángulo principal).



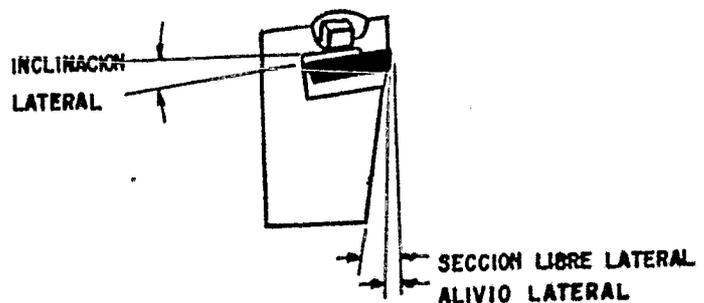
ANGULO DE INCLINACION TRASERO O ANGULO TRASERO DE CAIDA (Back rake).- Complemento del ángulo de corte (top rake). El ángulo de inclinación de la cara de la herramienta lejos del borde cortante del extremo (end cutting edge). Se mide en un plano perpendicular a la base de la herramienta y paralela al borde cortante lateral (side cutting edge). (Ver inclinación).

ANGULO DEL BORDE CORTANTE DEL EXTREMO (end-cutting-edge angle).- El ángulo entre el borde cortante sobre el extremo de la herramienta y una línea perpendicular al borde lateral de la porción derecha del zanco de la herramienta.

ANGULO DE REBAJO O RELIEVE DEL EXTREMO, (end relief angle).- Angulo entre la porción del flanco delantero inmediatamente bajo el borde cortante y una línea dibujada a través de ese borde cortante en ángulo a la base del portaherramientas. (Ver espacio libre, desahogo).



- ANGULO DE ENTRADA (entrance angle).- El ángulo que el borde cortante lateral de una herramienta hace con la superficie maquinada del trabajo, se mide sobre el borde cortante lateral del punto de la herramienta.
- AVANCE (feed).- En torneado, la distancia recorrida por la herramienta por cada revolución de la pieza de trabajo. Se mide en mm. por revolución o pulgadas por revolución.
- ANGULO COMPRENDIDO O ANGULO INCLUSO. (included angle).- Una medida del ángulo total en el interior de una pieza. El ángulo entre cualquiera de dos líneas que se intersectan o superficies. El ángulo de la esquina de un inserto.
- ANGULO PRINCIPAL (Angulo del borde cortante lateral, ángulo de ataque): Lead angle (side-cutting-edge angle, attack angle).- El ángulo entre el borde cortante lateral y el lado proyectado del zanco de la herramienta, el cual dirige a la herramienta dentro del trabajo (Ver ángulo de ataque).
- ANGULO DEL BORDE CORTANTE LATERAL (Angulo principal, ángulo de ataque) side cutting edge angle (lead angle, attack angle).- El ángulo entre el borde cortante lateral y el lado proyectado del zanco. (Ver ángulo principal).
- ANGULO DE INCLINACION LATERAL (side rake).- La inclinación de cara de la herramienta lejos del borde cortante lateral. Se mide en un plano perpendicular al plano superior de la herramienta y el borde cortante lateral. (Ver inclinación).



- ANGULO DE ALIVIO LATERAL (side relief angle).- El ángulo entre el flanco lateral inmediatamente bajo el borde cortante lateral y una línea dibujada a través del borde cortante lateral perpendicular a la base.
- ANGULO DE ATAQUE (working angle).- Los ángulos entre la herramienta y el trabajo, que depende no solamente del perfil del inserto sino también de su posición con respecto al trabajo como lo determina el portaherramienta.

B

- BARRA TALADRADORA, BARRENA DE TIERRA (Boring bar).- Un portaherramienta diseñado específicamente para soportar herramientas de corte en una operación de son-daje o perforación. Los taladros de hoyo profundo a menudo requieren de un portaherramienta largo y redondo que se apoya en un extremo.
- BORDE CORTANTE, ARISTA U ORILLA CORTANTE (cutting edge).- Esta parte de la cara del filo a lo largo del cual se separa la viruta del trabajo. El borde cortante consiste del borde cortante lateral, la nariz y el borde cortante del extremo.

