

1984



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DESARROLLO DE MATERIALES PARA
HERRAMIENTAS DE CORTE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N I
ANDRADE RAMIREZ FRANCISCO JAVIER
MARQUEZ PEREZ JOSE ALBERTO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. EDUARDO UBALDO MARQUEZ A.

FACULTAD DE
INGENIERIA



MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1984



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 está 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.

A Dios :

Gracias señor por darme la oportunidad de realizar este mi sueño.

A mi madre:

Raquel Ramírez Ojeda.

Este trabajo te lo dedico de todo corazón, ya que sin tu apoyo no hubiese logrado alcanzar este pequeño triunfo en mi vida.

Gracias.

A mis compañeros y amigos:

Quiero agradecerles todo su apoyo, comprensión y principalmente por su amistad. sin olvidarme de mi "gringo".

A mi madre, Blanca Rosa Pérez Molero con mi amor.

A Dios, gracias.

A mis compañeros y amigos, porque esto no hubiera sido igual sin ustedes.

José Alberto Márquez Pérez

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**DESARROLLO DE MATERIALES
PARA HERRAMIENTAS DE CORTE**

Francisco Javier Andrade Ramirez

José Alberto Márquez Pérez

INDICE

	Pag
Introducción.	1
I Generalidades sobre las Herramientas.	
Introducción.	3
I.1. Herramientas de corte.	4
II Geometría de la herramienta y principios de operación.	
Introducción.	5
II.1. Operación.	6
II.2. Condiciones para la elección de la herramienta.	7
II.3. Geometría de la herramienta de corte.	7
II.4. Elementos importantes en la generación de las herramientas de corte	10
II.5. Descripción física de la herramienta.	12
II.6. Rompevirutas.	14
II.7. Insertos cambiables.	14
II.8. Porta herramientas para insertos cambiables.	16
III Materiales para herramientas de corte	
Introducción.	17
III.1. Aceros de alta velocidad.	18
III.1.1. Aplicaciones de los aceros para herramientas de alta velocidad.	21
III.1.2. Proceso de pulvimetalurgia.	21
III.2. Carburos cementados.	21
III.2.1. Manufactura de los carburos cementados	22
III.2.2. Proceso de preparación del carburo de tungsteno.	22
III.2.3. Carburos de tungsteno-titanio-tantalum (niobium)	23

III.2.4. Composición de los carburos cementados y microestructura	23
III.2.5. Herramientas de carburo revestidas.	23
III.3. Herramientas con recubrimientos con aleaciones de cobalto.	24
III.4. Cerments	25
III.4.1. Composición y microestructura.	25
III.4.2. Cerments de carburo de titanio.	26
III.4.3. Cerments basados en carbonitruros metálicos.	27
III.4.4. Propiedades y grado de selección.	27
III.4.5. Cerments comparados con carburos cementados.	27
III.4.6. La resistencia del recubrimiento.	28
III.4.7. Aplicaciones.	29
III.5. Cerámicos.	29
III.5.1. Proceso de producción.	29
III.5.2. Herramientas de corte cerámicas.	30
III.5.2.1. Cerámicas de corte.	30
III.5.2.2. Herramientas con base en Nitruro de Silicio.	31
III.5.2.3. Herramientas con recubrimientos cerámicos.	32
III.5.2.4. Herramientas con base en materiales superduros.	33
III.6. Diamante y nitruro de boro cúbico.	33
III.6.1. Comparación entre el diamante y el nitruro de boro cúbico.	33
III.6.2. Resistencia al desgaste del diamante.	34
III.6.3. Resistencia al desgaste del CBN.	34
III.6.4. Plaquetas CBN.	36
III.7. Tipos y calidades de plaquetas.	37

IV Desgaste en herramientas de corte.

Introducción.	44
IV.1. Adhesión y compatibilidad de metales.	45
IV.2. Abrasión.	45
IV.3. Factores más importantes que influyen en el desgaste de los materiales para herramientas de corte.	47
IV.4. Tipos de desgaste.	49
IV.5. Mecanismos del desgaste.	50
IV.5.1. Efectos del desgaste.	52

V Control numérico y tendencias.

Introducción.	54
V.1. Evolución del control numérico.	54
V.2. Fundamentos del control numérico.	57
V.3. Beneficios del control numérico.	58
V.4. Situación actual del CNC.	60
V.5. Situación actual en México.	60
V.6. Tendencias y perspectivas.	61
Conclusiones.	69
Bibliografía.	72

INTRODUCCION

El presente trabajo, denominado, Desarrollo de Materiales para Herramientas de Corte, tiene como objetivo la investigación de tres temas principales: El desarrollo de nuevos materiales en herramientas de corte, la relación de la herramienta de corte con la máquina herramienta y la situación actual a nivel nacional.

Este trabajo consta de cinco capítulos, conclusiones y bibliografía.

En el primer capítulo se hace una revisión sobre las generalidades de las herramientas de corte, definición, clasificaciones y especificaciones, partiendo de los antecedentes bibliográficos.

El segundo capítulo, aborda las principales características geométricas y principios de operación de las herramientas, así como el principio de maquinado, en donde se involucran todas aquellas características que intervienen dentro de éste, tales como fuerzas de corte y la mecánica que interviene.

El tercer capítulo centra su atención en los principales materiales empleados en la fabricación de herramientas de corte, desde su inicio, las características que presentan, mención de los procesos de producción y algunas aplicaciones de los mismos. Más adelante, se hace mención de los materiales de mayor actualidad en la fabricación de herramientas de corte y aplicación.

El cuarto capítulo hace mención al desgaste de dichos materiales en herramientas de corte, en el cual se comentan brevemente los factores que influyen en él, así como los tipos de desgaste que existen, causas y efectos. Posteriormente se aborda como se pueden evitar este tipo de problemas.

El quinto y último capítulo, nos da una visión sobre el desarrollo que han tenido las máquinas herramientas, beneficios y su relación con las herramientas de corte. Así también, se presenta un panorama actual, de la situación tecnológica nacional en materia de maquinado y perspectivas a futuro. Al final, se menciona la importancia de la geometría de las plaquitas y como sus características mecánicas dependen de ella.

Las conclusiones que se formulan al final del trabajo, buscan dar en breves líneas, una visión general de los aspectos planteados.

I. GENERALIDADES SOBRE LAS HERRAMIENTAS

Introducción.

La herramienta es una de las primeras creaciones del hombre y se define del modo siguiente: herramienta es un instrumento que maneja el operario para la ejecución de su profesión.

Desde los comienzos de la industria, el hombre cortó ramas para diversos usos, particularmente para fabricarse mazos, varillas para montar flechas, mangos, etc. Desde entonces ha tenido que descortesar esas ramas para hacerlas más lisas y cómodas de sostener y empuñar sin que le hieran.

La herramienta ha tenido una importancia primordial en la vida del hombre desde todos los tiempos. La prueba que tenemos, son las clasificaciones establecidas en el estudio de la prehistoria. Estas clasificaciones se extienden sobre un gran número de años en los que se comprueba un estado netamente determinado de la civilización, y corresponden siempre a perfeccionamientos de las herramientas.

Durante mucho tiempo, los artesanos confeccionaron ellos mismos las herramientas que les eran necesarias. Esta fabricación era un secreto familiar de alquimia que no conocían ni los sabios, ni los físicos de antaño. Actualmente, en la mayoría de los países industriales funcionan centros de investigación especialmente equipados para estudiar el corte de metales, y algunos investigadores han realizado magníficos trabajos sobre las herramientas. Así, ingenieros, investigadores y técnicos, trabajando en equipo en laboratorios privados o del estado, estudiando los fenómenos del corte de los metales, no sólo con el objeto de mejorar constantemente las herramientas de corte, sino también para sacar de ella el rendimiento máximo.

Cada vez se aprecia más la importancia de la herramienta. Los centros de investigación sobre los estudios de máquinas herramientas dejaban a los técnicos del taller la iniciativa para determinar las formas de la herramienta destinadas a las máquinas. La tendencia actual consiste en fabricar la máquina para una herramienta previamente estudiada. Por esta razón es indispensable el conocimiento profundo de la herramienta.

Por lo anterior, en este trabajo se da una importancia al estudio de los materiales para las herramientas, así como aspectos importantes en su diseño y utilidad, para su mejor rendimiento en la industria. Y como es sabido en la habilitación de cualquier maquinado siempre intervienen elementos diferentes, como es la pieza de trabajo que es el material al que se le dará forma. La herramienta cortante es un material fuerte y duro, apropiadamente formado que aplica las cargas al material de trabajo y desprende el material. La máquina herramienta es el dispositivo que soporta el trabajo, las herramientas cortantes y proporciona los movimientos relativos correctos. Otro término es el herramental, y se usa más libremente para describir todos los dispositivos o elementos, incluyendo las herramientas cortantes, el dispositivo de sostén del trabajo y los aditamentos especiales que se agregan a la máquina herramienta básica para permitir su uso práctico. Las máquinas herramientas en sí, son un conjunto de dispositivos de soporte en las operaciones de corte.

Las herramientas cortantes pueden hacerse con cierto número de materiales, pero todas tienen una función idéntica, el de realizar el trabajo hasta que falla, por lo que es deseable que tengan alta dureza y resistencia. Algunas herramientas tienen un sólo filo, mientras otras trabajan con múltiples filos

1.1. Herramienta de corte.

El material de la herramienta, su geometría, la calidad de su afilado y las condiciones de corte seleccionadas, son aspectos que determinan el éxito de cada aplicación en que está involucrada la transformación de metales con desprendimiento de viruta, denominándosele herramienta de corte.

Las herramientas de corte se fabrican de diversas formas, con el objeto de colocar el filo de corte en la posición adecuada, dependiendo de la superficie a maquinar. El perfil o forma del filo de corte puede variarse para adaptarse a las diferentes formas de trabajo y a los diferentes tipos de piezas. Las formas de la herramienta, no sólo dependen del tipo de operación, sino que, en el caso particular de la herramienta de desbaste, el perfil de la misma, puede tener una influencia decisiva en la eficiencia. El perfil deseable es un compromiso entre la forma ideal y la que se debe adoptar para cumplir las exigencias prácticas.

II GEOMETRIA DE LA HERRAMIENTA Y PRINCIPIOS DE OPERACION

Introducción.

Aunque los hombres de ciencia de todo el mundo se preocupan por el estudio de las herramientas, resulta lamentable el comprobar que las características geométricas de las mismas y en particular las definiciones de los ángulos, difieren de un país a otro, incluso en un mismo país se encuentran muchas veces distintas denominaciones, derivadas de técnicas inherentes a grandes fábricas o empresas.

Por lo tanto, se ha intentado crear una normalización, pero cada país interesado en esta cuestión ha establecido sus propias normas. Como consecuencia de esta falta de coordinación, las características de las herramientas responden a distintas definiciones y la medida de los ángulos de corte se efectúa por métodos diferentes.

Este estado de hechos no facilita los estudios sobre las herramientas. Al contrario, desalienta a los técnicos que desean instruirse y que se desorientan en medio de una Torre de Babel técnica.

Es preciso ser un asiduo lector de la prensa técnica mundial para comprobar esta gran confusión y si la dirección del taller posee conocimientos poco profundos sobre las herramientas, debemos achacar a este embrollo las causas de un desinterés tan sólo aparente.

Así como, todos los músicos del mundo leen con la misma facilidad la partitura de una obra escrita por un compositor Americano, Sirio, Ruso, Japonés, Francés, etc., si se reunieran los técnicos internacionales, sin prepararse, para discutir sobre las herramientas no podrían interpretar otra cosa que una gran algarabía.

Definiciones (Parametros de corte básicos en la operación de maquinado).

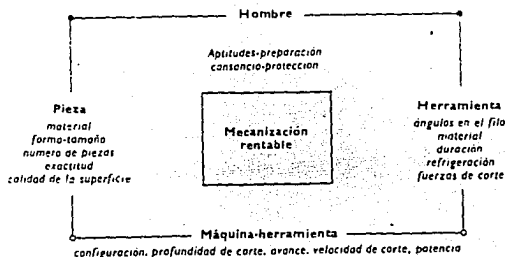
Cuando se corta un metal, la superficie de la pieza de trabajo se ve impulsada con respecto a la herramienta, o bien, la herramienta con respecto a la superficie, a una velocidad relativamente alta, a lo cual se le denomina **velocidad de corte**.

Al mismo tiempo, la herramienta avanza comparativamente con lentitud en una dirección, que en general es perpendicular a la velocidad. A este movimiento se le llama **avance** y se define como la distancia que avanza dentro o a lo largo de la pieza de trabajo cada vez que la punta de la herramienta pasa una cierta posición en su viaje sobre la superficie.

La **profundidad de corte** es la distancia normal desde la superficie que se elimina hasta la superficie expuesta por una herramienta de corte.

II.1 Operación.

La operación del conformado con arranque de viruta, es la mecanización rentable de las piezas en bruto, tales como piezas de fundición, piezas prensadas, o material en barras, hasta conseguir la medida final requerida arrancando en forma de viruta el exceso de material.



Las fuerzas de corte y velocidades de corte necesarias producen unas relaciones recíprocas entre el operario, pieza herramienta y máquina herramienta. Para conseguir una mecanización rentable es preciso conocer estas relaciones y tenerlas en cuenta al decidir sobre las propiedades metalúrgicas del material de la pieza y de la herramienta, así como al decidir sobre el diseño conveniente de las mismas, consiguiendo con esto la protección completa del mismo.

De esto se derivan, las propiedades de mayor importancia en el manejo del hombre, pieza, herramienta y máquina. Estas propiedades son: a) La influencias de la pieza sobre el maquinado. b) Los materiales. c) Las virtutas resultantes.

Las citadas propiedades de las piezas y los materiales determinan las cargas que actúan sobre la pieza, la herramienta y la máquina, las cuales están sometidas a esfuerzos, tanto de presión, tracción, flexión, torsión y corte. Así como también, las fuerzas y velocidades de corte son necesarias y decisivas para la forma, dimensiones, comportamiento y duración de la herramienta y de la máquina.

Todo esto, es de gran importancia, como ya vimos en el desempeño de las máquinas y como consecuencia de las herramientas, las cuales son la base fundamental de las operaciones de corte, por lo tanto, a continuación tendremos un panorama más amplio de las principales características de operación de las herramientas de corte.

II. 2 Condiciones para la elección de las herramientas.

La calidad y costo de fabricación del mecanizado dependen en mucho de la calidad de la herramienta. Asimismo, un empleo correcto de las herramientas reduce el desgaste de las máquinas.

La función principal del personal encargado de fabricar y emplear las herramientas debe regirse en todo taller por las leyes que a continuación se indican y que resumen las ideas primeramente enunciadas. A) Elegir según la clase de trabajo a ejecutar, la forma más apropiada de la herramienta. B) Estudiar sus dimensiones de acuerdo con los esfuerzos que se van a exigir y los dispositivos de fijación que equipan la máquina. C) Determinar la naturaleza y calidad de la herramienta según el material a trabajar y el tipo de máquina. D) Coordinar las formas y dimensiones buscando la simplificación y la unificación.

II.3 Geometría de las herramientas de corte.

Las herramientas para el corte de los metales se clasifican como herramientas de punta sencilla o herramientas de puntas múltiples. Estas últimas actúan como combinaciones de herramientas de punta sencilla. De esta manera, los factores que presentan las herramientas de punta sencilla, también son básicos en las herramientas de puntas múltiples. En este capítulo se estudiarán los elementos de las herramientas de corte con detalle en relación con las herramientas de punta sencilla.

La herramienta de corte más simple es aquella que tiene forma de cuña. Se distinguen en ella:--El filo. Recta definida por la intersección de los planos (a) y (b) Figura I. 1. El plano de corte (a). Superficie que actúa contra el metal, el cual se desprende y desliza sobre ella en forma de viruta. 2. El plano de salida (b). Superficie que interseca con el plano de corte para formar el filo.

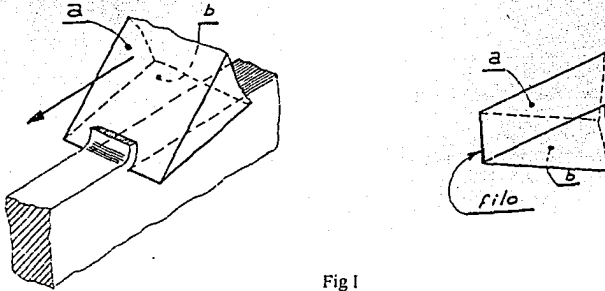


Fig I

Tanto la posición relativa entre las caras de corte y de salida, como la de ambas con relación a la de la pieza a trabajar juegan un papel fundamental en el corte de los metales. Fig II. El valor del ángulo beta y la posición de la herramienta respecto a la pieza determinan: La duración de la herramienta, la facilidad o dificultad para que la herramienta penetre en el metal de la pieza, la precisión y acabado superficial de la pieza, el consumo de energía, el costo de fabricación, la formación favorable o desfavorable de la viruta.

