



T
669.722
B 467

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica



**" MAQUINABILIDAD DE BRONCES
AL ALUMINIO "**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

ALFONSO AUGUSTO BENITES THOMAS



BIBLIOTECA



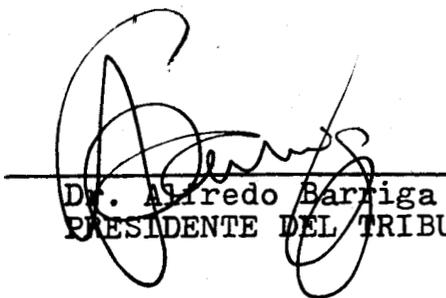
GUAYAQUIL

ECUADOR

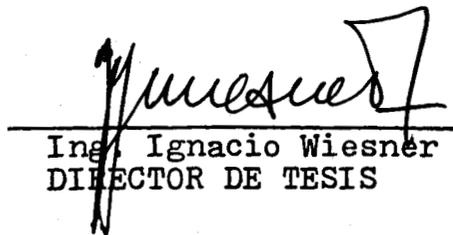
**AÑO
1.995**



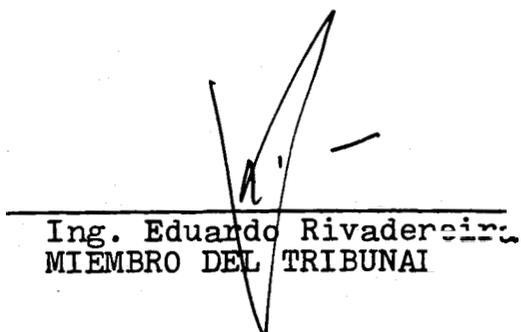
D-15880



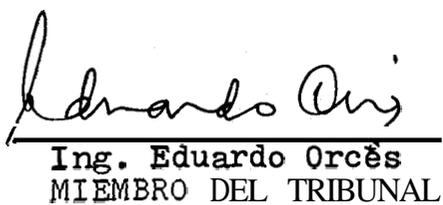
Dr. Alfredo Barriga
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Ignacio Wiesner
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Rivadereira
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Ing. Eduardo Orcès
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

**Al Ing. Ignacio Wiesner,
Director de esta Tesis, y a
los demas profesores de la
FIM que colaboraron en
la realización de la misma**

DECLARACION EXPRESA

“ La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas
expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente;
y, el patrimonio intelectual de la misma, a la **ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de
la ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Alfonso Benites Thomas", is written over a horizontal dashed line.

Alfonso Benites Thomas

RESUMEN



La presente investigación tiene por objeto determinar **los** valores del *Indice de Maquinabilidad* para cuatro diferentes bronce al Aluminio. Este valor es un indicativo de la relativa facilidad o dificultad que un material presenta para ser trabajado mediante arranque de viruta.

El procedimiento para la obtencion del mencionado valor incluye un procedimiento experimental, debidamente noimalizado por la ASME (American Society For Metals), el cual fue desarrollado utilizando los recursos existentes en los talleres de la Facultad de Ingenieria en Mecánica.

La prueba realizada se denomina *ensayo de tiempo de vida de la herramienta de corte* y consiste en tomar probetas cilíndricas de cada material y torneirlas utilizando un solo tipo de herramienta y parámetros de corte fijos. Cada cierto tiempo se debe interrumpir el corte para medir, con ayuda de un macroscopio, **el** desgaste de flanco de la cuchilla.

Se debe determinar el tiempo requerido para alcanzar un liinite preestablecido de desgaste de 0,3mm, para cada material ensayado y para un patrón, el cual se

considera que posee **una** rnaquinabilidad de 100%. Para pruebas con aleaciones **de Cobre** le material patrón que se utiliza **es** el que en nuestro medio se conoce como **bronce dulce**.

El índice o grado de rnaquinabilidad se obtiene comparando el tiempo de vida **de** la herramienta en cada material ensayado con el patrón **y** se expresa como un porcentaje.

La rnaquinabilidad es una característica propia de cada material y su conocimiento es de mucha utilidad para la planeación de la producción y el análisis económico de los procesos de fabricación.

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
INDICE GENERAL	3
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS	6
INTRODUCCION	8
CAPITULO I: INFORMACION TEORICA	11
1.1. Descripción del Proceso.de Corte con Arranque de Viruta.....	11
1.2.- Pruebas de Maquinabilidad.....	17
1.3.- Desgaste y Tiempo de Vida de las Herramientas de Corte.....	26
1.4.- Maquinado de Aleaciones de Cobre.....	44
1.5.- Maquinabilidad de los Bronces al Aluminio.....	49
1.6.- Características Tecnológicas de los Bronces al Aluminio y Aplicaciones.....	52
1.7.- Influencia de los Líquidos Lubrorefrigerantes en el Maquinado de los Bronces al Aluminio.....	57
CAPITULO II: TRABAJO EXPERIMENTAL	65