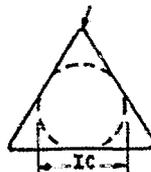
C

- CRATER (Crater).- Un área estriada o depresión causada por las virutas expulsadas a las que erosionan una acanaladura o bien en la parte superior (ángulo de inclinación rake face) del inserto, detrás del borde cortante de una herramienta.



- CRATERIZACION (Cratering).- La acción por la cual se forma en la cara de un inserto una depresión por el contacto de la viruta. (Ver crater).
- CARA DE INCLINACION (Face) (rake face).- La superficie de la herramienta de corte, sobre la cual la viruta choca a medida que es separada del trabajo.
- CIRCULO INSCRITO (Inscribed circle) (I.C.).- El círculo que puede ser construido interno a cualquier figura cerrada o perfil, de tal forma que todos los lados de la figura son tangentes al círculo. El círculo inscrito se usa en su mayoría para describir las dimensiones de un triángulo, pentágono, hexágono, octágono o triángulo. El I.C. de un cuadrado o paralelogramo, es igual a la distancia perpendicular entre lados opuestos; el I.C. de un inserto redondo es lo mismo que el diámetro del inserto.

RADIO DE NARIZ (R)

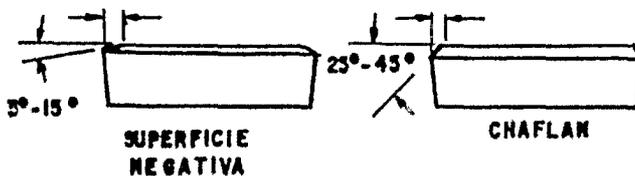


CIRCULO INSCRITO

- CAVIDAD DEL INSERTO (Insert pocket).-- El espacio que ha sido maquinado en un porta herramienta para alojar a todo el conjunto del inserto (asiento, inserto, rompeviruta, etc).
- CAPACIDAD NORMAL DE LABRABILIDAD O FRESABILIDAD (Machinability rating).-- Un valor numérico que expresa la facilidad o dificultad de maquinar un material particular de la pieza de trabajo, en comparación con un acero laminado (cold Rolled AISI -- B1112), que se tornea a 180 sfm.
- CAVIDAD (Pocket).-- Ver cavidad del inserto.
- COMPLEMENTO DEL ANGULO DE CORTE (Angulo de inclinación trasero). Top rake (back rake).-- El ángulo de inclinación de la cara de la herramienta, lejos del borde cortante del extremo. Se mide en un plano perpendicular a la base de la herramienta y paralela al borde cortante lateral (Ver inclinación).

CH

- CHAFLAN (Chamfer).-- Un bisel sobre el borde cortante (cutting edge), de una herramienta de corte con el propósito de aumentar su tenacidad. El ángulo se mide desde la cara de corte descendente y generalmente variará de 25 a 45 grados.



D

- **DESGASTE ABRASIVO (Abrasive wear).**- El desgaste que ocurre a una herramienta en uso, debido a una acción abrasiva en el maquinado. (Ver desgaste de flanco).



- **DEFORMACION (Deformation).**- El cambio permanente en el perfil de una herramienta de corte debido a fuerzas de corte y temperatura. Esto generalmente ocurre en alta velocidad o maquinado pesado.
- **DESGASTE DE FLANCO (Flank wear) (Abrasive wear).**- El desgaste que ocurre en el flanco de una herramienta, debajo e inmediatamente adyacente al filo mientras corta. Este desgaste reduce el ángulo de la sección libre de la herramienta hasta que finalmente ocurre la falla. (Ver desgaste de superficie.)

E

- **ESPACIO LIBRE, SECCION LIBRE (Clearance).**- El ángulo bajo o detrás del filo de corte el cual permite al mismo estar forzado dentro del trabajo. (Ver alivio). Sin sección libre, la herramienta no cortará. Es también el término usado para alivio o desfilado secundario en algunos casos.

FLANCO (Flank).- La superficie adyacente al borde cortante, cuando la herramienta se encuentra en posición horizontal para torneear.