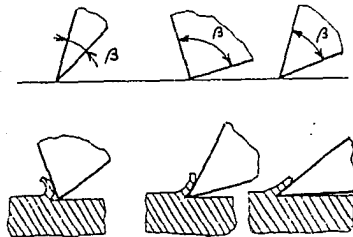


Fig II

La definición geométrica de la herramienta impone el uso de un sistema de referencia adecuado. Observando su posición en la máquina, se infiere a que la superficie de apoyo entre la herramienta y el porta-herramienta es una buena base para establecer las posiciones de los diferentes planos que constituyen su punta activa. A

esta superficie se le denomina: PLANO DE BASE (Pb). --Las tres herramientas mostradas en la Fig. III. presentan la característica común de que su filo (f) es paralelo al plano de base (Pb). En estas herramientas pueden identificarse: El plano de corte (a). El plano de salida (b). El cuerpo (c) de la herramienta. La o las caras de salida secundaria (s), que dependen de la posición herramienta-pieza y de la dirección del movimiento de avance. La orientación ψ de la arista (f) respecto a la dirección del cuerpo (c), medida en un plano paralelo a (Pb). El filo (f), intersección de (a) y (b) en los tres ejemplos.

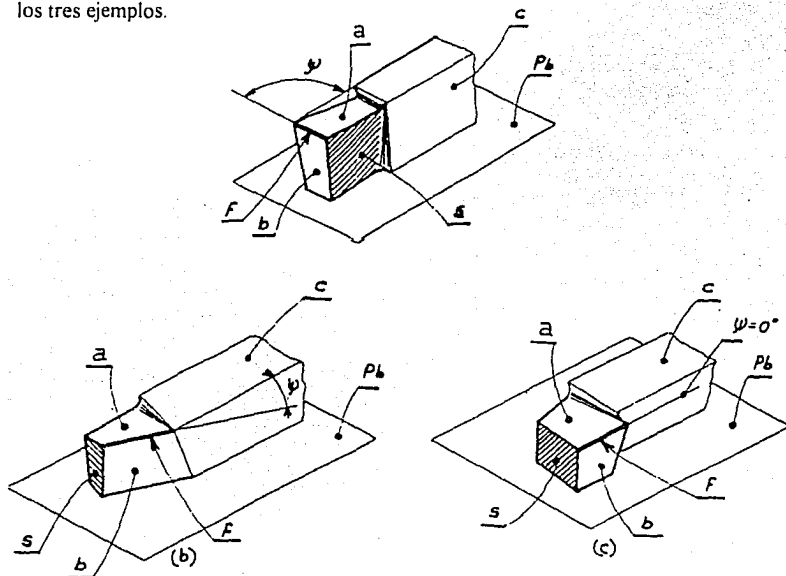


Fig III -a, III -b y III -c.

Para las herramientas de tronzar (III-a) y de refrentar (III-c), las posiciones de los planos de corte (a) y de salida (b) quedan definidos fácilmente. Basta con observar de frente el filo (f), de manera que la recta se reduzca a un punto. (FIG. IV-a y IV-b).

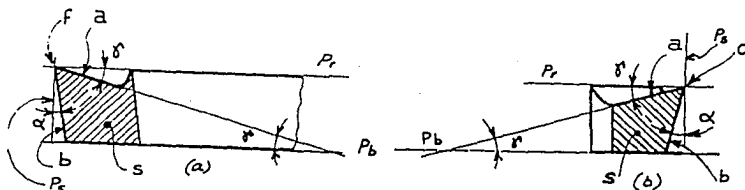


FIG IV-a y IV-b.

Así como éstas, existen una infinidad de geometrías diferentes, una adecuada para cada aplicación. Se mencionan las características fundamentales de una herramienta básica, sin olvidar que éstas dependen y varían de acuerdo a la aplicación de la herramienta.

II.4 Elementos importantes en la generación de las herramientas de corte.

Algunos elementos importantes que se deben tener en cuenta en la generación de las herramientas de corte son:

Angulo de inclinación.

Al maquinar, los ensayos han confirmado que cuando el ángulo de inclinación según el cual se deslizan las virutas, llamada ángulo de incidencia real, se hace mayor en la dirección positiva, el esfuerzo de corte y la temperatura de corte disminuyen. La duración de la herramienta, también aumenta cuando se aumenta el ángulo de inclinación real hasta un valor óptimo, después del cual, vuelve a disminuir.

Angulo de desprendimiento.

También denominados ángulos de incidencia. El ángulo de desprendimiento frontal y el ángulo de desprendimiento lateral, en las herramientas de una sola punta, se suelen hacer iguales, aunque no siempre sea este el caso. El ángulo de desprendimiento por debajo de la punta de la herramienta es una mezcla de los ángulos de desprendimiento frontal y lateral. La magnitud de los ángulos de desprendimiento tiene un importante efecto en la eficacia de la herramienta. Si los ángulos son demasiado grandes y el filo de corte se debilita, se corre el peligro de rotura si las pasadas son demasiado fuertes en un material duro y tenaz. En las pasadas de acabado, se produce un rápido desgaste del filo de corte que pueden originar problemas con el control de medida de la pieza. Los ángulos de desprendimiento que sean demasiado pequeños hacen aumentar el desgaste de los laterales por debajo del filo de corte, lo que reduce de forma significativa la duración de la herramienta.

Los ángulos de desprendimiento mayores, tienden generalmente a producir mejores acabados superficiales en la pieza, como consecuencia de que la superficie de roce entre herramienta y pieza es menor. Por esta razón, las herramientas de roscar con

una sola punta. deben dotarse de ángulos de desprendimiento que sean tan grandes como sea posible.

Angulo de posicionamiento complementario de la arista principal y ángulos de ataque.

Estos ángulos se consideran conjuntamente, puesto que el ángulo de posicionamiento complementario de la arista principal (o ángulo de entrada) está normalmente proyectado para proporcionar el ángulo adecuado de ataque, cuando la herramienta está en funcionamiento. El ángulo de posición complementario de la arista principal, y el ángulo de ataque, coinciden cuando el mango de la herramienta está situado perpendicularmente al eje de la pieza, o más correctamente, perpendicularmente a la dirección del avance. Cuando el mango no es perpendicular, el ángulo de ataque viene determinado por la posición de la arista principal y la línea imaginaria que es perpendicular a la dirección del avance.

El flujo de las virutas sobre la cara de corte resulta aproximadamente perpendicular a la arista de corte lateral, excepto cuando se efectúan pasadas de poca profundidad. El espesor de la viruta sin deformar, se mide perpendicularmente al filo de corte lateral. A medida que se aumenta el ángulo de ataque, aumenta la longitud de la viruta en contacto con el filo de corte, y la viruta se hace más larga y más delgada. Este efecto es el mismo que cuando se aumenta la profundidad de pasada o se disminuye el avance, aunque actuando sobre el ángulo de ataque se mantienen la profundidad de corte y el avance, obteniéndose también la misma cantidad de viruta. El efecto de alargar la viruta y disminuir el espesor de la misma por medio del aumento del ángulo de ataque, resulta muy beneficioso puesto que aumenta la duración de la herramienta para una velocidad de corte dada, o bien puede aumentarse la velocidad de corte.

Angulo de salida.

Angulo de salida o ángulo de posicionamiento de la arista secundaria. Es importante cuando se produce el desgaste de la herramienta por efecto de la craterización. Frecuentemente, el cráter se alarga hasta romperse a través del filo de corte secundario, justamente detrás de la punta, produciéndose la fractura de la herramienta en breve tiempo.

El reducir el ángulo de salida, tiende a alargar el tiempo en que se produce la fractura por craterización.

II.5 Descripción física de la herramienta.

Los términos y definiciones que se refieren a las herramientas de una sola punta pueden variar según los diferentes fabricantes, las que se indican a continuación suelen ser de empleo general.

Herramienta de una sola punta.

El término se aplica a las herramientas para el torneado, cepillado, mandrinado, etc., que tienen un solo filo de corte principal en un solo extremo. Este filo de corte puede estar formado en el extremo de una barra sólida de acero, o bien, la parte activa de la herramienta puede estar formada por un inserto o plaquita que se mantiene unida al cuerpo de la herramienta por medio de soldadura con latón, otros tipos de soldaduras o por procedimientos mecánicos.

Herramienta de corte lateral.

Tiene su filo de corte principal en uno de los lados de la zona de corte de la herramienta. El filo de corte principal puede ser paralelo al eje de la herramienta, o formar un determinado ángulo.

Herramienta de corte frontal.

El filo de corte principal está en el extremo de la parte de corte (o parte activa) de la herramienta. El filo de corte principal puede ser perpendicular al eje de la herramienta, o formar un determinado ángulo.

Herramienta de filo de corte curvo.

El ángulo de entrada es continuamente variable. El filo de corte tiene normalmente la forma de una curva de suave y continua variación, a lo largo de toda su longitud o de una gran parte de la misma.

Herramienta derecha.

Tiene su filo de corte principal en el lado derecho. Como es normal en el torno, el avance de la herramienta hacia la pieza se produce de derecha hacia la izquierda cuando se observa desde el extremo del mango.

Herramienta izquierda.

Tiene su filo de corte principal en el lado izquierdo. Como es normal en el torno, el avance de la herramienta hacia la pieza se produce desde la izquierda hacia la derecha cuando se observa desde el extremo del mango.

Herramienta neutra.

Es una herramienta que puede cortar tanto de derecha a izquierda como de izquierda a derecha, o bien el corte puede efectuarse paralelo al eje del mango.

Nariz o punta.

Este es un término general que se usa a veces para designar el extremo de corte, pero más comúnmente se refiere a la punta redonda del extremo de corte.

Cara de corte.

La superficie sobre la cual se apoyan las virutas, a medida que se produce el maquinado, se denomina cara de corte.

Filo de corte lateral.

Es el filo de corte localizado en el lateral de la herramienta. Existen herramientas que efectúan la mayor parte del trabajo de corte con esta arista, por lo que debido a ello, se denominan a veces, herramientas de filo de corte lateral (se llama también arista o filo principal).

Filo de corte frontal.

Es el filo de corte localizado en el extremo de la herramienta. En las

herramientas de corte de filo lateral, el filo de corte frontal puede emplearse para ligeras pasadas de refrentado. Estas herramientas y aquellas otras previstas inicialmente para cortar con la arista frontal, se llaman a veces herramientas con filo de corte frontal.

Radio de la punta.

La punta es una parte muy crítica del filo de corte, puesto que proporciona a la pieza el acabado superficial. Si la punta se hace en forma afilada, el acabado superficial resultará normalmente inaceptable, y la duración de la herramienta será corta. Por ello, se requiere un radio en la punta para obtener un acabado superficial aceptable así como una mayor duración de la herramienta. El acabado superficial viene determinado por el valor del avance y por el radio de la punta, considerando otros factores como material de la pieza, velocidad de corte y fluido de corte. Un radio grande en la punta, proporcionará un buen acabado superficial y permitirá el empleo de un avance mayor.

II.6 Rompevirutas.

Muchas herramientas de torneado de acero están provistas de dispositivos rompevirutas para evitar virutas largas y continuas que se producen al trabajar estos materiales a altas velocidades. Las virutas largas de acero son peligrosas para el operario, molestas de manejar y pueden enrollarse alrededor de la herramienta y causar daño. Las virutas rotas no solamente ocupan menor espacio, sino que permiten que el refrigerante alcance mejor al filo y reduzca el calor transmitido por las virutas a la herramienta.

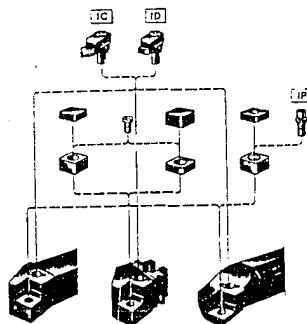
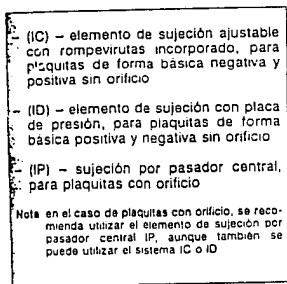
II.7 Insertos cambiables.

Estos insertos se llaman también plaquitas desechables o plaquitas no reutilizables. Se emplean en una gran proporción en herramientas de una sola punta. Son herramientas a base de plaquitas desechables y portaherramientas para estas plaquitas. También existe la combinación en el empleo de estas plaquitas, que trabajando conjuntamente, dan origen a herramientas de múltiples filos. Los platos fresa de carburo cementado y estructura más moderna, son del tipo de insertos cambiables. Las fresas frontales de tamaño grande, las fresas de corte lateral o fresas

de ranurar, las herramientas de mandrinar y una amplia variedad de herramientas especiales, se construyen para el empleo de plaquitas desechables. Estos insertos se fabrican principalmente de carburo cementado, aunque la mayoría de las herramientas de óxido cementado se construyen también como plaquitas desechables.

El objeto de este tipo de herramientas consiste en proporcionar un inserto dotado de varios filos de corte. Cuando el filo de corte se ha desgastado, se cambia de posición la plaquita, en el mismo portaherramientas, y así, hasta que se hayan gastado todos los filos de corte, después de lo cual, la plaquita se tira. El inserto no está previsto para ser reafilado. Las ventajas que con ello se obtienen son: que los filos de corte pueden cambiarse rápidamente sin quitar el portaherramientas de la máquina; se eliminan los costos del reafilado, y el costo del inserto resulta menor que el costo de una herramienta similar de plaquita de carburo soldada. Desde luego, debe añadirse el costo del mango al del inserto; sin embargo, un portaherramientas durará un largo tiempo antes de que deba a su vez, ser desechado.

Muchos materiales tales como la fundición gris, forman una viruta discontinua. Para estos materiales, debe emplearse siempre un inserto que tenga caras sencillas sin rompevirutas. Los aceros y otros materiales dúctiles forman una viruta continua que debe romperse en pequeños segmentos cuando se obtienen en tornos y cepilladoras con herramientas de una sola punta de carburo cementado u óxido cementado; de no hacerlo, las virutas pueden causar daño al operario. En este caso, debe emplearse un rompevirutas. Algunos insertos están fabricados con ranuras rompevirutas moldeadas o rectificadas directamente en la plaquita. Cuando se emplean plaquitas con caras normales, se fija en la parte superior de la plaquita un rompevirutas tipo placa, de carburo cementado.



II.8 Portaherramientas para insertos cambiables.

Los portaherramientas para insertos cambiables se construyen de un buen acero, templado a una dureza de 44 a 48 HRC. para la mayoría de aplicaciones normales. Los alojamientos de precisión se mecanizan en el extremo de los portaherramientas y sirven para sujetar los insertos en la posición adecuada y proporcionar el apoyo necesario al mismo. En casi todos los casos se dispone de un asiento para el inserto, también de carburo cementado que se sujeta en el fondo del alojamiento por medio de un tornillo o de un pasador de fijación. Este asiento es necesario para proporcionar una superficie de apoyo plana sobre la que pueda apoyarse la plaquita o inserto y, en consecuencia, ello contribuye de forma eficaz a la capacidad del inserto para aguantar los esfuerzos de corte.

III MATERIALES PARA HERRAMIENTAS DE CORTE

Introducción.

La calidad de una herramienta de corte se caracteriza por:

- * Su capacidad para penetrar en el material a trabajar.
- * Su resistencia a la abrasión producida durante el corte.
- * Su resistencia a la compresión a altas temperaturas.
- * El tiempo en que el filo es capaz de conservar sus características cortantes.

El material de las herramientas, su geometría, su calidad de afilado y las condiciones de corte seleccionadas, son los aspectos que determinan el éxito de cada aplicación en que está involucrada la transformación de metales con desprendimiento de viruta.

Mecanismos usados en las herramientas de corte.

El corte de metales involucra una extensiva deformación plástica en la punta de la herramienta, gran temperatura y severa fricción en las interfaces de la misma, rebaba y pieza de trabajo. La mayoría de la deformación plástica y fricción es convertida en calor. En el corte alrededor del 80% de este calor se va en la rebaba, pero el otro 20% permanece en la punta o filo de la herramienta produciendo altas temperaturas ($\geq 1000^{\circ}\text{C}$ ó 1800°F). El esfuerzo en la punta de la herramienta es también alto, los esfuerzos dependen de la pieza de trabajo y de las condiciones de maquinado. En suma, la herramienta puede experimentar repetidos impactos durante cortes interrumpidos, y la rebaba producida en el momento puede producir interacción química con el material de la herramienta. La herramienta de corte por lo tanto, es sujeta a una variedad de condiciones hostiles. Por estos motivos, pueden existir los siguientes problemas:

- * Cráteres formados por el desgaste.
- * Bordes acumulados.
- * Desgaste Abrasivo.
- * Fatiga Térmica.
- * Muescado.

De aquí de la necesidad de encontrar materiales cada vez más fuertes, tenazes, resistentes a la abrasión y con capacidad de corte. Estos son algunos de los materiales desarrollados y más comúnmente empleados.

III.1 Aceros de Alta Velocidad.

Los aceros son nombrados de alta velocidad por su facilidad para cortar materiales a altas velocidades. Existen complejas aleaciones de carbono, cromo, vanadio, molibdeno, tungsteno y combinaciones de ellos, con base de hierro, y en algunos casos tienen cobalto. Las propiedades principales de estos elementos son:

1. Alta templabilidad. (Dureza)
2. Alta resistencia al desgaste.
3. Alta resistencia y Dureza a altas temperaturas.
4. Buena Tenacidad.
5. Alta velocidad de corte comparados con los aceros aleados indeformables y los aceros al carbón

La clasificación que (AISI. American Iron Steel Institute) para aceros de herramientas de corte de alta velocidad proporciona se basa en dos tipos; 1. Un sistema tipo "T" para aceros los cuales tienen tungsteno como uno de sus elementos principales básicos en la aleación. 2. Un sistema tipo "M" en el cual el componente principal es molibdeno. En este sistema se emplea la letra "T" o "M" para definir el tipo de aleación y además se añade un número a continuación de esta (el número no tiene ningún significado especial). La siguiente tabla nos muestra todos los tipos de aleaciones que AISI tiene para estos aceros en base de molibdeno y tungsteno.