2.1.- Objetivo y Metodología Experimental	65
2.2.- Pruebas Preliminares y Adaptación de Equipos	70
2.2.1.-Análisis de la Máquina-Herramienta	72
2.3.- Selección de Herramientas de Corte: Material y Geometría	75
2.4.- Selección de los Parámetros de Corte	80
2.5.- Ensayo del Tiempo de Vida de la Herramienta para cada Material	86
2.6.- Control de Superficies Maquinadas por Comparación con Patrón	99
 CAPITULO III: DISCUSION DE RESULTADOS.....	 102
3.1.-Análisis del Desgaste de Flanco de la Herramienta	102
3.2.- Tiempo de Vida de la Herramienta de Corte	111
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	 115
ANEXOS.....	119
BIBLIOGRAFIA	131



INDICE DE TABLAS

TABLA I:Límites Típicos para el Desgaste de Flanco	42
TABLA II:Velocidades Nominales para el Torneado de Aleaciones de Cobre con Herramientas de un solo Filo	48
TABLA III:Propiedades de algunos Bronces al Aluminio Comerciales	50
TABLA IV:Angulos Recomendados para el Maquinado de Aleaciones de Cobre con Herramientas de Acero Rapido	79
TABLA V:Parámetros de Corte Seleccionados85
TABLA VI:Tabla de Resultados Finales	97
TABLA VII:Rugosidad de las Probetas Maquinadas	100

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Formación de las Virutas	13
Fig. 2: Proceso de Formación de la Viruta visto al Microscopio	14
Fig. 3: Tipos de Viruta	16
Fig. 4: Desgaste de la Herramienta de Corte	27
Fig. 5: Desgaste Adhesivo	32
Fig. 6: Desgaste Abrasivo	33
Fig. 7: Desgaste por Oxidación y Subsecuente Adhesión	36
Fig. 8: Desgaste por Difusión	37
Fig. 9: Deformación Plástica	39
Fig. 10: Mecanismos de Falla en Herramientas de Corte	40
Fig. 11: Típicas Huellas de Desgaste de Flanco	43
Fig. 12: Geometría Seleccionada para las Herramientas de Corte	79
Fig. 13: Desarrollo de las Pruebas	98
Fig. 14: Cuchilla Nueva (16X)	103
Fig. 15: Cuchilla usada en Material Patrón (16X)	104
Fig. 16: Cuchilla usada en Bronce con 8% Al (16X)	105
Fig. 17: Cuchilla usada en Bronce con 10% Al (16X)	107
Fig. 18: Cuchilla usada en Bronce con 12% Al (16X)	108

Fig. 19: Cuchilla usada en Bronce con 13,5% Al (16X) 109

INTRODUCCION

Dentro de la ciencia de los procesos de manufactura, parte esencial de la Ingeniería Mecánica es muy importante el conocimiento de los materiales **y** sus propiedades.

Dentro de las características intrínsecas de los materiales podemos destacar las propiedades Físicas, como el color, densidad, apariencia, características eléctricas u ópticas y las propiedades Mecánicas como: resistencia a la tracción, compresión y cortante, dureza, ductilidad, resistencia al impacto, tenacidad y maquinabilidad, entre otras.

Normalmente se les da una gran importancia a algunas de estas propiedades, en especial a las relacionadas con la resistencia de los materiales, **pero** se deja pasar por alto, sobre todo en nuestro medio, las cualidades relacionadas con los procesos de manufactura, como la maquinabilidad o el comportamiento del material al ser fundido.

La maquinabilidad de un material es importante porque de ella depende la selección de los parámetros del proceso de trabajo, como son el tipo de

herramienta de corte, su geometría, la velocidad de corte, el avance y profundidad de corte, el tipo de fluido lubrorrefrigerante a usarse, entre otros. Muchas veces por desconocimiento de esta propiedad se realiza incorrectamente la selección de estos parámetros lo que lleva a un trabajo defectuoso o a la equivocada idea de que uno u otro material es muy difícil de trabajar y por eso no se lo utiliza.

Esto es muy común con los bronce al Aluminio. Estos materiales son considerados de difícil mecanización y no son muy usados en nuestro medio a pesar de poseer propiedades mecánicas en muchos casos superiores a las de sus contrapartes al Estaño o Zinc.

Establecer experimentalmente el índice de maquinabilidad de un material no es un proceso demasiado complicado, sin embargo requiere el dominio de diferentes áreas de la Ingeniería Mecánica como la Metalurgia y Ciencia de Materiales, Procesos de Manufactura y conocimientos generales en las áreas de experimentación e instrumentación.

Los conocimientos en el área de metalurgia permiten conocer los procesos involucrados en el corte de metales, las características de los materiales e

interpretar las evidencias que conciernen a los mecanismos de desgaste y fractura de las herramientas.

Los conocimientos de procesos de manufactura se aplican en la selección de la máquina-herramienta, la herramienta de corte y su geometría, ayudan a establecer las condiciones necesarias para las pruebas y a relacionar los resultados con la productividad y ganancias económicas.