I

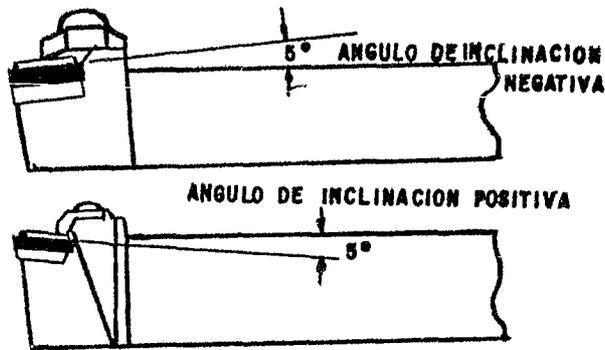
INSERTO DE SUPERPRECISION (Superprecision insert).- Un inserto rectificado en toda su superficie con una tolerancia próxima a un inserto de precisión. Hay varias clases de insertos de superprecisión, con tolerancia sobre el punto nominal, las dimensiones se clasifican desde ± 0.0002 pulgs. a ± 0.001 pulgs y en la dimensión del espesor desde ± 0.001 pulgs a ± 0.005 pulgs.

INSERTO ROMPEVIRUTA (Chipbreaker insert).- Un inserto con un rompeviruta empotrado. Generalmente consiste de una acanaladura alrededor de la cara superior del inserto cerca de la periferia.

INSERTO (Insert).- La punta cortante hecha de material duro, que mecánicamente se añade al portaherramienta para su uso. Generalmente, puede estar indicado para presentar más de un borde cortante (Filo de corte).

INSERTO DE PRECISION (Precision insert).- Un inserto (clave G en tercera posición) que se rectifica toda su superficie a especificadas dimensiones ± 0.001 pulgs sobre el punto de corte y ± 0.005 pulgs de espesor. (Ver inserto de superprecisión).

INCLINACION (Rake).- El ángulo de inclinación entre la cara de la herramienta de corte y el trabajo. Si la cara de la herramienta se extiende en un plano; se dice que la herramienta tiene inclinación cero o neutral. Si la inclinación de la cara de la herramienta hace el borde cortante más afilado o más agudo que cuando el ángulo de inclinación es cero, la inclinación se define como positiva. Si la inclinación de la cara de la herramienta hace el borde cortante menos penetrante o más romo que cuando el ángulo de inclinación es cero, la inclinación se define como negativa. (Ver ángulo de inclinación trasero, ángulo de inclinación lateral.)



- INCLINACION DE LA CARA (Rake face).- Ver cara
- INCLINACION NEGATIVA (Negative rake).- Un ángulo de inclinación que es menos afilado o más romo que la inclinación cero. (Ver inclinación).
- INCLINACION NEUTRAL (Neutral rake).- Un ángulo de inclinación de cero grados. El ángulo es perpendicular a la superficie de trabajo y ni uno ni otro positivo ni negativo.
- INSERTO TIPO DE CHAVETA (Pin-type insert).- Un inserto para herramienta de corte de carburo cementado insertable, con un hoyo en el centro usado para ubicar el inserto y abrazarlo en su lugar por medio de un pasador en el portaherramienta. Se evita de esta manera la necesidad de una grapa en la parte superior.
- INCLINACION POSITIVA (Positive rake).- Un ángulo de inclinación que es más afilado o más agudo que la inclinación cero (Ver inclinación).
- INCLINACION CERO (Inclinación neutral).- Zero rake (Neutral rake) - (Ver inclinación).

N

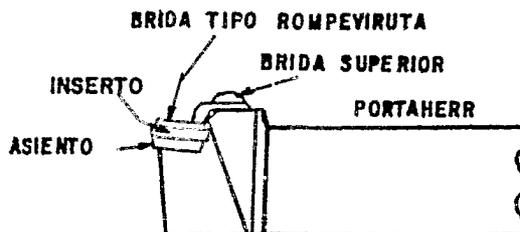
VARIZ (Nose).— El ángulo de esquina formado por la unión de los bordes lateral y del extremo de una herramienta.

P

PROFUNDIDAD DE CORTE (Depth of cut).— La distancia entre el fondo de la superficie del trabajo cortada y no cortada, medido en una dirección en ángulos positivos a la superficie maquinada del trabajo. Esta es la diferencia en altura entre las superficies maquinadas y las no maquinadas.

PREPARACION DEL FILO (Edge preparation).— Un condicionante del borde cortante — tal como rectificado o biselado. (ver chaflán, asmerilado).

PAQUETE O CONJUNTO DE INSERTO (Insert package).— El ensamble completo que ajusta dentro de la "cavidad del inserto" de un portaherramienta. Esto incluye componentes tales como asiento, prisionero, inserto, rompeviruta, abrazadera y tornillo sujetador.