Composición de los aceros para herramientas de alta velocidad.

<u>Tipo AISI</u>	<u>Designación UNS</u>	<u>C</u>	<u>Si</u>	<u>Cr</u>	<u>V</u>	<u>W</u>	<u>Mo</u>	<u>Co</u>
M 1	TI 1301	0.83	0.35	3.75	1.18	1.75	8.70	----
M2								
Regular C	TI 1301	0.83	0.33	4.13	1.98	6.13	5.00	----
High C		1.00	0.33	4.13	1.98	6.13	5.00	----

Herramientas de acero de alta velocidad de base molibdeno.

Tipo AISI Designación UNS C Si Cr V W Mo Co

Herramientas de acero de alta velocidad de base molibdeno.

M3

Class 1	T11313	1.05	0.33	4.13	2.50	5.88	5.63	----
Class 2	T11323	1.20	0.33	4.13	3.00	5.88	5.63	----
M4	TI 1304	1.33	0.33	4.25	4.13	5.88	4.88	----
M6	TI1306	0.80	0.33	4.13	1.50	4.25	5.00	12.0
M7	TI 1307	1.01	0.38	3.75	2.00	1.75	8.70	----

M10

Regular C	TI 1310	0.89	0.33	4.13	2.00	----	8.13	----
High C	---	1.00	0.33	4.13	2.00	----	8.13	----
M15	TI 1315	1.50	0.33	4.00	5.00	6.50	3.50	5.0
M30	TI 1330	0.80	0.33	4.00	1.25	2.00	8.00	5.0
M33	TI 1333	0.89	0.33	3.75	1.18	1.70	9.50	8.25
M34	TI 1334	0.89	0.33	3.75	2.10	1.75	8.48	8.25
M35	TI 1335	0.80	0.33	4.00	2.00	6.00	5.00	5.0
M36	TI 1336	0.85	0.33	4.13	2.00	6.00	5.00	8.25
M41	TI 1341	1.10	0.33	4.13	2.00	6.63	3.75	8.25
M42	TI 1342	1.10	0.40	3.88	1.15	1.50	9.50	8.25
M46	TI 1346	1.26	0.53	3.95	3.15	2.05	8.25	8.30
M48	TI 1348	1.50	0.33	3.88	3.00	10.0	5.13	9.00
M50(a)	TI 1350	0.80	0.40	4.13	1.00	----	4.45	----
M52(a)	TI 1352	0.91J	0.40	400	1.93	1.25	4.45	----
M62	T 11362	1.30	0.28	3.88	2.00	6.25	10.5	----

Herramientas de acero de alta velocidad de base tungsteno.

TI	T12001	0.73	0.30	4.13	1.10	18.00	----	----
T4	T12004	0.75	0.30	4.13	1.00	18.25	0.70	5.00
T5	T12005	0.80	0.30	4.38	2.10	18.25	0.88	8.25
T6	T12006	0.80	0.30	4.38	1.80	19.75	0.70	12.0
T8	T12008	0.80	0.30	4.13	2.10	14.00	0.70	5.00
T15	T12015	1.55	0.28	4.38	4.88	12.38	1.00	5.00

(a) herramienta intermedia de acero de alta velocidad.

Todos ellos poseen:

- Un alto contenido de aleación.
- Suficiente carbono como para permitir durezas de 64 HRc.
- Dureza uniforme.
- Dureza a altas temperaturas y una velocidad de transformación tal, que sus pequeñas secciones pueden ser enfriadas por aire continuo y mantener su dureza.

Todas las herramientas de acero de alta velocidad poseen una gran cantidad de partículas de carburo, las cuales contribuyen a incrementar su resistencia al desgaste. Estas herramientas a su vez poseen muy buenas propiedades físicas y mecánicas. Básicamente la propiedad más importante de los aceros de alta velocidad es su habilidad para cortar, la cual depende de una combinación de propiedades, donde las cuatro más importantes son:

- a) Dureza (resistencia a la penetración por punta de diamante).
- b) Dureza a altas temperaturas.
- c) Resistencia al desgaste (frecuentemente medido metal-metal).
- d) Tenacidad (habilidad para absorber energía de impacto).

La importancia de estas propiedades depende de cada aplicación. Dentro de éstas tenemos altas velocidades de maquinado las que requieren una composición con alta dureza y máxima resistencia al ablandamiento por altas temperaturas. La dureza, además de incrementar la vida de la herramienta, es necesaria para cortar materiales duros y debe existir un balance entre esta y la tenacidad requerida, la cual depende de la aplicación que se le dé a la herramienta.

Ahora veremos cuales son algunos de los efectos de los elementos en la aleación. Como ya mencionamos anteriormente la serie "M" es aquella que tiene molibdeno pero solamente en cantidades de 3.5 a 10% y los demás cromo, vanadio, cobalto y a veces tungsteno. Por el contrario los de tipo "T" contienen cantidades de 12 a 20% de tungsteno con combinaciones de cromo, vanadio, cobalto y algunos otros elementos de aleación. Generalmente los aceros de tipo "M" tienen una gran resistencia a la abrasión comparados con los de tipo "T", los cuales son aceros que tienen baja distorsión en el tratamiento de calor y también son de bajo costo. Las herramientas

para grandes velocidades pueden llevar en su aleación titanio o carburo de titanio, así como otros numerosos componentes físicos para poder incrementar su utilidad y la vida de la misma.

III.1.1. Aplicaciones de los aceros para herramientas de alta velocidad.

Las aplicaciones de las herramientas de corte son demasiadas, las más conocidas son: Torneado y fresado. Regularmente todo tipo de proceso de fabricación tiene herramientas de corte. Las aplicaciones de estas herramientas son muy variadas y existen dos denominaciones: El primer caso se denomina de un sólo punto de corte y el segundo de múltiples puntos de corte. Para el primer caso se tiene que es aquel en que la herramienta corta a el material por un sólo punto, o sea que sólo tiene una superficie de corte y para el segundo caso se tiene que las herramientas tienen múltiples superficies de corte como por ejemplo las fresas, brocas, etc. El empleo de los diferentes tipos de aceros para herramienta dependen de la utilización que se le vaya a dar y el tipo de material que se va a cortar.

III.1.2. Proceso de Pulvimetalurgia.

Los aceros para herramientas de corte de alta velocidad, hechos en base al proceso de pulvimetalurgia, ofrecen distintas ventajas sobre los aceros convencionales de alta velocidad, los cuales como resultado de su vaciado en lingotes, frecuentemente contienen cuarzo, una microestructura no uniforme, baja tenacidad y de facilidad de afilado. Sólo presentan problemas en el control del tamaño y uniformidad en la dureza.

La pulvimetalurgia presenta una muy fina microestructura y proporciona una distribución uniforme de carburos e inclusiones no metálicas. Mediante este proceso se ha encontrado una gran tenacidad en los materiales, control dimensional durante tratamientos térmicos, facilidad de afilado y desempeño de corte bajo condiciones difíciles donde la buena tenacidad es esencial.

III.2. Carburos Cementados.

Los Carburos Cementados son compuestos por materiales refractarios, en los cuales las partículas duras de carburo están unidas, juntas o cementadas por un material de unión blando y dúctil. El primer carburo cementado, fue realizado de carburo de tungsteno con unión de cobalto.

III.2.1. Manufactura de los carburos cementados.

Los carburos cementados son manufacturados por medio del proceso de pulvimetalurgia que consiste en una secuencia de pasos, los cuales deben ser controlados cuidadosamente, para obtener el producto final con las propiedades deseadas, microestructura y desempeño. Los pasos son los siguientes:

- * Proceso del mineral y preparación de los polvos de carburo de tungsteno.
- * Preparación de otros polvos de carburo.
- * Producción de grados (tipos) de polvos.
- * Compactación o consolidación de los polvos.
- * Sinterizado.
- * Postsinterizado.

Características:

- * Conservan buena dureza aún a temperaturas de 1100°C.
- * Las velocidades de corte son de 4 a 6 veces mayores que las empleadas con aceros rápidos.
- * Las pastillas o insertos de carburo se obtienen mediante el proceso de sinterizado.
- * La forma y filo pueden obtenerse durante el sinterizado o mediante el afilado.
- * Para la fundición gris y la mayoría de los metales excepto los aceros, las herramientas están compuestas de carburo de tungsteno con adición de carburo de titanio y tantalio.
- * La dureza es del orden de 80 HRC.
- * Las máquinas herramienta deben estar en buenas condiciones de ajuste.
- * Las máquinas deben ser robustas.

III.2.2. Procesos de preparación del carburo de tungsteno.

Existen dos procesos por medio de los cuales los polvos de carburo de tungsteno pueden ser producidos.

Tradicionalmente el mineral de tungsteno y óxidos de tungsteno son procesados químicamente con amoníaco. Estos componentes son rebajados en hidrógeno, para el polvo metálico de tungsteno. Los polvos finos de tungsteno son mezclados con carbono y luego calentados en una atmósfera de hidrógeno entre 1400 y 1500°C para

producir partículas de carburo de tungsteno de tamaño entre 0.5 a 30 micras. Cada partícula está compuesta por numerosos cristales de carburo de tungsteno, pequeñas partículas de tantalio, cromo, o vanadio son algunas veces adheridas a los polvos de tungsteno y carbono antes de la carburización, para producir polvos más finos.

El más reciente desarrollo es un proceso patentado, en el cual el carburo de tungsteno es producido en forma de cristales a través de la reducción directa del mineral de tungsteno. El mineral es mezclado con óxido de hierro, carbono y carburo de calcio. A alta temperatura se produce una reacción exotérmica alrededor de 2500°C la cual produce una masa derretida que cuando se enfría contiene cristales de carburo de tungsteno dispersos en el hierro y la escoria contiene las impurezas. Los cristales de WC son separados de la matriz de hierro.

III.2.3. Carburos de tungsteno-titanio-tantalum (niobium).

Son usados en el maquinado de acero para resistir el desgaste y acción química, producidos de óxidos metálicos de titanio, tantalum y niobium. Estos óxidos son mezclados con polvos metálicos de tungsteno y carbono. La mezcla es calentada en una atmósfera de hidrógeno al vacío, para reducir los óxidos y formar una solución sólida de carburo como WC-TiC, WC-TiC-TaC, o WC-TiC-(Ta,Nb)C. El método que puede ser usado para producir WC-TiC en solución sólida se llama método de Menstruum. En este método los carburos son disueltos individualmente en níquel líquido. La solución sólida de carburo es después precipitada durante el enfriamiento.

III.2.4. Composición de los carburos cementados y microestructura.

El desempeño de las herramientas de carburo cementado depende de la composición y microestructura. Las propiedades del carburo cementado no sólo dependen del tipo de carburo sino también del tamaño de grano y del porcentaje de material de unión. Por ejemplo, el carburo de tungsteno y el carburo de molibdeno tienen estructuras de cristales hexagonales, mientras que los carburos de titanio, tantalio, niobium, vanadio, niobium y zirconio son cúbicas.

III.2.5. Herramientas de carburo revestidas.

Uno de los retos en el diseño de herramientas de carburo cementado es la optimización de la dureza asociada directamente con las aleaciones de WC-Co con una

resistencia superior a la de aleaciones de carburo que contienen altos niveles de carburo de titanio. Este reto a permitido el desarrollo de herramientas de carburo revestidas. Los carburos revestidos son los más producidos de toda la línea de insertos de materiales de corte vendidos en los Estados Unidos. El éxito de los carburos revestidos se basa en que mejoran la vida de la herramienta en aceros y hierros en un factor de 2 ó 3.

III.3. Herramientas con Recubrimientos con Aleaciones de Cobalto.

Las herramientas con recubrimientos con aleación de cobalto fueron una gran revelación entre el abismo que separa a los aceros de alta velocidad de los carburos, aunque bien son comparables en su dureza con los aceros de alta velocidad, estos pueden ser usados a más altas temperaturas y velocidades de corte. Los aceros de alta velocidad para obtener su dureza tienen que ser tratados térmicamente, mientras que los recubrimientos de cobalto no necesitan serlo.

Proceso.

El recubrimiento con aleaciones de cobalto es producido por electricidad o fundición inducida bajo una atmósfera protectora, y para herramientas de corte se procesa por medio de moldes permanentes de grafito.

El recubrimiento con aleaciones de cobalto se basa en una fase primaria de una solución sólida de cobalto enriquecido y endurecido por cromo y tungsteno, esa disposición fuerte y compleja, tiene muy buena dureza y es muy bueno como refractario.

Características:

- Buena dureza a temperatura elevada.
- Buena tenacidad.
- Resistencia a la abrasión regular.
- Buena capacidad para cortes en desbaste.

En el uso del recubrimiento de cobalto se deben considerar los siguientes puntos:

- 1.- Cuando la velocidad es baja en la cara de corte.
- 2.- Cuando la producción deseada es alta, hay que compararse con la utilización de otros tipos de herramienta.
- 3.- Cuando las carreras son cortas o el equipo es automático se debe considerar el costo.
- 4.- Cuando la fuerza o rigidez de la máquina no es suficiente como para soportar un carburo cementado efectivamente.
- 5.- Para diversas operaciones en las cuales las velocidades de una o más de ellas, se encuentra por arriba de la recomendada para carburos o aceros de alta velocidad.
- 6.- Para maquinados de superficies rugosas donde las superficies contienen materiales abrasivos así como arena residual, superficies oxidadas, escoria y partículas refractarias.

Aleaciones de carburo de tungsteno y cobalto.

El carburo de tungsteno unido con cobalto ofrece gran resistencia a la abrasión y por lo tanto, tiene muchas aplicaciones en materiales de corte.

III.4. Cerments.

Los cerments son polvos productos de la metalurgia, los cuales consisten de partículas cerámicas unidas a metálicas. El componente cerámico proporciona resistencia a la oxidación y alta dureza, mientras que el componente metálico incrementa la ductilidad y resistencia a choques térmicos.

La unión de componentes cerámicos con metales es un proceso muy complejo, el cual depende ampliamente de las propiedades de solubilidad en la fase líquida y la relación de fase de los materiales seleccionados.

III.4.1. Composición y Microestructura.

Los cerámicos son definidos como productos inorgánicos o no metales, sujetos a altas temperaturas durante su manufactura o uso. Típicamente pero no exclusivo, un

cerámico es un óxido metálico, boride, carburo o una mezcla de componentes de cada material. Bajo esta definición de cerámico, los siguientes materiales caen teóricamente dentro del grupo de los Cerments:

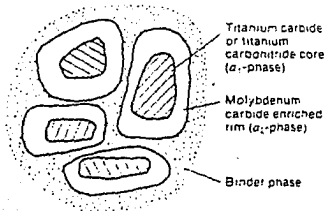
- WC + Co (Carburo de tungsteno más cobalto).
- WC/TiC/TaC+Co (Carburo de tungsteno/Carburo de titanio/Carburo de tantalum más cobalto).
- TiC + Ni (Carburo de titanio más níquel).
- Ti(C,N) + Ni/Mo (Carbonitruro de titanio más níquel/molibdeno).

Como sea la industria de las herramientas de corte considera sólo al carburo de titanio y al carbonitruro de titanio, materiales base para ser cerments, mientras que el carburo de tungsteno es nombrado carburo cementado.

III.4.2. Cerments de Carburo de Titanio.

Su aceptación fue limitada por su baja fuerza y alta fragilidad. Como sea el interés en el carburo de titanio continuo, sobre todo, por el bajo costo y disponibilidad de el óxido de titanio. Asimismo, la gran dureza, punto de fusión y resistencia a la oxidación del carburo de titanio comparado con el carburo de tungsteno prometió un gran potencial.

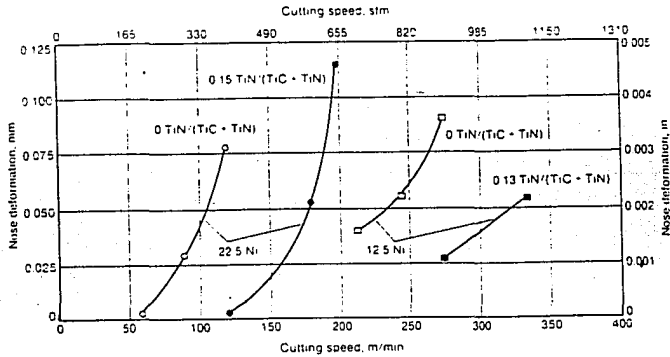
La pobre compatibilidad química del carburo de titanio con el níquel fue mejorada drásticamente con la adición de molibdeno o carburo del mismo. El centro del carburo consiste en carburo de titanio en fase alfa 1, mientras que los alrededores son enriquecidos con molibdeno de fase alfa2. La resistencia a la abrasión de cada compuesto varía con la temperatura de sinterización.



III.4.3. Cerments basados en Carbonitruros metálicos.

El desarrollo de cerments continúa con la introducción de carbonitruros metálicos. Titanio-molibdeno-carbono y componentes de nitrógeno en uniones metálicas, preferentemente consisten de níquel, molibdeno, cobalto o una combinación de ellos.