Los conocimientos de experimentación son indispensables para diseñar el procedimiento, para calibrar y manejar los equipos de medición y analizar los resultados.

Poniendo toda esta experiencia en practica es posible diseñar y llevar a cabo satisfactoriamente un programa de ensayos que arroje resultados utiles para su aplicacion practica en la producción de piezas y en la utilización y total aprovechamiento de las cualidades positivas y unicas, a veces, de ciertos materiales.

CAPITULO I: INFORMACION TEORICA

1.1.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE CORTE CON ARRANQUE DE VIRUTA

El objeto fundamental de la elaboración de metales por corte es fabricar piezas con una configuración geométrica determinada y obtener las dimensiones exactas y superficies debidamente acabadas según los requerimientos específicos existentes.

Esta operación consiste básicamente en arrancar el metal sobrante de las piezas en bruto por medio de una herramienta de corte puesta en acción por una máquina o por algún procedimiento manual.

Como piezas en bruto se utilizan piezas moldeadas, forjadas, estampadas o laminadas. Las máquinas especialmente diseñadas para el trabajo de metales por arranque de viruta se denominan “Máquinas-Herramientas” y las más comunes son el torno, la fresadora, el cepillo o limadora, el taladro y la rectificadora.

En el mecanizado, el manque de viruta es realizado **por** los fillos de las herramientas de corte. Estos fillos se clasifican en dos tipos:

- Fillos determinados ric nente Cuando las herramientas poseen fillos que tienen formas geométricas determinadas, como es el caso de una cuchilla de torno, una broca o una fresa.
- Fillos no determinados: Cuando las virutas son arrancadas por granos abrasivos sin formas determinadas, como en las piedras de esmeril o rectificadora.

ANALISIS DEL PROCESO DE FORMACION DE LA VIRUTA

El mecanismo básico involucrado en la formación de la viruta es una deformación o deslizamiento del material de trabajo inmediatamente delante del filo de **corte** de la herramienta. El movimiento relativo entre la herramienta y la pieza de trabajo durante el corte comprime el material cerca de la herramienta e induce una deformación (llamada deformación primaria), la cual forma la viruta. La viruta se desliza por la superficie de ataque de la herramienta y se deforma adicionalmente (llamada la deformación secundaria).



Estas dos deformaciones plásticas tienen una dependencia mutua. El material que se desliza por la superficie de ataque de la herramienta fue calentado y deformado durante su paso por el proceso de deformación primaria, por lo que el proceso secundario está influenciado por el primero.

El proceso de formación de la viruta se puede esquematizar mediante el siguiente gráfico que ilustra las diferentes etapas del mismo.