- PULIDO (lapping).- Un proceso de terminación abrasivo que incluye el frotamiento con un compuesto húmedo. Comúnmente se emplea para lograr un grado elevado de acabado en los insertos.
- PREFORMADO (Prehoned).- Rectificado a un tamaño uniforme por el fabricante del inserto. (Ver rectificado).
- PIES SUPERFICIALES POR MINUTO (S.f.m.) (Surface feet per minute).- Velocidad periférica de la pieza de trabajo en radio de corte. (Ver velocidad de corte).
- PORTAHERRAMIENTA (Toolholder).- Un componente de herramienta que mecánicamente tiene el inserto y que, en cambio, se fija mecánicamente a un componente portaherramienta de la máquina-herramienta, tal como una torreta.
- RESISTENCIA A LA ABRASION (Abrasion resistance).- La habilidad de un material para resistir un cambio en dimensiones debido a una acción abrasiva con otro material.

R

- ROMPEVIRUTAS (Chipbreaker).- Una estría, acanaladura o irregularidad en la cara de una herramienta, o una pieza separada fijada a la herramienta o portaherramienta para encauzar a la viruta y se rompa en pequeñas secciones.
- RECTIFICADO INTERIOR DE CILINDROS (Honed).- Lo que se termina abrasivamente, generalmente por frotación usando un compuesto húmedo y abrasivo.
- RECTIFICADO O ESMERILADO (Honing).- El proceso de redondear o embotar el filo de abrasivos, para aumentar la tenacidad del borde. Puede ser hecho a mano o a máquina. (Ver preparación del filo).
- RADIO DE LA NARIZ (Nose radius).- El radio sobre la herramienta entre los bordes cortantes lateral y del extremo.

S

- SOLDADURA POR PASOS TRANSVERSALES. (Build-up welding).- Las virutas que se sueldan a la herramienta de corte. Es la causa principal de la aspereza de la superficie. (Ver filo aumentado).
- SUPERFICIE ENTRE ESTRIA NEGATIVO (Negative land (K-land)).- Un bisel a lo largo del filo que es la causa de que la inclinación llegue a ser más negativa. Está comprendido de 3° a 15° y se mide fuera de la cara superior del inserto. (Ver chaflán).
- SUPERFICIE ENTRE ESTRIAS DE DESGASTE (Wear land).- Un área llana desgastada, bajo o detrás del borde cortante (cutting edge). La profundidad del desgaste afecta el tamaño y terminado, y la anchura de la superficie entre estrías de desgaste es un buen indicador para comparar el funcionamiento del inserto o para determinar el tiempo adecuado de cambiar o graduar la herramienta. (Ver desgaste abrasivo, desgaste de flanco).

U

- INSERTO UTILITARIO (Utility insert).- Un inserto rectificadо solamente en su superficie superior e inferior, con una tolerancia común \pm 0.005 pulgs.

V

- VELOCIDAD DE CORTE (Cutting speed).- En torneado, la velocidad periférica de la pieza de trabajo en el radio de corte. Se mide en pies superficiales por minuto, (sfm) (mts/min).
- VELOCIDAD (Velocidad de corte, velocidad superficial) speed (cutting speed, surface speed).- Ver velocidad de corte.

CONCLUSIONES

Los resultados de las presentaciones al respecto se reflejan en un conjunto de datos de excepciones de cambio de tipo de cambio, presentados en el Anexo 1, que muestran una relación entre los niveles de cambio de tipo de cambio y el nivel de actividad económica, lo que sugiere una relación entre la estabilización económica y el tipo de cambio.

La política de tipo de cambio de "fijación de tipos" que se aplicó en el período de 1970-1975 resultó ser una política de tipo de cambio que se aplicó en el período de 1970-1975.

Además, esta política de tipo de cambio de "fijación de tipos" que se aplicó en el período de 1970-1975 resultó ser una política de tipo de cambio que se aplicó en el período de 1970-1975.

Quizá la conclusión más importante de este estudio es la evidencia de que la política de tipo de cambio de "fijación de tipos" que se aplicó en el período de 1970-1975 resultó ser una política de tipo de cambio que se aplicó en el período de 1970-1975.