Adiciones de nitrógeno en la fase sólida producen dureza y reducen la deformación plástica en el filo.



Adiciones de cobalto en la fase de unión, tantalum y/o niobium en la fase sólida de un carbonitruto metálico complejo, sólo pueden mejorar el desempeño de corte de los cerments.

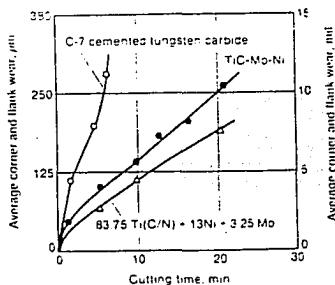
III.4.4. Propiedades y Grado de Selección.

Los fabricantes de materiales para herramientas de corte manejan las propiedades de sus componentes como propias. La comercialización cae dentro de dos categorías: Cerments de base carburo de titanio y Cerments basados en carbonitruto de titanio.

III.4.5. Cerments comparados con Carburos Cementados.

Los cerments de carburo y carbonitruto de titanio son más resistentes que los carburos cementados y permiten altas velocidades de corte que los carburos de

tungsteno o carburos revestidos. La siguiente comparación adicional con el carburo de tungsteno cementado ayuda en el éxito de la aplicación del carburo de titanio y carbonitruro de titanio cementado.



La dureza del carbonitruro de titanio cementado es aproximadamente comparable con la de carburos cementados. La influencia de la temperatura en la dureza nos lleva a propiedades similares por el sistema de unión del metal y su volumen determinan esta propiedad.

La fuerza de carburos cementados es aproximadamente de un 15 a 20% mayor que la del carbonitruro de titanio cementado. El rango de dureza del carbonitruro de titanio cementado, es menor que la de los carburos cementados, aplicaciones de trabajo pesado, limita el uso de estos cerments. La resistencia al choque térmico del carbonitruro de titanio cementado es menor que la de carburos cementados y restringe su uso el empleo de refrigerantes durante su aplicación.

III.4.6. La resistencia del Recubrimiento.

Los mecanismos de recubrimiento en los fillos de corte, están relacionados con la temperatura durante el mismo. Bajas temperaturas de corte producen presión de soldado, con lo cual obtenemos un refuerzo para el filo, altas temperaturas de corte producen difusión y oxidación en el proceso.

Contenido de Molibdeno.

La resistencia a la abrasión es afectada por el contenido del molibdeno en la unión de níquel del carburo de titanio cementado

III.4.7. Aplicaciones.

Las herramientas de corte de cerments son propias para el maquinado de aceros, hierro fundido, acero fundido y detallado de aleaciones no ferrosas libres de maquinado. Este tipo de herramientas son capaces de operar con mayores velocidades de corte que cementados o carburos revestidos, permitiendo el terminado de mejores superficies. La mayor razón en el empleo de herramientas de corte cerments, es su larga vida a través de una gran variedad de velocidades de corte.

El corte está relacionado con la alta temperatura y presión de corte en el filo de la herramienta. Las herramientas de corte cerments por su alta resistencia a la deformación plástica y su estabilidad termoquímica, ofrece una larga vida de la herramienta en comparación con los carburos cementados. Por otra parte, los insertos que son aplicados en operaciones de corte nos sirven para mejorar y controlar las dimensiones de corte y obtener buenas superficies de terminado.

III.5. Cerámicos.

El cerámico es un nuevo tipo de material para herramienta con potencial en un amplio rango de velocidades de corte y por su alta capacidad de remoción en materiales difíciles de maquinar. El desarrollo de las actuales herramientas cerámicas se baso parcialmente en el desempeño estructural del cerámico a alta temperatura y el proceso tecnológico desarrollado alrededor de los 70's para turbinas de gas y otras aplicaciones en alta temperatura.

Los cerámicos son materiales inorgánicos y no metálicos que están sujetos a alta temperatura durante su síntesis o uso. El empleo de materiales cerámicos en herramientas de corte después de un largo período y lento desarrollo comenzó a incrementarse con la llegada de aleaciones cerámicas y matrices cerámicas compuestas, así como con los avances en tecnología de proceso de cerámicos.

III.5.1. Proceso de Producción.

La producción de herramientas cerámicas involucra la consolidación y sinterizado de materiales en polvo. Los cerámicos actualmente empleados en cortes metálicos son basados en alumina o nitruro de silicio. Otros cerámicos son usados como aditivos para auxiliar el sinterizado o para formar compuestos cerámicos para

mejorar las propiedades termo-mecánicas, y como consecuencia estos materiales son aptos para ser usados como herramientas, por su alta dureza al calor y resistencia a la oxidación. Estas propiedades permiten a las herramientas cerámicas ser empleadas en altas velocidades de maquinado o en materiales difíciles de maquinar.

Como sea, la dificultad primaria es que los cerámicos poseen baja dureza en la fractura y esfuerzo transversal en la ruptura que los carburos. Las herramientas cerámicas además tienen baja resistencia al choque térmico, el cual depende de la dureza en la fractura.

Los intereses químicos son también importantes en altas velocidades de corte, ya que la Alumina es el material más inerte químicamente, mientras que el nitruro de silicio y el carburo de silicio son más reactivos con el cobalto y el hierro, es por eso el interés en el desarrollo de éstas.

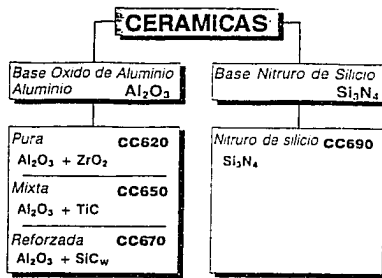
III.5.2. Herramientas de corte cerámicas.

La dirección que se debe tomar para incrementar la productividad en la industria del acabado superficial de metales, es cubrir la demanda en herramientas de corte. Así como las velocidades de remoción del metal, la necesidad de más materiales refractarios en herramientas de corte lo cual es evidente, y como consecuencia el desarrollo de herramientas cerámicas es de gran importancia en la productividad industrial. El desarrollo de estos cerámicos tomó cuatro rutas:

- (1) Alumina Al_2O_3 -de base cerámica.
- (2) Nitruro de silicio Si_3N_4 de base cerámica.
- (3) Recubrimientos Cerámicos.
- (4) Materiales Super Duros (diamante y nitruro cúbico de boro).

III.5.2.1. Cerámicas de corte.

Las cerámicas de corte se dividen en dos grupos básicos; el primero con base en óxido de aluminio (Al_2O_3) y el segundo con base en el nitruro de silicio (Si_3N_4).



La cerámica pura está compuesta por una base de alúmina con una pequeña cantidad de óxido de circonio, con el fin de incrementar su tenacidad. Con calidad para desbaste y semi-desbaste, principalmente para fundición y acero.

La cerámica mixta está compuesta por una base de alúmina con adición de carburo de titanio, con el fin de incrementar sus propiedades térmicas. Con calidad de uso general, especialmente para:

- Torneado de piezas endurecidas en acero y fundición.
- Acabado de superaleaciones termo-resistentes, fundición y acero.

La cerámica reforzada está compuesta por una base de alúmina con micro-filamentos de carburo de silicio, que contribuyen a incrementar su conductividad térmica y a mejorar considerablemente su tenacidad. Con calidad de desbaste y semi-acabado, tenaz y fiable, para:

- Superaleaciones termo-resistentes.
- Torneado de piezas endurecidas en acero y fundición.
- cortes intermitentes.

III.5.2.2. Herramientas con base en Nitruro de Silicio.

Las herramientas de corte con base de Nitruro de Silicio tuvieron utilidad en el maquinado de fundición de hierro, mientras que el Si₃N₄ es imposible de formar en un estado sólido sinterizado, usualmente contiene una gran variedad de adiciones sinterizadas; aluminio y oxígeno son adicionados para formar un material llamado Acronym SiAlON (silicio-aluminio-oxígeno-nitrógeno). Este material contenido en

alguna fase cristalina puede tener un gran desempeño en terminados de alta velocidad y operaciones semirugosas si la composición es exacta y la ruta del proceso de producción es la adecuada. Los materiales de base de nitruro de silicio han sido encontrados para mejorar el desempeño de las herramientas de corte y contienen como base alumina, así como los recubrimientos de ésta en herramientas de carburo cementado. Una ventaja adicional de las herramientas con base de Si_3N_4 es que estas pueden trabajar incluso en máquinas herramientas muy viejas. En general las máquinas herramientas tienen que ser construidas con mucha más rigidez para evitar la fractura en el cerámico y tener un mejor aprovechamiento de las herramientas cerámicas.

La cerámica basada en nitruro de silicio tiene unas propiedades térmicas y de tenacidad superiores a las cerámicas basadas en alumina. Con calidad para desbastes, en fundición.

Los programas de desarrollo que tiene la industria de herramientas de corte para 1994, apunta hacia las necesidades y requerimientos que tienen las modernas operaciones de corte y los materiales de la pieza a trabajar. Al mencionar modernas operaciones de corte, nos referimos al empleo de máquinas de CNC con grandes capacidades (5 ejes de trabajo y altas revoluciones por minuto). Y como reflejo de la alta aceptación de las cerámicas como materiales de corte y no como materiales exóticos empleados en algunas operaciones aisladas se crean distintas calidades de cerámica, geometrías de filo de corte y radios de punta, al objeto de lograr:

- Una mayor área de aplicación
- Un rendimiento óptimo
- Un número de combinaciones mínimo
- Porta plaquitas estándar en lugar de los exclusivos utilizados para las cerámicas

III.5.2.3. Herramientas con recubrimientos cerámicos.

Las herramientas con recubrimientos cerámicos son por otra parte, económicamente más redituables para muchas aplicaciones en comparación con otras herramientas. Las primeras herramientas con este tipo de recubrimiento fueron las herramientas cubiertas con multicarburo cementado, con una capa de TiC la cual actuaba como una barrera de difusión entre la herramienta y la pieza de trabajo, retardando el desgaste así como, la reacción química.

III.5.2.4. Herramientas con base en materiales superduros.

Los materiales superduros (diamante y nitruro cúbico de boro), ambos tienen la misma estructura cristalina, pero el primero como ya se sabe, es el más duro mientras que el nitruro de boro, posee la mitad de la dureza correspondiente al diamante. Estrictamente hablando, el diamante no se define como un cerámico, ya que está constituido por carbón puro, mientras que el nitruro cúbico de boro si es considerado como tal.

Con el descubrimiento de las propiedades de las cerámicas de corte y el nitruro de boro cúbico (CBN), el aprovechamiento de las herramientas de corte se han incrementado sustancialmente. Por la característica de la dureza en caliente así como por su buena resistencia al desgaste y estabilidad química que permiten incrementar de manera importante la productividad en muchas operaciones complejas de corte de metales. En los materiales de Cerámica y CBN modernos, se han conseguido minimizar las características negativas de los primeros materiales, con el objeto de explotar al máximo sus propiedades positivas.

III.6. Diamante y Nitruro Cúbico de Boro.

Son los dos materiales más duros conocidos y tienen numerosas aplicaciones en la industria, ambos como materiales abrasivos ultraduros y como herramientas de corte.

III.6.1. Comparación entre el diamante y nitruro de boro cúbico.

El diamante y el Nitruro de boro cúbico (CBN) son muy similares; ellos son los dos materiales más duros conocidos, y como ya se mencionó comparten la misma estructura cristalográfica. Asimismo, son muy diferentes. El diamante por ejemplo, se oxida en el aire, y reacciona con materiales ferrosos a temperaturas moderadas y es sujeto a grafitización. Mientras que el CBN, de otra manera es térmicamente estable, en el aire y en contacto con materiales ferrosos.

Como resultado de la diferencia de estas propiedades fundamentales tenemos una tabla básica de aplicaciones del diamante y el CBN.

El diamante es usado en el maquinado de materiales no ferrosos tales como:

1. Aleaciones de aluminio.
2. Aleaciones de cobre.
3. Plásticos abrasivos.
4. Composiciones de vidrio y carbono.
5. Cerámicos verdes.
6. Carburos de tungsteno.
7. Composiciones abrasivas de madera o plástico.
8. Rocas naturales.
9. Concreto.

El CBN es usado en el maquinado de materiales ferrosos tales como:

1. Herramientas de acero.
2. Hierros duros.
3. Fundición de hierro gris en fase perlítica.
4. Aleaciones duras.
5. Aceros y hierros endurecidos.

III.6.2. Resistencia al desgaste del Diamante.

En situaciones simples de desgaste abrasivo, el diamante es significativamente más resistente que cualquier otro material de herramienta de corte. El diamante es aproximadamente 10 veces más resistente al desgaste que el CBN y 100 veces más resistente que el carburo cementado de tungsteno.

III.6.3. Resistencia al desgaste del CBN.

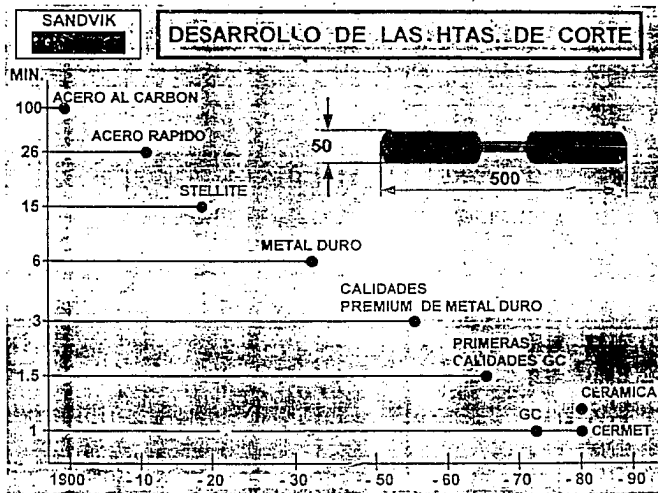
La resistencia al desgaste de las herramientas de CBN durante operaciones de terminado puede ser incrementada con la reducción del contenido de CBN en la herramienta.

Al estudiar el comportamiento de los nuevos materiales cerámicos y CBN, se descubrió que este último ofrece mayor dureza y resistencia a la fractura, aunque por otro lado, una menor resistencia química. Existiendo operaciones de corte donde son indispensables las propiedades de dureza y resistencia a la fractura por las

características de la pieza de trabajo y la resistencia química constituye un requisito esencial, una excelente solución fue la unión de herramientas CBN con elementos cerámicos.

Como resultado de la investigación y adelantos por muchos años, se dispone de una amplia variedad de materiales para herramientas de corte. La selección del material apropiado depende de factores como la operación de corte de que se trate, la máquina que se va a usar, el material de trabajo, los requerimientos de producción, el costo, el acabado de la superficie y la exactitud deseada.

El desarrollo de las herramientas de corte se muestra en la siguiente tabla, en la cual se observa como ha ido evolucionando a través de los años la capacidad de maquinado por medio de nuevos materiales. En la tabla se ve un ejemplo del tiempo que se tardaba en producir la proveta mostrada, a partir de los años de 1900, 1910, 1920, hasta 1990. Y como se ha minimizado éste, con la aparición de nuevos materiales.



III.6.4. Plaquitas CBN

Este tipo de herramientas se aplica principalmente para las operaciones de acabado, fundición y materiales termo-resistentes. Las propiedades de las plaquitas CBN aseguran la integridad del filo de corte en las operaciones indicadas, respetando tolerancias muy estrechas y proporcionando un acabado superficial de alta calidad. El rendimiento de este tipo de herramientas en términos de duración de la herramienta y grado de extracción del metal, puede ser hasta 100 veces mejor que el de las herramientas de carburo o de cerámica, aunque su costo puede ser entre 10 y 20 veces superior.

En estos últimos años con el desarrollo de cerámicas relativamente tenaces y materiales CBN, se ha hecho posible maquinar piezas endurecidas. El torneado de componentes en estado endurecido de hasta 48 HRC ofrece muchas ventajas con respecto al rectificado:

- Menores costos de herramientas (productos de consumo, espacio necesario y mano de obra).
- Menores costos de inversión. El costo de un torno suele ser una quinta parte del de una rectificadora, para una misma capacidad de producción.
- Versatilidad. El mismo torno para distintas operaciones, posibilidad de formas más complejas, mayor productividad por usillo y menores tiempos de ajuste. No se requiere mano de obra especializada y la automatización es más sencilla.
- Calidad. A menudo se opina equivocadamente, que el rectificado proporciona una mayor calidad que el torneado.

III.7 Tipos y calidades de plaquitas.

En general, todas las calidades básicas de plaquitas para maquinado se resumen en la siguiente tabla.

Material de la plaquita	Pieza de trabajo
Metal duro con recubrimiento	Inoxidable, Tronzado y Ranurado, Roscado
	Fundición
	Acero
Cerments	Acero inoxidable, Fundición
Cerámicas	Acero, Materiales endurecidos (acero, fundición), Super aleaciones termo-resistentes, Fundición
CBN y PCD	

Metal duro con recubrimiento para maquinado de Inoxidable, Tronzado y ranurado, Roscado.

TiN Ti(C,N)

La calidad de esta herramienta, es diseñada basándose en sustrato con un recubrimiento formado por 2 μm Ti(C,N) y 6 μm TiN. La calidad ha sido especialmente desarrollada para el torneado de acero inoxidable austenítico bajo buenas condiciones. Complementando velocidades de corte mayores de 130 m/min.