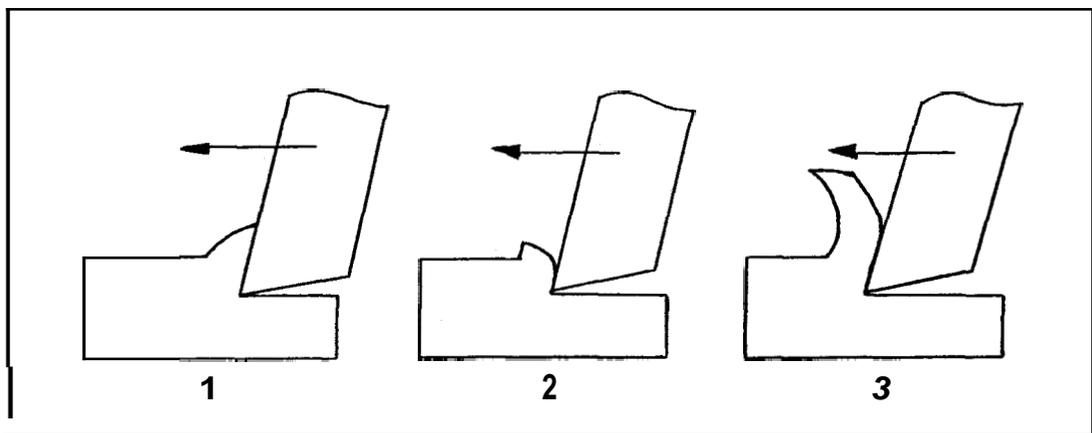
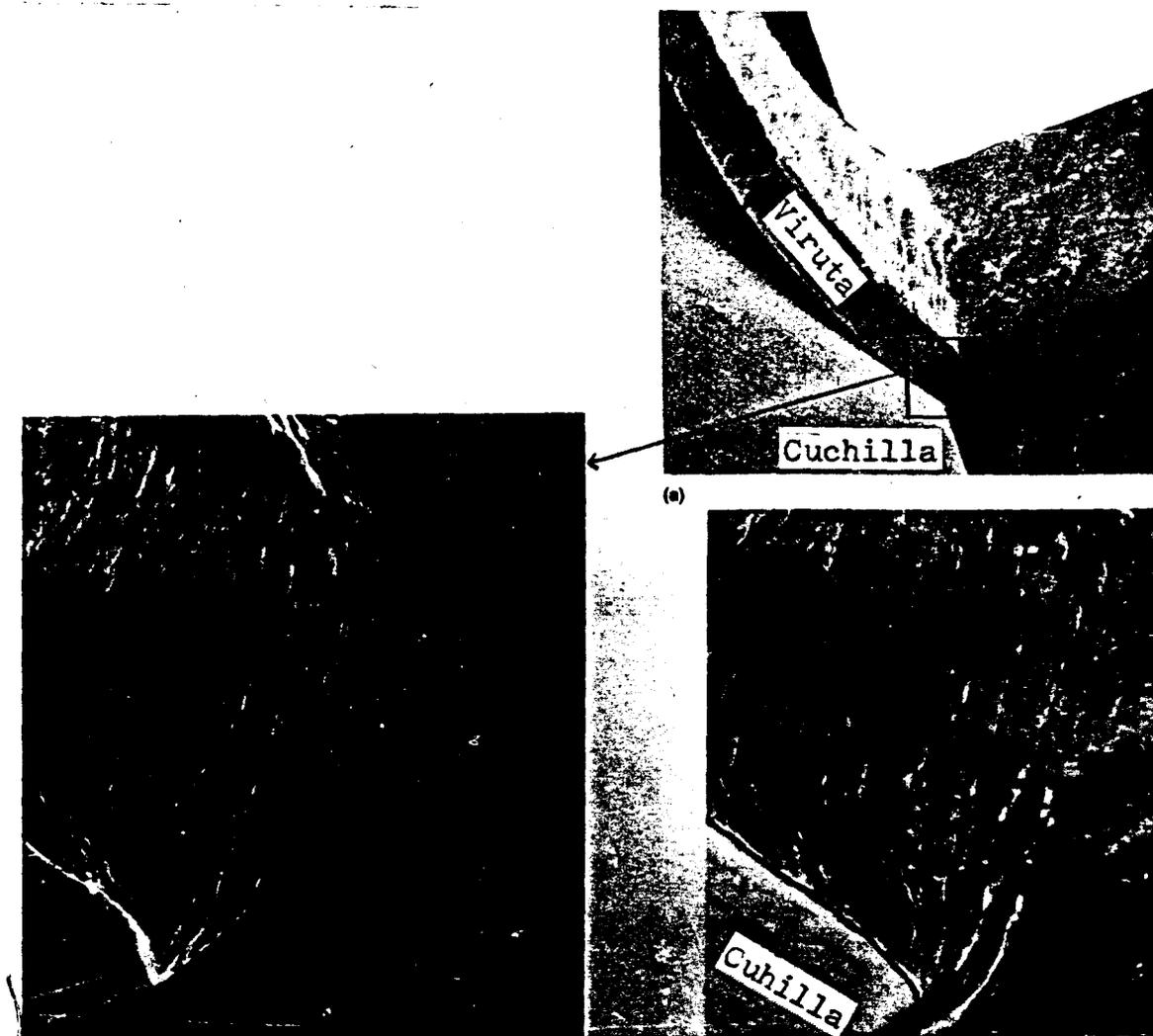


Fig. 1: Formación de las virutas (Ref.4)

1. **Recalcado:** El filo de corte penetra en el material y lo comprime, induciendo la deformación primaria.
2. **Corte:** Cuando la deformación primaria es lo suficientemente grande el metal se corta y se forma la viruta.
3. **Ecurrimiento:** La viruta fluye por la superficie de ataque de la herramienta y se induce la deformación secundaria de la misma. Según las

características del material se forman diversos tipos de viruta, cortas y continuas.



La pieza de trabajo es una placa rectangular de **oro** que fue pulida en los lados para que se observe la deformación **plástica** del corte. El área encerrada en el cuadro en (a) se muestra en (b) con un mayor aumento y permite ver los planos de deslizamiento que avanzan desde la punta de la herramienta hacia la superficie libre de la pieza de trabajo. En (c) la herramienta ha sido reinsertada y avanzada ligeramente para mostrar la deformación adicional. Los planos de deformación son difíciles de observar a menos que se pula el espécimen y se observe bajo un microscopio electrónico.

Fig. 2: proceso de formación de viruta visto al microscopio(Ref.1)

EFFECTO DE LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE TRABAJO

Las propiedades del material que se esta trabajando controlan la formacibn de **la** viruta. Estas propiedades incluyen Resistencia a la Fluencia, Resistencia al Corte, características de endurecimiento bajo esfuerzo, Dureza y Ductilidad.

De estas propiedades, la ductilidad es una de las mhs importantes. Los materiales altamente dúctiles permiten una gran deformación plhstica de la viruta durante el corte, lo que incrementa **el** trabajo, las generación de calor y da como resultado virutas largas y continuas que permanecen en contacto con **la** superficie de la herramienta por mas tiempo e incrementan, de este modo, la generación de calor debido a la fricción.