En este sentido, se puede concluir que la política de tipo de cambio de "fijación de tipos" que se aplicó en el período de 1970-1975 resultó ser una política de tipo de cambio que se aplicó en el período de 1970-1975.

Anteriormente, la política de tipo de cambio de "fijación de tipos" que se aplicó en el período de 1970-1975 resultó ser una política de tipo de cambio que se aplicó en el período de 1970-1975.

En suma, la política de tipo de cambio de "fijación de tipos" que se aplicó en el período de 1970-1975 resultó ser una política de tipo de cambio que se aplicó en el período de 1970-1975.

Por otro lado, al cambiar el inserto sin mover el portainsertos, el ajuste de la medida de la pieza de trabajo es mínimo.

Esto representa un gran beneficio en el costo de producción unitario y en la tasa de producción, en comparación con herramientas de acero rápido.

Cabe aclarar que la utilización eficiente de insertos de WC, depende de factores ajenos a ellos como el buen estado de la máquina, potencia disponible, rango de velocidades y avances, rigidez de la sujeción que elimine vibraciones durante el corte, tipo de líquido refrigerante empleado y el cuidado y buen criterio del operador de la máquina.

Es lógico que si alguno de estos factores es descuidado, el inserto no responderá a los requerimientos de producción.

La misma situación se presenta en troquelado y estirado. A pesar de que el costo inicial de las herramientas es más alto comparativamente con el acero, el número de partes producidas entre dosafilados sucesivos es mucho mayor, resultando en un menor costo por parte y dimensiones uniformes.

Por todas estas razones, las herramientas de WC han demostrado ser la selección más adecuada para satisfacer la demanda actual de la industria metal-mecánica hacia una mayor productividad.

B I B L I O G R A F I A.

CAPITULO 1.

Eficiente utilización de las herramientas de corte de carburo de tungsteno por PETER SCIFD, Kennametal Inc.

Properties and proven uses of Kennametal hard carbide alloys, Kennametal Inc.

Refractory hard metals por Dr. PAUL SCHWARZKOPE, Dr. RICHARD KIEFFER, McMILLAN Co, New York.

Tool and manufacturing engineers handbook, SOCIETY OF MANUFACTURING ENGINEERS. McGraw-Hill Book Co., 3a. Edición, 1976.

CAPITULO 2.

Carbide tools for industry, ISCAR METALS INC. (Publicación técnica).

Eficiente utilización de las herramientas de corte de carburo de tungsteno por PETER SCIFO, Kennametal Inc.

Properties and proven uses of Kennametal hard carbide alloys, Kennametal Inc.

CAPITULO 3.

Alrededor de las máquinas herramienta, por HEINRICH GERLING, Editorial Reverte, S.A. Edición, 1978.

ASTM Standards, Part. 7, March 1969.

Materiales y procesos de fabricación por PAUL DE GARMO, Editorial DECSA, 1977.

Tungsten carbide production in Australia (Publicación técnica).

CAPITULO 4.

Carbide tips for brazing on turning tools, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Ref. No. ISO 242-1975 (E).

Carbide tools for industry, ISCAR METALS INC. (Publicación técnica).

Cutting tools/drills por ROBERT O. BURANT Y MICHAEL J. MCGINTY, Manufacturing Engineering, May 1979.

Indexable (throwaway) inserts for cutting tools, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Ref. No. ISO 1832-1977 (E).

Induction and flame heating equipment, OHIO CRANKSHAFT Co., TOCCO DIVISION, Cleveland Ohio.

Memoria del I Encuentro de Investigación Metalúrgica, INSTITUTO REGIONAL TECNOLÓGICO DE SALTILLO, Octubre, 1979.

Pastillas y buriles de carburo de tungsteno, KENNAMEX, S.A., Catálogo - 691.

Sandvik de México, S.A. de C.V. (Publicación técnica), 1976.

Turning with inserts por R.L. HATSCHEK, American Machinist, October 1978.

CAPITULO 5.

Machine tools design and research, Part. I. UNIVERSITY OF MANCHESTER, - 1967.

Principios fundamentales para el diseño de herramientas, ASTM, Editorial DECSA, 1979.

Tools application handbook, KENNAMEX INC. 1978.

Turning with inserts por R.L. HATSCHEK, American Machinist, October, 1978.