TiN TiC TiN

Una calidad resistente al desgaste con recubrimientos de TiN, TiC y TiN. El espesor total del recubrimiento es de 3 μm . Es la más adecuada para operaciones de roscado, ranurado y tronzado. Complementa la calidad en las operaciones de tronzado y ranurado a velocidades de corte más altas de 150 m/min.

TiN TiC TiN

Es una calidad extremadamente robusta con un revestimiento de tres capas de TiN, TiC y TiN, con un espesor total de sólo 3 μm . Excepcionalmente buena para el mecanizado discontinuo, el mecanizado de acero inoxidable y acero al carbono a velocidades bajas y para operaciones de tronzado. Trabaja a velocidades de corte menores de 130 m/min y la calidad de este material para el tronzado a velocidades de menores 150 m/min.

Metal duro con recubrimiento para maquinado de fundición.

Al₂O₃ TiC

Este material posee una capa espesa de Al₂O₃ recubriendo una capa de carburo de titanio. El revestimiento es de un espesor total de 10 μm . La capa espesa de Al₂O₃ aporta una gran resistencia al desgaste durante el mecanizado de fundición, especialmente a altas velocidades de corte. Siendo útil cuando se requiere una gran resistencia al desgaste durante el mecanizado de acero.

Al₂O₃ Ti(C, N)

Lleva una gruesa capa de Al₂O₃ sobre una capa de Ti(C, N) de grosor medio. El espesor total del recubrimiento es de aprox. 10 μm . La combinación de una capa gruesa resistente al desgaste y de un sustrato tenaz enriquecido con cobalto, proporciona a la calidad elevadas propiedades de resistencia al desgaste y de seguridad de filo de corte.

TiN Al₂O₃ TiC

Es una calidad con triple revestimiento de TiC, Al₂O₃ y TiN. El espesor total es de aproximadamente 8 µm. obteniendo un sustrato extremadamente tenaz, lo que la hace adecuada para operaciones de torneado bajo condiciones desfavorables.

Metal duro con recubrimiento para maquinado de acero.

TiN Al₂O₃ Ti(C,N)

Lleva un triple revestimiento de Ti(C,N), Al₂O₃ y una capa delgada de TiN. El espesor total es de aprox. 9 µm. Esta combinación proporciona una calidad de gran resistencia al desgaste en operaciones desde el mecanizado en desbaste medio hasta el acabado a velocidades de corte elevadas.

Al₂O₃ Ti(C, N)

Lleva una gruesa capa de Al₂O₃ sobre una capa de Ti(C, N) de espesor medio. El espesor total del recubrimiento es de aprox. 10 µm. La combinación de una capa gruesa resistente al desgaste y de un sustrato tenaz, enriquecido con cobalto, proporcionando excelentes propiedades de elevada resistencia al desgaste y de seguridad de filo.

TiC/TiN

Tiene un revestimiento de TiC y TiN. El espesor total de dicho revestimiento es de aprox. 8 µm. La combinación de sustrato tenaz más dos capas de compuesto de titanio duro proporciona a esta calidad una alta resistencia al desgaste junto con una buena tenacidad.

Cerments para maquinado de acero inoxidable y fundición.

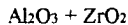
TiC/TiN

Es una calidad de metal duro con base de titanio que consiste en partículas duras de TiC/TiN cementadas con níquel/cobalto. Se consigue una mayor estabilidad química al utilizar titanio en lugar de tungsteno, además de una buena resistencia al desgaste de incidencia, a la craterización y una excelente resistencia al desgaste en entalla, deformación por blandura y deformación plástica, que aportan unas excelentes propiedades para operaciones de acabado a velocidades de corte altas y avances bajos.

TiC/TiN

Es una calidad de metal duro con base de titanio, con mayor contenido de TiN y de aglomerante, lo que resulta un incremento en la tenacidad. Combinada con las típicas ventajas de las calidades cermet, tales como una buena resistencia a la oxidación, al desgaste en entalla y a la deformación por blandura, es una calidad excelente para operaciones de acabado y semiacabado a velocidades de corte moderadas y a avances de bajos a medios.

Cerámicas para maquinado de acero, materiales endurecidos (acero y fundición), super aleaciones termo resistentes



Fundición y acero

Es una calidad de óxido cerámico puro con base de alúmina con una pequeña adición de dióxido de circonio para mejorar la tenacidad. Ha sido diseñado para aplicaciones en fundición y acero a velocidades de corte elevadas.

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$

Fundición, materiales endurecidos y super aleaciones termo-resistentes

Es una calidad de cerámica mixta con base de alúmina con adición de carburo de titanio. Se recomienda principalmente para operaciones de acabado de fundición, acero tratado, fundición tratada y super aleaciones termo-resistentes, que requieren una combinación de resistencia al desgaste y buenas propiedades térmicas.

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Micro-filamentos de carburo de silicio.}$

Super aleaciones termo-resistentes y materiales endurecidos

Es una calidad de cerámica a base de óxido de aluminio, reforzada con microfibras de carburo de silicio distribuidos entre el polvo base. Es particularmente adecuada para el mecanizado de super aleaciones termo-resistentes y materiales endurecidos.

Si_3N_4

fundición

Es una calidad de nitruro de silicio puro, adecuada para operaciones de mecanizado en desbaste y semi-acabado en fundición gris

Otros materiales especiales CBN y PCD

CBN-TiN

Acero tratado y fundición

Es una calidad de Nitruro de Boro Cúbico (CBN). Está basada en CBN con adición de nitruro de titanio. Ello proporciona a esta calidad buenas propiedades de resistencia química y al desgaste, para las operaciones de acabado de acero tratado y fundición endurecida.

CBN

Fundición y materiales endurecidos

Es una calidad de Nitruro de Boro Cúbico (CBN) puro. Calidad con propiedades de resistencia al desgaste muy elevadas. Esta es principalmente recomendada para fundición y materiales endurecidos, en condiciones difíciles.

PCD

Materiales no-férreos y no-metálicos

Es una calidad de diamante policristalino. Está compuesta de cristales de grano fino a medio, de un diámetro medio de 7 μm . Su uso se recomienda para operaciones de acabado y semi-acabado de metales no-férreos y materiales no-metálicos.

Geometría de plaquitas.

La geometría de la plaquita es muy importante, ya que ciertas características dependen de ella, como la tenacidad, dureza y el acabado de la pieza.

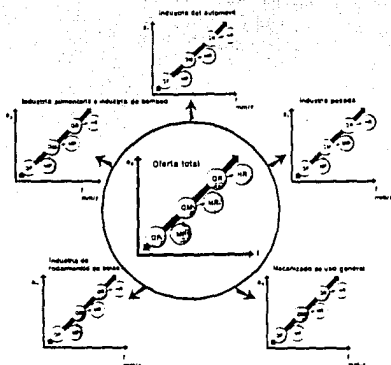
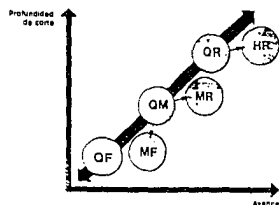


Tres geometrías son suficientes ...

El nuevo programa de plaquitas que se desarrolla actualmente en SANDVIK de México, es un concepto basado en geometrías de corte diferentes, que ha sido desarrollado para hacer frente a las necesidades actuales y futuras en el campo del torneado, tronzado, ranurado, perfilado y desahogos.

En las diferentes ramas de la industria existen similitudes entre los materiales de las piezas a trabajar, los datos de corte, las operaciones de mecanizado, etc. que hacen posible que se puedan formular geometrías de corte estandarizadas.

Un análisis similar de las necesidades en otras ramas de la industria del mecanizado del metal, nos lleva a la conclusión de que tres geometrías son normalmente suficientes, la serie Q, M, y H.



Elección de geometrías básicas de plaquetas T-MAX P

Geometría	Área de aplicación*	Características y ventajas
 -OF		OF para acabado <ul style="list-style-type: none"> • Plaqueta de sujeción para acabados • Producción excelente acabados superficiales • Durabilidad elevada • Precisa área de aplicación prof. de corte $a_p = 3,2 - 5,3$ mm velocidad $v = 21 - 33$ m/min
 -QM		QM para semiacabado y desbaste ligero <ul style="list-style-type: none"> • Plaqueta de sujeción para semiacabado • Amplia gama de ángulos de corte • Excelente rendimiento en una amplia gama de materiales • Ideal para aceros, metales duros y materiales que se mecanizan sin ser mecanizados • Precisa área de aplicación prof. de corte $a_p = 1,6 - 2,5$ mm velocidad $v = 0,2 - 1,3$ m/min
 -OR		OR para desbaste <ul style="list-style-type: none"> • Plaqueta de una cara para desbaste • Alta productividad incluso en "acabados de granada" templada • Gama muy amplia de ángulos de corte • Precisa área de aplicación prof. de corte $a_p = 3 - 12$ mm velocidad $v = 31 - 1,2$ m/min
 -MF		MF para acabado de alta productividad <ul style="list-style-type: none"> • Plaqueta de sujeción para semiacabado • Excelente control de ángulo a diferentes profundidades de corte y variados espesores de viruta • Máxima vida de herramienta • Mecanizado para superficies planas e inclinadas que se mecanizan sin ser mecanizados • Precisa área de aplicación prof. de corte $a_p = 2,5 - 2,5$ mm velocidad $v = 115 - 2,4$ m/min
 -MR		MR para operaciones de desbaste más económicas <ul style="list-style-type: none"> • Plaqueta de sujeción para desbaste • Su uso restringido a materiales que son fáciles de mecanizar para cortar, mecanizar y mecanizar de forma continua • Máxima aplicación para funciones • Precisa área de aplicación prof. de corte $a_p = 1 - 3$ mm velocidad $v = 33 - 2,7$ m/min
 -HR		HR para desbaste pesado <ul style="list-style-type: none"> • Plaqueta de una cara para desbaste pesado • Gama muy amplia de ángulos de corte • No de corte resaca • Precisa área de aplicación prof. de corte $a_p = 4 - 11$ mm velocidad $v = 7,8 - 1,7$ m/min

Plaquetas redondas T-MAX P para perfilar

Geometría	Características y ventajas	Área de aplicación
 -RCMT	-RCMT desde el desbaste hasta el acabado <ul style="list-style-type: none"> • Geometría de uso general de una sola cara • Buen acabado superficial • Gran control de corte • Buen control de ángulos de inclinación en un área de profundidad de corte amplia • Área de aplicación amplia • Aplicaciones de corte $a_p = 2,5 - 3,2$ • Velocidad $v = 31 - 1,2$ m/min 	
 -RCMX	-RCMX desde el desbaste hasta el acabado <ul style="list-style-type: none"> • Plaqueta de una sola cara que se mecaniza sin ser mecanizada • Excelente rendimiento • Precisa área de aplicación • Precisa área de aplicación • Precisa área de aplicación • Área de aplicación profunda • Profundidad de corte $a_p = 1 - 1,2$ mm • Velocidad $v = 33 - 2,7$ m/min 	

* Las áreas de aplicación indicadas son para una gama completa de una determinada geometría.

IV DESGASTE EN HERRAMIENTAS DE CORTE.

Introducción.

El desgaste puede definirse como el deterioro de la superficie debido al uso. Ocorre en una amplia variedad de operaciones, y en algunas industrias es muy elevado el gasto anual por concepto de reposición de piezas desgastadas. El desgaste es también muy importante en la práctica de la ingeniería; en muchos casos constituye el principal factor que limita la vida y el rendimiento de las herramientas de corte.

El desgaste puede ser destructivo o normal; pero aún cuando sea normal puede ser más severo de lo deseable, debido a la frecuencia con que tengan que reponerse esas partes. Ningún elemento de máquina es inmune al desgaste; este Fenómeno se manifiesta siempre que exista carga y movimiento.

No hay una regla general que sea válida para todas las manifestaciones del desgaste, este fenómeno está dado por toda una variedad de condiciones, tales como tipo y modo de la carga, velocidad, cantidad y tipo de lubricante temperatura, dureza, acabado de la superficie, presencia de materiales extraños y naturaleza química del medio. Así como, las condiciones varían en cada aplicación, también lo hacen las correspondientes manifestaciones de desgaste, además en la práctica, el desgaste es generalmente una combinación de una o más formas elementales.

La falta de acuerdo general en la nomenclatura y la falta de definición eficaz de las diferentes manifestaciones del desgaste (tales como escofinado, raspado, abrasión y corrosión) complican aún más el tema. Sin embargo, un método lógico de clasificar el desgaste sería según la naturaleza de la superficie de contacto:

1. Metal contra metal.
2. Metal contra no metal.
3. Metal contra fluido.

Esta clasificación a su vez, puede subdividirse en condiciones lubricadas y no lubricadas, fricción por deslizamiento o rodamiento, etc. Además, las condiciones pueden cambiar y lo que inicialmente era metal contra metal, podría volverse metal contra no metal o bien una lubricación que en un principio era adecuada podría fallar posteriormente. Por esta razón, la clasificación anterior pierde su utilidad en la práctica real de la ingeniería, por lo que se prefiere agrupar en términos generales.

Aunque existen algunas diferencias entre estas formas de desgaste, según la severidad de la acción, desde el punto de vista de la ingeniería, pueden ser agrupados bajo un solo título. Probablemente el tipo más importante de desgaste, puede denominarse una forma adhesiva de dicho fenómeno. Está causado por la acción cortante de microsoldaduras formadas entre las asperezas de la superficie que realmente llevan la carga entre dos superficies correspondientes. Este tipo de desgaste se presenta por la falla de la película que normalmente separa a las dos superficies. A su vez, la falla de la película está ocasionada por altas temperaturas, presiones y velocidades de corte.

IV.1. Adhesión y compatibilidad de metales.

El grado de adhesión de los metales determina la magnitud del esfuerzo cortante producido entre las superficies en contacto. La solubilidad y el carácter de la aleación de un par de metales indican la tendencia a formar una unión en la interfase. Por lo tanto, para que el par de metales sea resistente, debe cumplir dos condiciones.

1. Que ambos metales sean mutuamente insolubles (lo cual determina el número de uniones).
2. Que al menos uno de los metales sea del subgrupo B de la tabla periódica lo cual determina la resistencia de las ligaduras o afinidades formadas (tipo de unión).

Otro importante tipo de desgaste se denomina:

IV.2. Abrasión.

El desgaste abrasivo o de tipo cortante tiene lugar siempre que están presentes películas extrañas duras, tales como areniscas de metal, óxidos metálicos,

polvo y areniscas del medio, entre las superficies en contacto. Estas películas primero penetran en el metal y después rayan o desgarran partículas metálicas. Según su intensidad, el desgaste abrasivo puede ser en forma de socavadura o de rayado, este es uno de los tipos más comunes encontrados en la práctica de la ingeniería, y es probablemente la mayor causa aislada de desgaste en muchas de las herramientas de corte.

La complejidad del desgaste se acentúa al considerar el número de factores necesarios para describirlo. Los principales factores que intervienen en el desgaste pueden enumerarse en la forma siguiente:

1. Variables relacionadas con la metalurgia

Dureza

Tenacidad

Constitución y estructura

Composición química

2. Variables relacionadas con el servicio

Materiales de contacto

Presión

Velocidad

Temperatura

Acabado de la superficie

3. Otros factores que contribuyen

Lubricación

Corrosión

Además, el desgaste que ocurre en la práctica es, en la mayoría de los casos, una combinación de una o más formas elementales.

El concepto de desgaste entraña la presencia de pequeñas partículas entre las superficies en contacto. Es probable que las partículas productoras de abrasión comiencen por penetrar en el metal y después causen deterioro en la superficie, introduciendo esfuerzos que la agrietan y conducen a su desgaste. A continuación se estudia el efecto de estos factores.

IV.3. Factores más importantes que influyen en el desgaste de los materiales para herramientas de corte

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, la herramienta de corte es sujeta a una variedad de condiciones hostiles, el corte de metales implica una extensiva deformación plástica en la punta de la herramienta, alta temperatura y gran fricción en las interfaces de la misma, rebaba y pieza de trabajo. También la herramienta puede estar sometida a repetidos impactos durante cortes interrumpidos, y la rebaba producida en el momento puede tener interacción química con el material de la herramienta. Por ello, los factores que se consideran de mayor importancia en el desgaste de la herramienta, son:

Dureza.

Se sabe que por lo general, la tasa de desgaste decrece conforme aumenta la dureza del material, siempre que los demás factores permanezcan constantes. Y a fin de aumentar la resistencia al desgaste, debe incrementarse la dureza mediante aleación o tratamiento térmico.

Carga.

Se ha descubierto que el desgaste se incrementa en forma casi proporcional a la carga. Sin embargo, esta relación se pierde con el calor de fricción.

Temperatura.

La tasa de desgaste se incrementa con la temperatura, debido a un decremento de la dureza, a deformaciones plásticas y a corrosión por oxidación.

Velocidad de deslizamiento.

El decremento de la fricción y el desgaste al elevarse la velocidad de deslizamiento, se debe a la mayor inclinación del gradiente de temperatura; y como el área efectiva de contacto puede reducirse, queda menos tiempo disponible para ceder bajo la carga aplicada.

Así pues, cabe concluir que, para altas velocidades de deslizamiento, el desgaste está influido por dos factores:

1. Desarrollo de altas temperaturas.
2. Propagación de deformación plástica.

Contaminantes.