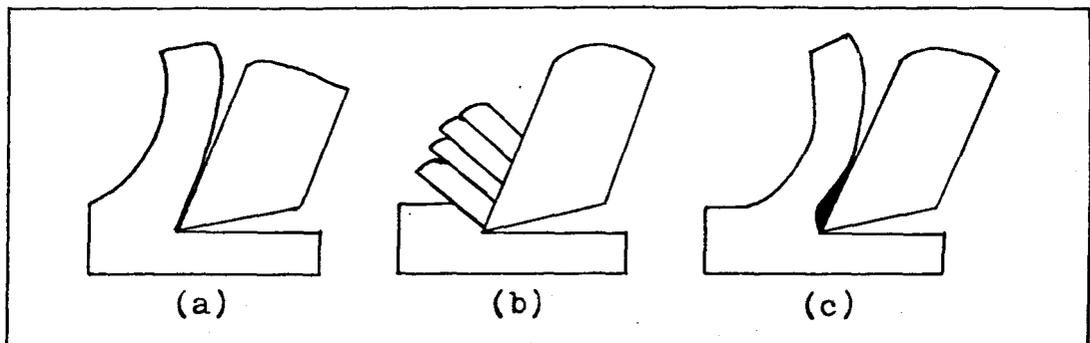
Este tipo de virutas estan severamente deformadas y poseen un característico “rizado”. Al contrario, los materiales como el hierro fundido gris, tienen muy baja ductilidad. Como consecuencia de esto el material comprimido delante de **la** herramienta de corte falla de un **modo** frágil, produciendo virutas en forma de pequeños fragmentos, llamadas virutas discontinuas o segmentadas.

Otros parámetros que influncian la formación de la viruta son los ángulos de **la** herramienta de corte, el material de la herramienta, la profundidad de corte,

la velocidad de corte y otros elementos del ambiente de corte (como desviaciones en la máquina-herramienta, líquidos refrigerantes, etc.).

La formación de un borde de material adherido en el filo de la herramienta provoca problemas adicionales. Esto se debe a la alta temperatura y extrema presión en el interfase herramienta-viruta. Este material aunque protege el filo de corte, modifica su geometría. Este material no es estable y se desprende **periódicamente**, adhiriéndose a la viruta o pasando por debajo de la herramienta para adherirse a la superficie maquinada.

Este fenómeno puede ser evitado reduciendo la profundidad de corte, incrementando la velocidad de corte, usando ángulos de ataque positivos o aplicando un refrigerante.



a) Discontinua; b) Continua ; c) Continua con embotamiento

Fig. 3: Tipos de virutas(Ref.1)

1.2.- PRUEBAS DE MAQUINABILIDAD

La medición del desempeño de los materiales de las herramientas de corte sobre un amplio rango de materiales de base y condiciones de trabajo es crucial para el mejoramiento del diseño.

Los métodos modernos de maquinado requieren que las herramientas de corte sean más versátiles para que puedan aplicarse en una gran variedad de operaciones con el propósito de reducir los inventarios y el tiempo de cambio de las herramientas.

Normalmente se realizan una gran variedad de ensayos para alcanzar esta meta y entender los fenómenos relacionados con el maquinado. Estos ensayos comprenden los materiales de la pieza de trabajo, herramientas de corte y la operación de corte y su caracterización.

MATERIALES DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

La evolución de las herramientas proviene desde las fabricadas con acero rápido (HSS), introducidas por primera vez a principios de este siglo, hasta los

modernos carburos cementados, cermets, cerámicas y finalmente el diamante policristalino (PCD) y el CBN (Cubic Boron-Nitride).

Los Aceros Rápidos se caracterizan por una moderada resistencia al desgaste y una gran resistencia transversal a la ruptura, lo que les da una gran aplicabilidad en las diversas operaciones de maquinado. Su mayor limitación es la relación velocidad/remoción de metal relativamente baja en comparación a los materiales más modernos. Estos materiales típicamente sufren una deformación plástica a velocidades de corte relativamente bajas (30-60 m/min). Sin embargo, su versatilidad y bajo costo hacen que el acero rápido sea todavía un material ampliamente usado para aplicaciones donde las exigencias a la herramienta de corte no son excesivamente altas.

Los **Carburus**, con o sin recubrimiento, son los actuales dominadores del mercado de remoción de metal. Poseen una gran resistencia al desgaste y su alta resistencia a la compresión les permite cortar una amplia gama de materiales a velocidades muy favorables. Los carburos solos se emplean básicamente en el maquinado de fundiciones de hierro, aceros, acero inoxidable y aleaciones no ferrosas a velocidades de hasta 150m/min. Los recubrimientos, como el Nitruro de Titanio (TiN), el Carburo de Titanio (TiC)

o el **Óxido** de Aluminio (Al_2O_3) se añaden para permitir la remoción de material a tasas aún mayores, ya que aumentan notablemente la resistencia al desgaste por abrasión y por craterización.

La velocidad que se alcanza con estos materiales oscila alrededor de los 275 m/min.

Los *Cermets* (abreviación de cerámica-metal) se diferencian de los carburos por el uso de Níquel en lugar de cobalto como material aglutinante. El alto contenido de TiC da como resultado un material con muy alta dureza y resistencia a la deformación térmica.

Sin embargo, no son tan tenaces como los carburos tradicionales por los que se utilizan primordialmente en operaciones de acabado o semi-acabado a velocidades de hasta 365 m/min.

Las *Cerámicas* han sido usadas como material de corte desde 1905, pero solo recientemente los avances en el campo de la ciencia de materiales han permitido su empleo efectivo al mejorarse su tenacidad y confiabilidad. Los principales materiales de esta familia son el Al_2O_3 mas o menos puro para

operaciones de acabado, compuestos Al_2O_3-TiC para semi-acabado y Aluminio-Silicio-Carburo (Al_2O_3-SiCw) para el desbaste de materiales de alta temperatura con base de Níquel. Adicionalmente se utiliza el Nitruro de Silicio (Si_3N_4) para el maquinado de alta velocidad de fundiciones de hierro y el desbaste de aleaciones de alta temperatura.

El *CBN (Cubic Boron-Nitride)* tiene una dureza extremadamente alta y se compara favorablemente en tenacidad con las cerámicas convencionales. Aunque es muy costoso de producir puede proporcionar una ventaja económica cuando se maquinan aceros y fundiciones con durezas por encima de 35 HRC.

El *PCD (Polycrystalline Diamond)* el material mas duro conocido por el hombre y se utiliza para maquinar materiales no ferrosos y compuestos a velocidades muy altas. Esta limitado por su fragilidad y resistencia química. Se lo emplea para el maquinado de aleaciones Aluminio-Silicio y otros materiales altamente abrasivos.

GRADO DE MAQUINABILIDAD

La *maquinabilidad* se define como la relativa facilidad o dificultad para remover metal al transformar una materia prima en un producto terminado.

El *Grado de Maquinabilidad* es un número asignado para indicar la facilidad o dificultad de maquinar un material. Este concepto se introdujo a principios de siglo, cuando el mercado estaba dominado por los aceros rápidos. El tiempo de vida de la herramienta de corte obtenido al torneear acero B1112 con una herramienta de acero rápido a **55 m/min** se le asignó el 100%. Los grados de maquinabilidad se le asignaban a los demás materiales basándose en el tiempo de vida relativo de la herramienta al ser maquinados en condiciones similares.

El desarrollo de nuevos materiales, el uso de rompevirutas y más factores han complicado la medición de la maquinabilidad, para la cual hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Material de la Herramienta de corte
- Operación de maquinado (Continua o discontinua)
- Geometría de la herramienta de corte

- Preparación de los bordes de las probetas
- Condiciones de la máquina-herramienta
- Fluido lubrorefrigerante
- Rigidez de la máquina-herramienta

El grado de maquinabilidad también se ve influenciado por la dureza del material, la resistencia a la tensión, composición química, microestructura y proceso de manufactura.

TIPOS DE PRUEBAS DE MAQUINABILIDAD

El grado de maquinabilidad de diferentes materiales se puede determinar usando un **tipo** de herramienta de corte con unas condiciones de corte fijas. El valor obtenido puede variar si se altera alguna de las condiciones, por lo que se diferencian varios tipos de ensayos de maquinabilidad:

- Ensayos de tiempo de vida de la herramienta de coite o desgaste
- Ensayos de acabado superficial
- Ensayos de fuerza de coite
- Ensayos de consumo de potencia
- Ensayos de temperatura de coite



La *vida de la herramienta* generalmente se considera el tiempo que la herramienta produce piezas con un acabado aceptable y/o tolerancias dentro de los rangos establecidos al mismo tiempo que no presente desgaste suficiente como para estar en peligro de sufrir una falla catastrófica.

Los ensayos de tiempo de vida de la herramienta determinan el grado de maquinabilidad de un material basándose en el desgaste que sufre la herramienta de corte. Para ello se realizan pruebas a una velocidad de corte constante, utilizando siempre el mismo material y geometría para la herramienta de corte. El tiempo o trabajo requerido para generar una cantidad predeterminada de desgaste es hallado y el **grado** de maquinabilidad se asigna en base a la vida relativa de la herramienta en los diferentes materiales. Generalmente se puede trazar una gráfica desgaste vs. tiempo para cada material.

Los ensayos de *acabado superficial* consideran la rugosidad de la superficie maquinada como criterio para asignar el grado de maquinabilidad. Mientras mejor sea el acabado superficial bajo una serie de condiciones dadas, más maquinable es el material.

De modo similar las pruebas de *fuerza de corte* miden la fuerza longitudinal requerida para maquinar el material bajo una serie de condiciones fijas. Mientras menor sea la fuerza requerida, más maquinable es el material.