Los contaminantes pueden ser benéficos (lubricantes o películas en la superficie). La presencia de películas o lubricantes de baja resistencia al corte para superficies sólidas reduce la fricción y el desgaste de las superficies que se deslizan entre sí.

El efecto de los óxidos, las más comunes películas de superficie, pueden resumirse como sigue:

1. La formación de óxido en presencia de agua puede conducir a la formación de radicales libres altamente reactivos, lo cual conduce a la corrosión.
2. Bajo condiciones de deslizamiento leve, el óxido puede evitar el contacto de metal a metal.
3. Bajo condiciones más severas y en ausencia de un lubricante activo en la superficie, el óxido se depositará por sí mismo en la superficie del metal.
4. En presencia de un lubricante activo en la superficie, el óxido se desprende de la superficie y provoca una forma leve de desgaste.
5. En un material policristalino, la oxidación puede conducir a la formación de asperezas, debido a las diferentes tasas de acción en los diferentes planos cristalográficos.

Efectos ambientales.

Los efectos corrosivos de los productos químicos y los efectos erosivos de las sustancias al fluir por una superficie, provocan desgaste en una forma que corresponde a las condiciones ambientales existentes.

Aunado a las características anteriores, podemos mencionar otros tipos de desgaste, los cuales incurren por diversas causas y tienen gran importancia en el estudio de las herramientas de corte.

IV.4. Tipos de desgaste.

- Desgaste corrosivo. Cuando las condiciones propicias para el desgaste adhesivo o el abrasivo coexisten con las que causan la corrosión, los procesos actúan de manera combinada para producir un desgaste corrosivo.

- Desgaste por fatiga superficial. Fenómeno que ocurre en superficies curvas en contacto de rodamiento o deslizamiento, en el que esfuerzos cortantes cíclicos subsuperficiales inician microgrietas que se propagan a la superficie, propiciando desprendimiento de partículas y formando huecos.

- Desgaste por deformación. Aparece como resultado de deformación plástica repetida en las superficies sometidas a desgaste, produciendo una matriz de grietas que crecen y se aglomeran para producir partículas de desgaste. A menudo es causada por intensas cargas de impacto.

- Desgaste por impacto. Es una deformación elástica repetida que se induce por impacto en la superficie expuesta al desgaste y que produce una matriz de grietas; éstas crecen del mismo modo que en el de la fatiga superficial.

- Deformación por impacto. Impactos repetidos inducen deformaciones elásticas cíclicas que inician una matriz de grietas de fatiga, las cuales crecen hasta producir la falla por el fenómeno de fatiga superficial ya descrito.

- Fatiga por impacto. Ocurre cuando se aplican repetidamente cargas de choque a un elemento mecánico hasta que se produce la falla por nucleación y propagación de una grieta de fatiga.

De esta misma manera existen muchos otros tipos de fallas o desgastes, y los enumerados anteriormente son los más importantes en el estudio de las herramientas de corte, o principalmente en los materiales con que éstas están compuestas. A continuación en esta parte nos enfocaremos al desgaste de las herramientas, el como se lleva a cabo, las causas que lo provocan y cuales son los efectos sobre éstas. Y por último como se han utilizado nuevos materiales para disminuir los efectos del desgaste.

Las herramientas para cortar metal se desgastan constantemente mientras están en funcionamiento. Una magnitud de desgaste que sea normal no debe ser causa de la preocupación hasta que la magnitud del desgaste alcanza un punto en el que la herramienta debe sustituirse. No es posible evitar el desgaste normal, que debe distinguirse de las roturas anormales de la herramienta y desgaste excesivamente rápido. La rotura de la herramienta y el desgaste con excesiva rapidez, indican que la herramienta no está trabajando correctamente, y es preciso efectuar determinadas acciones para corregir esta situación.

IV.5. Mecanismos del desgaste.

Existen varios mecanismos básicos que son causa del desgaste de la herramienta. Generalmente, se sobreentiende que el desgaste de la herramienta es debido al resultado de la abrasión que se produce por medio de las partículas duras del material de la pieza que rayan la superficie de la herramienta. El desgaste también se produce por la difusión o aleación del material de la pieza con el de la herramienta. En las zonas en las que las acciones de contacto son favorables, el material de la pieza reacciona con el material de la herramienta, originando un frotamiento en el material de esta última. El valor de este frotamiento depende de la temperatura en la zona de contacto y de la capacidad de reacción entre el material de la pieza y de la herramienta. La difusión o aleación también se produce cuando las partículas del material de la pieza se sueldan a la superficie de la herramienta. Estas deposiciones soldadas, resultan a menudo totalmente visibles en forma de incorporaciones al filo de corte, como partículas o capas de material de la pieza en el interior de un cráter o bien como pequeñas incrustaciones unidas a la cara de la herramienta. La difusión o aleación que tiene lugar entre estos depósitos y la herramienta, produce la debilitación de esta por debajo del punto en que se ha producido la soldadura. Frecuentemente estos depósitos se unen nuevamente a la viruta mediante soldadura, como consecuencia de un simple desprendimiento motivado por la fuerza de colisión de las virutas desprendidas. Cuando esto sucede, una pequeña cantidad de material de la herramienta puede ser arrancada únicamente con el depósito de material de la pieza.

Este mecanismo puede originar que se desprendan partículas del filo de corte, así como la formación de pequeños cráteres en la cara de la herramienta, a los que se conoce con el nombre de -picaduras-. También puede contribuir a hacer mayor el gran cráter que a veces se forma detrás del filo de corte. Entre los restantes mecanismos que pueden originar el desgaste de la herramienta se encuentran los fuertes gradientes

y choques térmicos que producen grietas en las proximidades del filo de corte que finalmente serán causa de la rotura de la herramienta. Esta condición puede tener su origen en el empleo de procedimientos inadecuados para el afilado de la herramienta, fuertes pasadas con corte interrumpido, o en una aplicación inadecuada del fluido de corte cuando el maquinado se efectúa a velocidades de corte elevadas. Las reacciones químicas que se producen entre los componentes activos de algunos fluidos de corte, aceleran a veces la formación del desgaste de la herramienta. La oxidación del metal calentado en las proximidades del filo de corte, contribuye también al desgaste de la herramienta particularmente cuando se emplean velocidades rápidas que originan elevadas temperaturas de corte. La rotura de filo de corte originado por la sobrecarga, cargas de choque fuertes, o inadecuado uso de la herramienta, no debe considerarse como desgaste normal y consecuentemente, debe corregirse.

Por otra parte, el desgaste que se produce en el costado de la herramienta, por debajo del filo de corte, es algo indetectable y no puede evitarse. No debe dar motivo de preocupación a menos que el desgaste se produzca con excesiva rapidez y la franja de roce resulte excesivamente grande. En la práctica, en vez de una medición precisa, se efectúa una apreciación visual, aunque en muchas ocasiones se ignora este desgaste y el desgaste de la herramienta se mide en función de la pérdida de medida en la pieza.

Sin embargo, la mejor medición es la que se hace basándose sobre la franja de roce. Cuando este desgaste llega a ser demasiado grande, la acción de frotamiento de la franja de roce contra la pieza se incrementa, debiéndose reemplazar el filo de corte.

Cuando se usa por primera vez una herramienta afilada, la magnitud inicial de desgaste del costado resulta muy grande en relación con el desgaste total subsiguiente. Bajo condiciones de funcionamiento normal, la anchura de la franja de roce del costado aumentará de una manera uniforme, hasta alcanzar un tamaño crítico a partir del cual, el filo de corte se deteriora completamente. Esto se denomina rotura catastrófica y el filo de corte debe cambiarse antes de que ello tenga lugar.

Cuando se corta a bajas velocidades con acero rápido, puede haber grandes periodos de tiempo en los que no se aprecie un aumento del desgaste. Para un material de pieza y un material de herramienta dados, el valor del desgaste del costado depende primordialmente de la velocidad de corte y después, del avance.

IV.5.1. Efectos del desgaste.

Deformación.

La deformación se produce en las herramientas de corte de carburo cuando se efectúa una pasada muy fuerte, empleando una velocidad de corte baja con un fuerte avance. En estas condiciones, una parte del filo adquiere mucha temperatura, y la fuerte presión de corte, comprime la nariz del filo bajando la altura de la cara de corte en esta zona. Ello reduce el desprendimiento en las proximidades de la punta, aumenta la anchura de la franja de rozamiento en esta zona y se acorta la vida de la herramienta.

Acabado superficial.

El acabado de la superficie no indica necesariamente una pobre prestación de la herramienta de corte, a menos que exista un rápido deterioro.

Un buen acabado superficial resulta, a veces, una exigencia. La principal causa de un pobre acabado superficial es el recrecimiento que se produce a lo largo del filo de corte de la herramienta. La eliminación de este recrecimiento producirá una mejora en el acabado superficial. El medio más efectivo para eliminar este recrecimiento del filo consiste en aumentar la velocidad de corte; cuando ésta se aumenta más allá de un cierto valor crítico se producirá una súbita y fuerte mejora en el acabado superficial. Las herramientas de carburo cementado pueden funcionar con éxito a velocidades de corte elevadas, en las que no se produce el recrecimiento del filo y se obtiene un buen acabado superficial. Siempre que sea posible, las herramientas de carburo cementado deben funcionar a velocidades de corte en las que se obtenga un buen acabado superficial; pero hay ocasiones, en que ello no es posible. Por otra parte, las herramientas de acero rápido no pueden actuar a velocidades de corte tan elevadas como para que no se forme el recrecimiento del filo. En estos casos, el método más efectivo de obtener un buen acabado superficial consiste en emplear un fluido de corte que tenga aditivos de azufre activo y cloro.

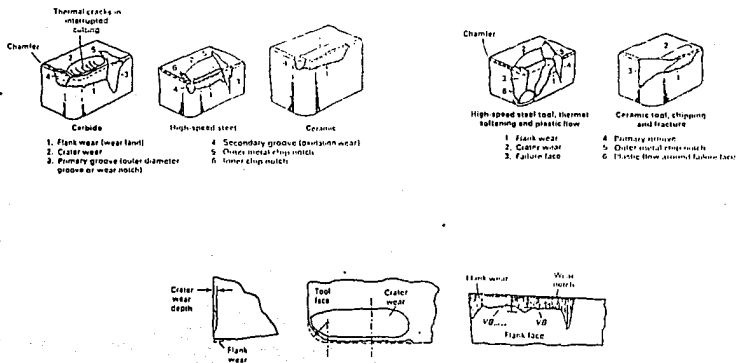
Los materiales de herramientas de corte que no se alean con rapidez con el material de la pieza, resultan también efectivos a la hora de obtener una mejora en el acabado superficial. Los dos principales materiales que entran dentro de esta categoría son; el carburo de titanio simple y el diamante.

La presencia de las señales del avance, puede dar al traste con lo que de otra forma sería un buen acabado superficial, por lo que debe prestarse atención al valor del avance y al radio de la punta de la herramienta si se desea un buen acabado superficial. También suele resultar útil el introducir cambios en la geometría de la herramienta. Un pequeño plano o filo de corte secundario, hecho mediante rectificación sobre el filo de corte por detrás de la punta, proporciona a veces el acabado superficial deseado. Finalmente, cuando la herramienta está trabajando no debe dejarse que el desgaste del costado sea demasiado grande, particularmente en la zona de la punta, en la que se produce la superficie acabada de la herramienta.

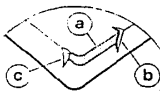
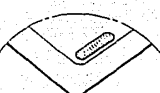
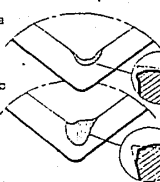
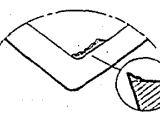
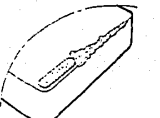
Los mecanismos de desgaste que se han descrito indican manifestaciones visibles de desgaste de la herramienta, que deben entenderse como tales, de forma que puedan aplicarse medidas correctivas cuando sea preciso. El mejor procedimiento para corrección de anomalías consiste en tratar de corregir una sola condición cada vez. Cuando se ha corregido esta condición, debe controlarse. Después que se ha corregido una condición, puede iniciarse el trabajo para corregir la siguiente.

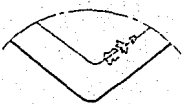
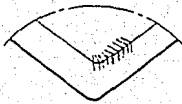
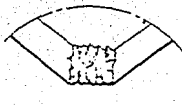
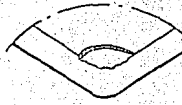
Como pudimos observar, el desgaste en las herramientas de corte es de vital importancia, ya que esto repercute en su utilización. Y cómo, la creación de nuevos materiales ó recubrimientos para herramientas es de suma importancia para así poder dar una mejor utilidad.

A continuación tenemos unas figuras que representan el desgaste y vida de la herramienta en forma de plaquitas.



Desgaste de la plaqueta y vida de la herramienta

Problema	Causa	Solución
<p>Desgaste en incidencia y por entalladura</p>  <p>a. Desgaste en incidencia rápido, lo que provoca un acabado superficial deficiente y ya no se respetan las tolerancias.</p> <p>b/c. Desgaste por entalladura que provoca un acabado deficiente, con riesgo de rotura del filo.</p>	<p>a. Velocidad de corte demasiado elevada o insuficiente resistencia al desgaste.</p> <p>b/c. Oxidación.</p> <p>b/c. Fricción.</p> <p>c. Oxidación.</p>	<p>Reducir la velocidad de corte.</p> <p>Seleccionar una placa con mayor resistencia al desgaste.</p> <p>Seleccionar una placa con recubrimiento de Al₂O₃ para aumentar la resistencia al desgaste.</p> <p>Para materiales que se endurecen al ser mecanizados seleccionar un ángulo de posición más pequeño; una placa con mayor resistencia al desgaste.</p> <p>Reducir la velocidad de corte. Pero cuando se mecanicen materiales termorresistentes con dióxido de cerámica, aumentar esta.</p> <p>Seleccionar una placa de metal duro.</p>
<p>Craterización</p>  <p>Craterización excesiva, por lo que el filo resulta debilitado. El filo de corte se rompe por la parte posterior, lo cual provoca un acabado superficial deficiente.</p>	<p>Desgaste por difusión debido a temperaturas de corte elevadas en el ángulo de desprendimiento de la plaqueta.</p>	<p>Seleccionar una calidad con recubrimiento de Al₂O₃.</p> <p>Seleccionar una placa de geometría positiva.</p> <p>Reducir primero la velocidad para conseguir una temperatura inferior, reducir después el avance.</p>
<p>Deformación plástica</p>  <p>a. Deformación plástica (sección (a) o incremento (b)) del filo que provoca un control de viruta y un acabado superficial deficientes. Riesgo de un excesivo desgaste en incidencia que lleva a una rotura de la plaqueta.</p>	<p>Una temperatura de corte demasiado elevada junto con una alta presión.</p>	<p>Seleccionar una calidad más dura con mayor resistencia a la deformación plástica.</p> <p>(a) Reducir la velocidad de corte.</p> <p>(b) Reducir el avance.</p>
<p>Filo de aportación</p>  <p>Filo de aportación (F.D.A.) que provoca un acabado superficial deficiente y una rotura del filo de corte cuando se arranca dicho filo.</p>	<p>El material de la pieza está soldado a la plaqueta debido a:</p> <p>Una baja velocidad de corte.</p> <p>Una geometría de corte negativa.</p> <p>Uso de material blanco, como por ejemplo, ciertos aceros inoxidables y aluminio duro.</p>	<p>Aumentar la velocidad de corte o cambiar a GC235.</p> <p>Seleccionar una geometría positiva.</p> <p>Incrementar la velocidad de corte en grandes proporciones. Si la vida de la herramienta resulta corta, aplicar grandes cantidades de refrigerante.</p>
<p>Martillado de las virutas</p>  <p>La parte del filo de corte que no está en contacto con la pieza está dañada por causa del martillado de las virutas. Tanto la cara superior como el soporte de la plaqueta pueden sufrir daños.</p>	<p>Las virutas tienen una longitud excesiva y son desviadas hacia el filo de corte.</p>	<p>Modificar ligeramente el avance.</p> <p>Seleccionar otra geometría de corte.</p> <p>Seleccionar una calidad más tenaz.</p> <p>Modificar el ángulo de posición de la herramienta.</p>

Problema	Causa	Solución
<p>Roturas</p>  <p>Pequeñas fracturas (roturas) del filo de corte causantes de un acabado superficial deficiente y un desgaste en incidencia excesivo.</p>	<p>Calidad demasiado frágil.</p> <p>Geometría de plaquitas demasiado débil.</p> <p>filo de aportación.</p>	<p>Seleccionar una calidad más tenaz.</p> <p>Seleccionar una plaquita con una geometría más robusta (chaffán más grande para plaquitas de cerámica).</p> <p>Aumentar la velocidad de corte o elegir una geometría positiva.</p> <p>Reducir el avance al empezar el corte.</p>
<p>Fisuras térmicas</p>  <p>Pequeñas fisuras perpendiculares al filo de corte, lo cual da lugar a una rotura y un acabado superficial deficientes.</p>	<p>Fisuras térmicas debidas a variaciones de temperatura causadas por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un mecanizado discontinuo. - Un suministro de refrigerante desigual o insuficiente. 	<p>Seleccionar una calidad más tenaz con mayor resistencia a los cambios bruscos de temperatura.</p> <p>El refrigerante debe aplicarse en abundancia, o no aplicarse.</p>
<p>Rotura de la plaquita</p>  <p>Rotura de la plaquita que daña no sólo a la plaquita misma sino también a la placa de apoyo y a la pieza a trabajar.</p>	<p>Calidad demasiado frágil.</p> <p>Carga excesiva en la plaquita.</p> <p>Geometría de la plaquita demasiado débil.</p> <p>Plaquita demasiado pequeña.</p>	<p>Seleccionar una calidad más tenaz.</p> <p>Reducir el avance y/o la profundidad de corte.</p> <p>Seleccionar una geometría más resistente, preferentemente una plaquita de una cara.</p> <p>Seleccionar una plaquita más gruesa o más grande.</p>
<p>Fractura en trozos - Plaquitas de cerámica</p> 	<p>Calidad demasiado frágil.</p> <p>Geometría de la plaquita demasiado débil.</p>	<p>Reducir el avance. Elegir una calidad más tenaz.</p> <p>Utilizar una plaquita con ángulo de corte mayor.</p> <p>Seleccionar una plaquita de chaffán más pequeño.</p>

V CONTROL NUMÉRICO Y TENDENCIAS.