Igualmente ocurre con los ensayos de *consumo de potencia* en los cuales el criterio que se toma en cuenta para asignar el grado de maquinabilidad es la cantidad de caballos de fuerza requeridos para maquinar el material.

Finalmente, los ensayos de *temperatura de corte* miden la temperatura en la punta de la herramienta de corte durante el maquinado. Los materiales duros y las velocidades de corte altas generalmente producen altas temperaturas en la herramienta lo cual reduce la vida de la misma.

VARIABLES DE LAS PRUEBAS DE MAQUINABILIDAD

Los grados de maquinabilidad generalmente se determinan bajo un conjunto de condiciones fijas, a pesar de que existen muchas variables que podrían cambiar en la práctica. Esto por supuesto sirve para simplificar el problema al eliminar las variables más fácilmente controlables.

Variaciones en el material de la herramienta: Resulta obvio que el tiempo de vida de la herramienta no serh el mismo si se utiliza un acero rhpido o un carburo y las demas condiciones permanecen fijas. Por ello las pruebas de maquinabilidad se desarrollan siempre utilizando solo un **tipo** de material para la herramienta.

Variaciones en la profundidad de corte: Si se aumenta la profundidad de corte, el calor adicional generado en el proceso de maquinado haría disminuir la vida de la herramienta. Lo mismo ocurriría si se aumentara el avance.

Geometria de la herranzienta: Puede influenciar enormemente al grado de maquinabilidad. Esto incluye ángulos de ataque positivos vs. negativos, filos agudos o redondeados, etc. Los angulos de ataque negativos generan fuerzas de corte mas elevadas que los positivos. Cuando se trabaja en materiales gomosos como Aluminio, Titanio y algunos aceros inoxidables los ángulos de ataque negativos pueden resultar en el embotamiento de la herramienta y por **lo** tanto en un grado de maquinabilidad bajo.

La experiencia en los ensayos de maquinabilidad sugiere que es necesario familiarizarse con las capacidades de las diferentes herramientas y las propiedades de los materiales de base para poder utilizar productivamente la información que proporcionan los grados de maquinabilidad.

1.3.- DESGASTE Y TIEMPO DE VIDA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

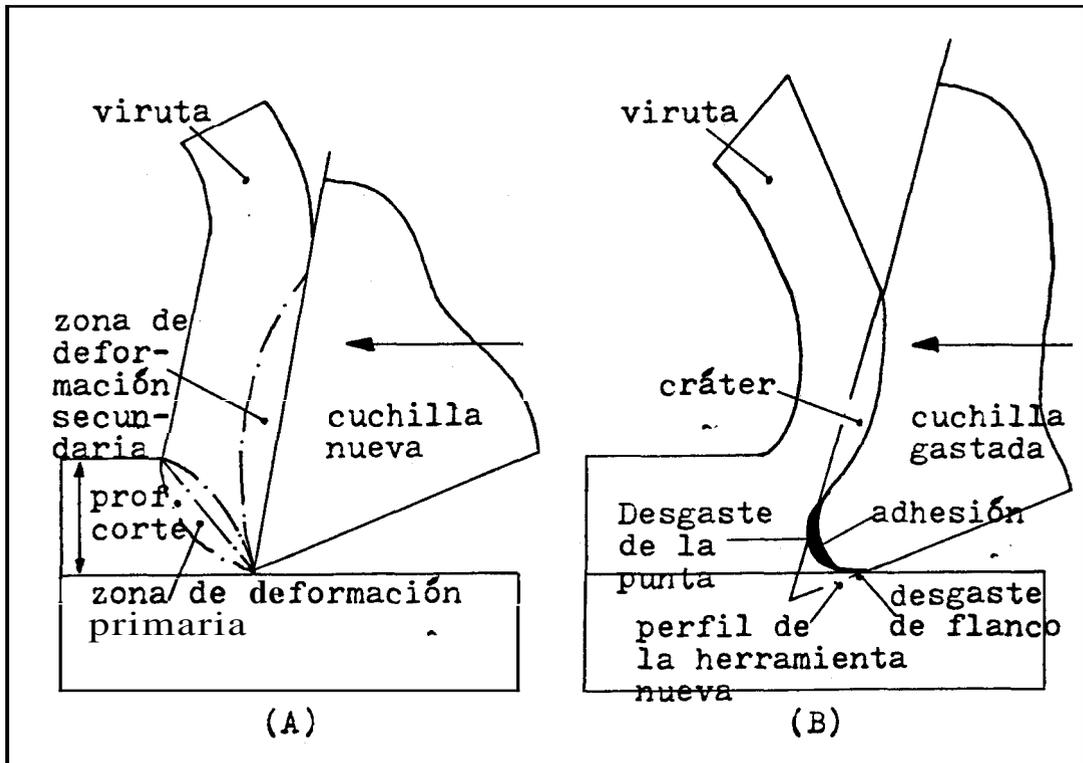
Las herramientas de corte se desgastan porque las cargas en las superficies en contacto normalmente son altas y la velocidad relativa entre la pieza, virutas y la herramienta de corte son muy elevadas. La acción del corte y la fricción en las superficies en contacto incrementan la temperatura del material de la herramienta, la cual acelera aún más los procesos físicos y químicos asociados con el desgaste.