Introducción.

La industria del corte de metal, cambió drásticamente durante la segunda guerra mundial. Las ambiciosas aeronaves y misiles de la fuerza aérea norteamericana requerían de una complicada manufactura de piezas perfectas, que las máquinas herramientas convencionales no podían realizar y menos en un futuro cubrir las necesidades. De esta manera, bajo contrato la Fuerza Aérea de los Estados Unidos y Parsons Corporation desarrollaron los Sistemas de Manufactura Flexibles para máxima productividad en el desarrollo, y así poder cumplir sus deseos de pequeñas y medianas producciones. Esta empresa subcontrató con el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) un sistema servomecánico que se combinaría con el anterior. Los cambios fueron realizados exitosamente por MIT, y en 1952 la máquina de tres ejes controlada con tecnología digital, fue desarrollada por Cincinnati Hydrotel. Esta tecnología digital fue denominada Control Numérico (CN). Es aquí donde comienza el desarrollo de los sistemas de CN para máquinas herramientas. Fue la demanda de manufactura con alta exactitud de partes complicadas y el deseo de reducir el tiempo de producción lo que lo propició.

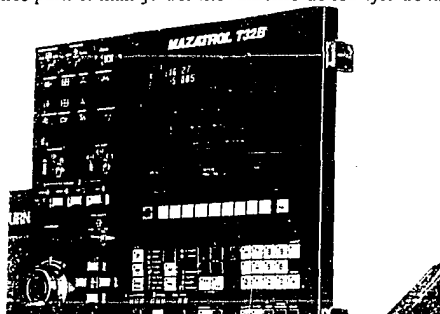
V.1. Evolución del Control Numérico.

Es indudable que el desarrollo del CNC fue propiciado por las necesidades que imperaban durante la 2da Guerra Mundial, a partir de esto, se han llegado a crear máquinas con capacidades y habilidades tales, que pueden lograr productos de calidades que ninguna persona aún con gran experiencia podría obtener. Para entender la importancia y la relación que existe entre el desarrollo de las herramientas y el CNC, es importante hacer mención de los logros que se han tenido en las últimas décadas sobre las máquinas herramientas.

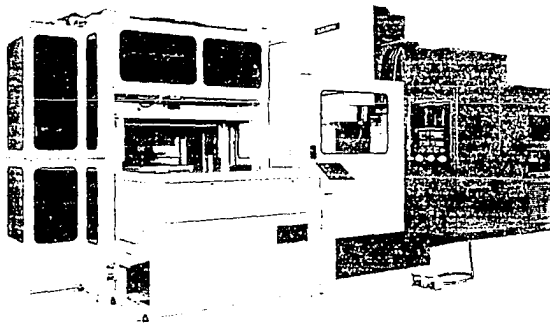
Los primeros controladores del control numérico se emplearon alrededor de los 50's, y estos usaban tubos al vacío los cuales eran extremadamente largos, posteriormente en los años 60's los controladores de bulbos fueron sustituidos por transistores los cuales contenían circuitos lógicos y controles digitales. Estas unidades fueron más rentables. Posteriormente la tercera generación de controles numéricos

fueron los que utilizaron circuitos integrados o chips, que por lo mismo son menos caros, más rentables y pequeños. Muchos de estos controladores de la tercera generación continúan en operación. Un importante avance en la filosofía de las máquinas herramientas de control numérico, tomó lugar en los 70's, la combinación de la computadora con el control numérico dio como resultado el gran CNC. Que trajo como consecuencia dos tipos de controles numéricos el C.N.C. (control numérico computarizado) y el D.N.C. (control numérico directo).

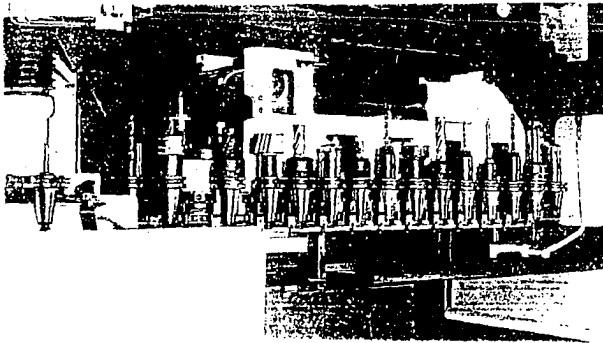
El funcionamiento del CNC, consistía en información almacenada en la computadora, para permitir al control numérico actuar de manera automática y repetitiva. En el DNC la diferencia con respecto al CNC, es que todo era controlado por una computadora central, pero básicamente la esencia del funcionamiento era lo mismo. De los dos tipos de controladores, el CNC fué mucho más viable para ser usado en los sistemas de manufactura, (por ejemplo: Máquinas Herramientas, Cortadores Láser, Soldadoras, etc.) quizás por su flexibilidad y menor costo. La preferencia del CNC sobre el DNC se incrementa como resultado de la capacidad y bajo costo de las minicomputadoras y microcomputadoras. Uno de los objetivos de los sistemas de CNC es reemplazar tanto como sea posible el hardware de control numérico convencional con software, y simplificar el hardware remanente. Existen muchas maneras de compartir el software con el hardware en dichos sistemas, pero todos involucran algún hardware en sus controladores. El software de CNC consiste en no menos de tres programas: 1) La parte del programa. 2) Programa de servicio. 3) Programa de control. La parte del programa, contiene una descripción de la geometría de la parte que va a ser producida y las condiciones de corte, así como, el manejo de velocidad y el rango de alimentación. El programa de servicio, es usado para checar, evitar y corregir las partes del programa así como un diagnóstico de la corrida del programa. El programa de control, acepta la parte del programa como entrada de datos y produce señales para el manejo del movimiento de los ejes de la máquina.



Los controladores de CNC en los 80's son más poderosos y usados que las primeras unidades. Ellos incorporan la localización de problemas como diagnósticos, autopruebas de los controladores y un modo de simulación mientras es usado en el análisis de la parte del programa sin movimiento de ejes. Muchos controladores ofrecen grandes facilidades de programación en tres dimensiones, animación de las herramientas con gráficos, base de datos de las herramientas y la preselección de los parámetros de corte. Las modernas máquinas controladoras trabajan como estaciones de trabajo en una red local. Esto permite la comunicación con otros controladores y en un futuro será integrado a sistemas de manufactura flexible. El control numérico fue introducido y desarrollado por la industria metal-mecánica y la gran concentración de equipos de control numérico permanecen en el máquinado del metal. El CNC ha sido exitosamente implementado para equipos de torneado, fresado, taladrado, laminado, etc. "Es interesante que," el control neumático ha hecho posible el desarrollo de máquinas con capacidades básicas que sobrepasan a las de las máquinas convencionales, por ejemplo: Las sofisticadas fresadoras de control numérico, que mantienen un control sobre 5 ejes de movimiento y pueden literalmente esculpir superficies complejas. Un nuevo respiro de las máquinas de CNC es el centro de máquinado y torneado que incorpora las funciones de muchas máquinas en una sola.



Un centro de máquinado puede tener múltiples herramientas para desempeñar operaciones como el taladrado, fresado, etc. Así como, un centro de torneado es un equipo con gran capacidad y con herramientas de cambio automático. Otros tipos de máquinas de CNC incorporan soldadoras, extrusoras, etc.



V.2. Fundamentos del Control Numérico.

Los equipos de control numérico han sido definidos por la asociación de la industria electrónica como un sistema en el cual las acciones son controladas por la inserción directa de datos numéricos. Los sistemas deben interpretar automáticamente los datos. Un sistema de control numérico típico, requiere de datos numéricos para la producción de partes, los cuales son contenidos en un disco o cassette y son llamados parte del programa. La parte del programa es tomada de los bloques de información, estos bloques contienen los datos numéricos que se requieren para la producción de la pieza de trabajo. Los bloques contienen en forma codificada toda la información necesaria para el procesado de la pieza de trabajo. La información dimensional y la forma del contorno son tomados de los dibujos de ingeniería. Las dimensiones son dadas separadamente por cada eje de movimiento. La velocidad de corte, el rango de alimentación y las funciones auxiliares son programadas de acuerdo a la superficie final, tolerancias y requerimientos de maquinado. Comparados con las máquinas convencionales, los sistemas de control numérico reemplazan el manejo manual del operador. En las máquinas convencionales, la pieza es producida por movimiento de la herramienta de corte a lo largo de la pieza de trabajo, mediante poderosos desplazamientos que son realizados por el operador. El corte del contorno es realizado por un operador experto. Por otro lado, los operadores de control numérico no necesitan ser muy hábiles. Ellos sólo necesitan un monitor de operaciones en la máquina para poder realizar todas las operaciones y sólo efectúan el cambio de la pieza. Las operaciones más inteligentes que pudieran ser realizadas por el operador, ahora son incluidas en la parte del programa. Como sea, aunque el operador trabaje

con sistemas inteligentes, caros y sofisticados, se necesita alguien preparado para tomar decisiones adecuadas para el buen funcionamiento del CNC. La programación debe ser realizada por un elemento con experiencia y conocimiento en ingeniería, mecánica, herramientas, fluidos de corte, técnicas de reparación, maquinabilidad, y procesos ingenieriles que son todos de gran importancia. La parte programable debe ser familiar con la función de las herramientas de la máquina y los procesos de la misma. Debe decidir la óptima secuencia de operaciones. El programa puede ser escrito manualmente o por un lenguaje de computadora.



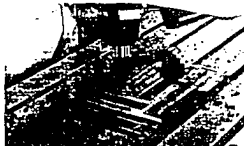
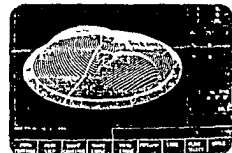
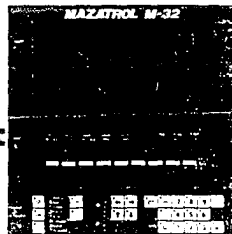
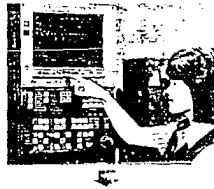
En las máquinas herramientas de control numérico, cada eje de movimiento es equipado de un manejo individual. El manejo puede ser realizado por un motor, un actuador hidráulico o un motor de pasos. Estos puede ser seleccionados de acuerdo a los requerimientos de cada máquina.

V.3. Beneficios del Control Numérico.

Se ha demostrado que el uso de C.N.C. reduce el número de empleados, los usuarios requeridos en estos sistemas son extremadamente reducido e incluso un empleado es capaz de usar más de una máquina. Realmente la ventaja no es bajar los costos, pero si incrementar la producción. Manejando los costos con tecnología de C.N.C. decrecen marcadamente en algunos casos. Los tiempos de instalación son sustancialmente reducidos y el tiempo de producción sustancialmente incrementado. Una gran cantidad de tiempo es aprovechado durante el maquinado, mientras pasa la pieza de trabajo de una operación a otra. En las máquinas herramientas

convencionales se pierde tiempo entre estos pasos, ya que el operador debe pasar de un paso a otro y detenerse entre procesos, también debe detenerse entre operaciones, para revisar las dimensiones de la pieza de trabajo, lo cual ha probado que el tiempo perdido sea aproximadamente del 70 al 80% del total. El ritmo de producción es reducido por la fatiga del operador, siendo que en los sistemas C.N.C. estos problemas no existen. El control numérico produce partes de alta calidad, su manufactura es lo más exacta posible y maneja diseños tan complejos que en máquinas convencionales serían imposibles de crear. Son manejados contornos en tres dimensiones que no pueden ser realizados por un operador manual. Comparados con los métodos convencionales de maquinado, las máquinas de C.N.C. tienen las siguientes ventajas:

- Completa flexibilidad; sólo se necesita un programa para producir una parte nueva.
 - La precisión es mantenida a través de todo el rango de velocidades y alimentación.
 - La posibilidad de maquinar una pieza de contorno complicado.
 - Un corto tiempo de producción.
-
- Alta productividad permitida mediante el aprovechamiento del tiempo, uso de un operador para realizar las operaciones mediante un monitor e incluso automatización completa de la operación.



V.4. Situación actual del C.N.C.

Las máquinas herramientas que actualmente se pueden encontrar en el mercado, poseen grandes cualidades como: el empleo de seis ejes de trabajo simultáneos, se alcanzan superficies de terminado de hasta 5 micras de rugosidad, errores de 0.001 mm en el maquinado, interpolaciones de operación y posicionamiento, gran capacidad de registro de herramientas almacenadas, compensaciones automáticas en herramientas, incluso existen máquinas que trabajan hasta con 12,000 R.P.M. en el caso de tornos, grandes velocidades de corte, potencias de acuerdo a las necesidades, etc. Estas dentro de muchas otras ya mencionadas, nos muestran las grandes cualidades que pueden ser aprovechadas de estas máquinas. Con la práctica, se ha encontrado que la única manera de obtener el máximo beneficio de las máquinas C.N.C., es con herramientas de corte adecuadas a cada operación de corte y capaces de soportar a la máquina (velocidad de corte, profundidad de corte, potencia, etc.). Para cumplir con este requisito se desarrollan continuamente nuevos materiales, con mejores características que las anteriores.

La relación que se debe cumplir entre la herramienta de corte y la máquina herramienta es a la par, es decir; si se tiene una máquina con grandes cualidades, pero la herramienta no es capaz de trabajar bajo las condiciones de corte de la máquina, ésta no se aprovechará al máximo. Pero por el contrario, si se tiene una herramienta con grandes cualidades y la máquina no posee cualidades adecuadas, se desaprovechará a la herramienta.

V.5. Situación Actual en México

El acceso a la tecnología en materia de máquinas de C.N.C. y herramientas de corte es igual en todo el mundo, si sale un nuevo producto al mercado, en pocos días se encontrará en nuestro país. Sin embargo, nuestro empleo de tecnología no se encuentra actualizado. Por las condiciones culturales, económicas y de mercado diferentes en cada país, los medios de producción suelen tener diferencias. En México la falta de competencia y de capital para invertir propicio un retraso en el nivel tecnológico, pero con la apertura de mercado por el T.L.C., los empresarios se verán forzados a modificar sus centros de producción. La necesidad de productos de mayor calidad y menor costo no deja muchas opciones, pero lo que sí es cierto, es que si desean mantenerse en el mercado, tendrán que ofrecer lo mejor, y esto sólo

se logra con tecnología. El objetivo forzado de los empresarios mexicanos por fin será el adecuado, un mejor servicio o producto, de calidad y a menor costo.

V.6. Tendencias y perspectivas

Durante los 80's se lanzó al mercado el sistema de herramientas modular con los sistemas BTS (para tornos) y Varilock (máquinas herramientas para fresado, taladrado y centros de mecanizado). La experiencia práctica demostrada en más de 25.000 máquinas en todo el mundo equipadas con estos sistemas confirman que es imposible encontrar una inversión más confiable y económica en el mercado.

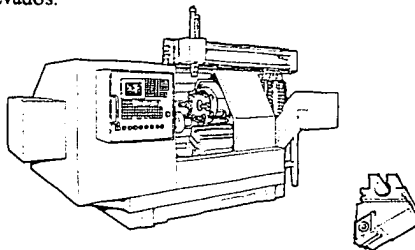
Sistemas BTS (tornos)

La clave de una producción "Just-in-time" (justo a tiempo) es:

- pedidos de cantidades mucho más pequeñas.
- plazos de ejecución más cortos.
- menos capital invertido en existencias.
- mayor seguridad en el suministro.

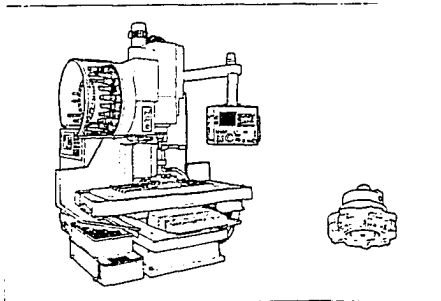
Gracias a una gran reducción de los tiempos improductivos de la máquina se ha conseguido:

- una reducción de los tiempos de montaje de la herramienta, a menudo de un 30-50%.
- un cambio más rápido de las herramientas.
- no hay necesidad de efectuar pasadas para tomas de medidas y una calibración durante el mecanizado.
- la reducción del tiempo requerido para el cambio de la herramienta permite utilizar datos de corte más elevados.



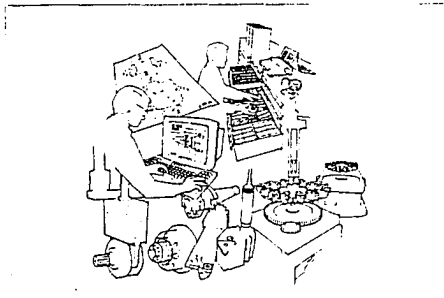
Varilock (el empleo de máquinas para fresado, taladrado y centros de mecanizado CNC).

- permite una mayor racionalización del programa de herramientas.
- permite una flexibilidad en el uso de las herramientas aunque tengan diferentes husillos.
- lotes de herramientas menores.
- un manejo, un almacenamiento y un montaje de las herramientas más efectivos.
- simplifica la fabricación de herramientas especiales



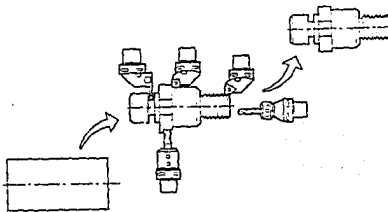
Todos los sistemas de herramientas modulares.

- permiten una gran mejora de la productividad de las herramientas y máquinas.
- son esenciales en el proceso gradual de automatización.
- el uso de chips electrónicos en herramientas modulares individuales abre el camino a la gestión de herramientas.



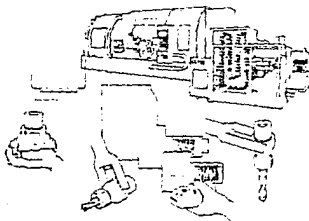
El sistema que satisface los requisitos de los 90

La filosofía de producción en el momento supuso un paso importante en la industria de ingeniería de los años 80, y tendrán mayor impacto durante los años 90. La meta a conseguir ahora es la mecanización completa de una pieza en un sólo montaje en una máquina o grupo de máquinas conectadas a una unidad de producción. Esto se traduce en un aumento de la eficacia, permite la producción de lotes aún más pequeños y acorta el tiempo de producción. En ciertos casos esto será posible con las máquinas existentes en el mercado, pero en otros serán necesarias las nuevas máquinas multi-uso interconectadas.



Máquinas combinadas

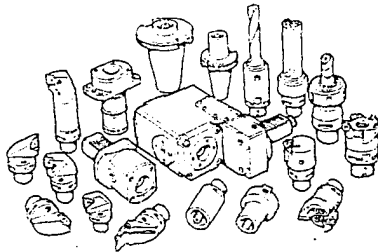
Las máquinas combinadas para torneado y fresado, de reciente aparición en el mercado, han sido diseñadas para satisfacer las demandas de las máquinas "versátiles". Pero para que su potencial sea explotado completamente, se hará esencial el uso de un sistema auténtico de herramienta modular del cual se hace mención más adelante.



Instalaciones flexibles

La introducción de esta nueva generación de máquinas no significa la desaparición de las máquinas tradicionales, sino que, por el contrario habrá aún una gran necesidad de tornos, máquinas fresadoras y taladradoras y centros de mecanizado.

El medio de producción del futuro consistirá en una combinación equilibrada entre las máquinas compuestas y las tradicionales en instalaciones flexibles, teniendo como común denominador un sistema de herramientas universal que se adapte por igual a todas las operaciones de mecanizado.



Herramientas modulares

Con el creciente aumento de los gastos de desarrollo en la industria de ingeniería, se incrementan asimismo, los requisitos exigidos a las máquinas herramientas, con el fin de conseguir una elevada productividad, especialmente a través de la estandarización de las herramientas. Esto no sólo se aplica a las máquinas propiamente dichas y a las células de mecanizado, sino también al conjunto de los talleres de gran volumen de producción y a las fábricas más complejas.

Las herramientas de torneado soldadas y los últimos portaherramientas con plaquitas intercambiables, se pueden considerar como "importantes puntos de partida", hacia el concepto de herramientas modulares y el desarrollo de un torno moderno.

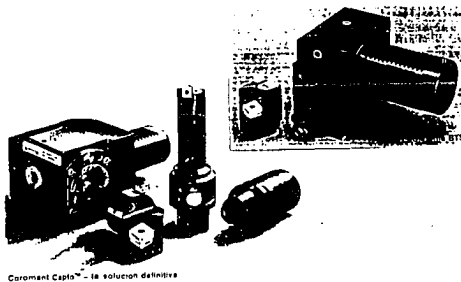
El Sistema BTS, desarrollado por Sandvik Coromant a principio de los años 80's, con el propósito de lograr una mayor productividad de las herramientas de

torneado, representó un paso importante en relación con el concepto de sistemas de herramientas modulares. Para la década de los 90's, se acaba de lanzar un nuevo sistema innovador y único en su género - Coromant Capto[™], un sistema de herramientas de propósitos múltiples, adecuado para la mayoría de las operaciones de corte de metal.

El concepto de herramientas modulares es muy sencillo: dividir el porta-herramientas en dos partes, una unidad de corte pequeña y fácil de manejar y una unidad de sujeción estable, que se puede utilizar en cualquier posición predeterminada. Mediante un acoplamiento sencillo y de alta precisión entre estas dos unidades, que asegure un elevado grado de precisión y estabilidad, el cambio de herramientas se podrá efectuar de manera muy rápida y efectiva desde el punto de vista de costos.

Las herramientas modulares ofrecen importantes ventajas que han contribuido a impulsar su crecimiento, proponiéndolas como la mejor opción para muchas máquinas herramientas. Estas ventajas incluyen:

- tiempos de mecanizado más efectivos
- reducción de las paradas por cambio de herramienta y ajuste, con lo cual el mecanizado de pequeños lotes resulta más económico
- posibilidad de estandarizar y racionalizar el uso de herramientas
- posibilidad de una gestión de herramientas y mecanizado flexible
- amplia disponibilidad y rendimiento demostrado
- eliminación prácticamente de las paradas para tomar mediciones

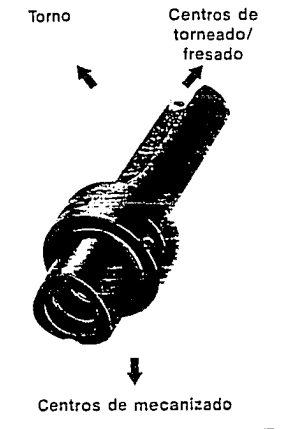


Sistemas de uso múltiple

Los sistemas modulares ofrecen la misma eficacia para el torneado, fresado y taladrado, independientemente del sistema de operación o tipo de máquina. En el momento de emprenderse el desarrollo de este tipo de sistemas en la década de los años 80's, el sistema BTS era ya ampliamente utilizado como sistema de vanguardia, en el campo de las herramientas modulares.

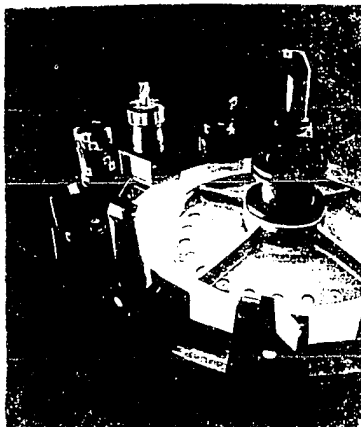
En relación con los sistemas de herramientas modulares, el diseño de acoplamiento entre las unidades de corte y de sujeción, es el que determina su eficacia y áreas de aplicación. Ahora, el polígono de acoplamiento cónico es uno de los sistemas más modernos. Este acoplamiento transfiere considerables pares de torsión sin utilizar los dientes, llaves, bolas o pasadores tradicionales y sin contener ninguna pieza suelta. El polígono cónico, tensado en la unidad de fijación con una fuerza de precarga de varias toneladas, produce una junta extremadamente estable. A la vez, la herramienta se puede extraer fácil y rápidamente, bien sea manual o automáticamente.

La amplia superficie de contacto permite una transmisión sin deslizamiento de par, en ambas direcciones, lo que proporciona una baja presión de superficie, un menor desgaste y, en consecuencia, una mayor exactitud de posicionamiento. El efecto de autocentrado y autoalineación del acoplamiento, aseguran una precisión radial y un mínimo salto axial.



Un concepto de herramienta universal.

El concepto de herramienta auténticamente universal ha pasado a ser una realidad. Un sistema que funciona igual de bien con tornos de husillos giratorios, centros de fresar y tornear, centros de mecanizado y sistemas de fabricación flexible, puede tener un cambio automático por su compatibilidad. El programa incluye las herramientas de corte y adaptadores más modernos, al objeto de cubrir todos los tipos de operaciones, desde el desbaste al acabado.



Como se puede apreciar, conforme se desarrolla el CNC, se requiere de herramientas cada vez más resistentes y con mejores características de corte. Si bien, la necesidad de nuevos materiales para herramientas de corte es ya una realidad, los sistemas de C.N.C. y sus accesorios como se observó, ya se están preparando para el reto. Las condiciones hostiles cada vez son mayores por las grandes velocidades y potencias de las nuevas máquinas y pensando en cubrir las condiciones que se presentarán con las nuevas herramientas, como mayores esfuerzos al aprovechar las cualidades de las máquinas, se han desarrollado sistemas de sujeción como el BTS para tornos, Varilock en el empleo de máquinas para fresado, taladrado y centros de mecanizado, así como el acoplamiento del polígono cónico capaz de soportar los esfuerzos producidos en los nuevos sistemas.

Se han desarrollado sistemas de sujeción cada vez más sencillos, fáciles y rápidos de colocar y retirar, compatibles con todas las nuevas máquinas, sistemas automatizados de colocación y retiro de herramientas, incremento en las revoluciones y mayores potencias, sistemas de máquinas combinadas e instalaciones flexibles. Y a pesar de todo esto, existe un gran avismo entre las máquinas herramientas CNC y las herramientas que estas deberían emplear.

Actualmente existen máquinas que son capaces de cortar hasta un centímetro de material por pasada, sin embargo no hay herramienta que lo soporte. De aquí, la dependencia entre el desarrollo de las máquinas y las herramientas de corte.

Por lo tanto, sin herramientas con las características suficientes, no se podría aprovechar al máximo a la máquina herramienta.

A lo largo del estudio de este tema, se aprecio la gran importancia de los conocimientos aprendidos durante la carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Es indudable, que es necesario, poseer los conceptos básicos en el estudio de cualquier tecnología, para poder desarrollar y asimilar cualquier tema. Fue de gran utilidad lo aprendido en las materias tales como, Corte de materiales, Procesos de Conformado, Manufactura, así como muchas otras, en donde se manejan conceptos relacionados con el tema. Sin descartar todas aquellas que forman parte del desarrollo de cualquier ingeniero.

Con esto se da uno cuenta de la necesidad de poner énfasis en el aprendizaje de todas y cada una de las materias a lo largo de la carrera. Pero sin olvidar seguir actualizando los conocimientos tanto tecnológicos como académicos, para así tener un gran desempeño a lo largo de la carrera de un ingeniero.

Durante el desarrollo de este proyecto, no fue fácil obtener información concerniente a nuevos materiales de corte, ya que son muy pocas las empresas o instituciones que los emplean en sus operaciones. Además la información es muy restringida por la competencia industrial existente en el mercado, no hay mucha información bibliográfica y sólo existe información comercial, tales como folletos, manuales, revistas, anuncios, etc.

Para obtener información sobre este tema, fue necesario recurrir a SANDVIK de México, esta es una empresa que se dedica a producir herramientas de corte (plaquitas), con un alto desarrollo tecnológico. Producen herramientas de carburos cementados, herramientas con recubrimientos variados y en general, emplean materiales de vanguardia como CBN y PCD, que ellos mismos desarrollan y que por lo mismo, son muy celosos de la información que proporcionan. La información que se consiguio fue muy somera y general, se explico el proceso de producción de las plaquitas recubiertas con diferentes materiales, el cual es muy interesante, como para que se realice un estudio completo de los procesos de producción de plaquitas tanto con recubrimientos como de materiales super duros.

Si bien, un parámetro para medir el adelanto tecnológico de un país, puede ser el desarrollo de la industria metal-mecánica y por consiguiente sus procesos de

manufactura, un estudio más completo y profundo del tema, podría hacer comprender la importancia del desarrollo de la tecnología en materia de máquinas herramientas operadas mediante C.N.C. y la relación que tienen estas con el desarrollo de las herramientas de corte.

Este trabajo nos muestra un panorama general del camino que han seguido las herramientas de corte y del desarrollo de las máquinas herramientas en nuestra actualidad, éste es el primer paso de una visión que nos muestre lo importante que es entender que ambos deben relacionarse para poder aprovechar al máximo las ventajas de cada uno de ellos; si bien, la tendencia de las personas es observarlos como elementos independientes, ha llegado el momento de relacionar los desarrollos tecnológicos de ambos para que trabajen conjuntamente, aprovechando al máximo sus características.

En el presente trabajo encontramos, que los procesos de manufactura han sido de gran importancia en el crecimiento de la industria, actualmente existen máquinas herramientas con características que sobrepasan las cualidades de las herramientas de corte, las altas potencias y velocidades de corte así como muchos otros parámetros de corte ya son posibles de alcanzar con las nuevas máquinas herramienta, pero desgraciadamente las herramientas de corte actuales no son capaces de soportar las condiciones hostiles que se producirían al trabajar con dichas máquinas, en pocas palabras, la necesidad de desarrollo equiparable entre ambos es imperante, se puede considerar el alto desarrollo de las máquinas herramientas como un desperdicio de tiempo y trabajo, ya que no se puede aprovechar por la falta de herramientas competentes para dichas condiciones. Así mismo, si las condiciones fuerán al revés, no serviría de nada tener herramientas altamente capaces en materia de corte, si no existirán máquinas que pudieran proporcionar las potencias necesarias para tal efecto.

De estos materiales; en este trabajo, se observó cuales son los de más aplicación e importancia y cuales son los que aún en la actualidad se siguen empleando.

Es importante hacer notar que "no" se encuentran al mismo nivel tecnológico las herramientas de corte con las máquinas herramientas, pero más importante aún, es darnos cuenta de ello y hacer algo al respecto. Entender que el desarrollo de nuestro país depende en gran parte de los niveles de manufactura que se manejen dentro de él, es entender que nuestro desarrollo depende de la calidad y la eficiencia de nuestra producción.

Con la apertura de mercado, por el tratado de libre comercio T.L.C., el panorama industrial ha cambiado por completo, los medios de producción se ven comparados con los del exterior y se inicia una competencia por el mercado, lo cual obligará a los empresarios a mejorar sus medios de producción y obtener nuevas tecnologías para competir con los países industrializados, pero esto sólo puede lograrse mediante dos formas posibles: 1.- Desarrollando mejores procesos de manufactura y 2.- Desarrollando mejores materiales de corte, que sean capaces de aprovechar las actuales e importantes características de las máquinas herramientas y de esta manera, producir más y mejores productos.

Por otra parte, si es cierto que mejorarán los medios de producción, pero, ¿qué tan correcto será el cambio?. La adquisición de maquinaria apresurada podría provocar un cambio no óptimo y en muchas ocasiones, la adquisición de maquinaria de segunda y no de primera, provocará inversiones mal hechas por parte de los empresarios. Para tener un cambio adecuado, se necesita una asesoría técnica que conozca bien el proceso y operaciones de corte empleando C.N.C., lo cual es muy difícil de encontrar y lleva tiempo. Lo importante es no retrasarse mucho en la carrera por el mercado.

1994, será el año en el que se dé impulso a nuevos sistemas de producción, que tendrán por objeto principal, mantener en el mercado a las empresas mexicanas, haciendo bien lo que se debió haber hecho bien, desde el principio.

Por último, este trabajo es de gran valor, ya que nos muestra un panorama más amplio del que se tiene comúnmente acerca de los materiales de corte y su trascendencia a través de los años, apoyando el desarrollo productivo de la industria, y con ello, acrecentando el nivel de vida de los pueblos.

BIBLIOGRAFIA

ENCICLOPEDIA DE LA MECANICA Y TECNICA.

Myer Kutz.

División científica y técnica.

John Wiley & song Inc.

Vol 1.

MARKS.

MANUAL DEL INGENIERO MECANICO.

Theodore Baumeiter.

Eugene A. Avallone.

Theodore Baumeiter III.

Octava edición. (Sugunda edición en español.)

Vol III.

Mac Graw-Hill.

MANUAL UNIVERSAL DE LA TECNICA MECANICA.

Erik Oberg, Franklin D. Jones.

Traducción de la 21 Edición Norteamericana.

Editorial Labor, S.A.

MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA PARA INGENIEROS.

Lawrence E. Doyle.

Carl A. Keyser.

James L. Leach.

George F. Schrader.

Morse B. Singer.

Prentice Hall Hispanamericana S.A.

TOOL ENGINEERS HANDBOOK.

ASTME.

Mcgraw Hill.

IMPORTANCIA DEL DESGASTE EN DISEÑO.

Charles Lipson.

Editorial Herrero Hnos.

COMPUTER NUMERICAL CONTROL.

Herman W. Pollack.

Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

MAQUINAS HERRAMIENTAS CON CONTROL NUMERICO.

Jean Vergnas.

Urmo S.A. de ediciones

1985.