Para lograr la remoción del material no deseado en forma de virutas, estas fuerzas y movimientos son indispensables, por lo tanto, el desgaste de la herramienta es un problema que siempre se presenta en la industria de manufactura y debe ser considerado dentro de la administración de la producción.

EL MEDIO AMBIENTE DEL DESGASTE

El desgaste de las herramientas de corte ocurre principalmente a lo largo del filo de corte y en superficies adyacentes. La figura (a) muestra **una** vista del

proceso de corte en el cual las superficies de ataque y de incidencia se intersectan para formar el filo de corte.



A) Herramienta nueva; B) Herramienta **gastada**

Fig. 4: Desgaste de la herramienta de corte(Ref.1)

Se aprecia la viruta en formación y como esta se desliza sobre la superficie de ataque, así como las zonas de deformación primaria y secundaria.

La otra figura (b) muestra cómo la herramienta afilada de la figura anterior podría desgastarse. **A** lo largo de la superficie de ataque, el movimiento de la viruta y el elevado esfuerzo normal producen el llamado desgaste de crater. **A**

lo largo de la superficie de incidencia, el movimiento de la herramienta y los esfuerzos normales han incrementado el área de contacto entre la herramienta y la pieza, produciendo el llamado desgaste de flanco. Por último, el radio del filo de corte se ha incrementado.

De este modo se muestra como el proceso de desgaste provoca alteraciones en la geometría de las herramientas de corte. Estos cambios pueden producir dimensiones fuera de las tolerancias en las piezas terminadas, pues alteran el estado de esfuerzos en la región de corte y provocan que se modifique la mecánica asociada a la formación de la viruta.

Cambios muy severos en la geometría pueden hacer que el ángulo entre las superficies de ataque y de incidencia decrezca tanto que la herramienta se debilite demasiado y termine rompiéndose en lo que se denomina una falla catastrófica por fractura de la herramienta.

MECANISMOS DE DESGASTE

1

Una de las principales áreas de estudio en el campo del desgaste de las herramientas de corte es la identificación de los mecanismos que lo producen.

Estos mecanismos, según se ha demostrado, dependen del esfuerzo de contacto, velocidades relativas en las superficies de desgaste, temperatura y propiedades físicas de los materiales en contacto.

Una clasificación general de estos mecanismos los identifica en tres grupos principales:

Mecanismos de desgaste inicial: Los dos materiales en contacto tienen rugosidades superficiales en la forma de protuberancias o asperezas. En la interfase, las asperezas de los dos materiales se tocan, creando pequeñas zonas de contacto. El área total de estos puntos de contacto es solo una fracción del área de la superficie de contacto. Los esfuerzos y el calor se intensifican en estos puntos y puede ocurrir una remoción parcial por cizalladura acompañada por fractura o por fusión en la aspereza. Cuando estas asperezas son removidas, se altera la rugosidad inicial de la superficie y el área de contacto aumenta. Si las condiciones de esfuerzo no se alteran, la presión disminuye y el mecanismo de desgaste activo cambia a plasticidad y/o oxidación-difusión moderadas. Este primer proceso crea superficies de desgaste visibles y pequeñas.

Mecanismos de Desgaste de Estado Estable: Una velocidad y esfuerzo que continúe causando cizalladura y fusión deben evitarse, pues provocarían pronto una falla total de la herramienta de corte. Asumiendo que estas condiciones no existan, las superficies de desgaste se vuelven progresivamente mas grandes. Si las superficies están dominadas por la plasticidad, pequeñas partículas de la superficie son deformadas mecánicamente y fracturadas de la superficie de desgaste.

Este proceso, generalmente llamado *abrasión* es el mas comun de los mecanismos de desgaste que se hacen presentes en la superficie de incidencia de la mayoría de las herramientas de corte.

La abrasion, junto a los demas procesos de desgaste de estado estable son los que causan que la superficie de desgaste original se haga mayor con el tiempo. Por ello este periodo de la vida de **una** herramienta de corte es a menudo denominado “Período de desgaste de estado estable”.

Mecanismos de Desgaste Terciarios: El desgaste de estado estable eventualmente agranda la superficie de desgaste hasta un punto en que se produce un desgaste acelerado. En las herramientas con un recubrimiento duro

resistente al desgaste como Nitruro de Titanio, el desgaste a través de este recubrimiento expone el núcleo, menos resistente, de la herramienta, lo que provoca un desgaste mucho más acelerado. Las presiones y velocidades en estas superficies incrementan la temperatura de modo que se produce una oxidación-difusión rápida, cizalladura y fusión localizadas que causan la rápida destrucción de la herramienta.

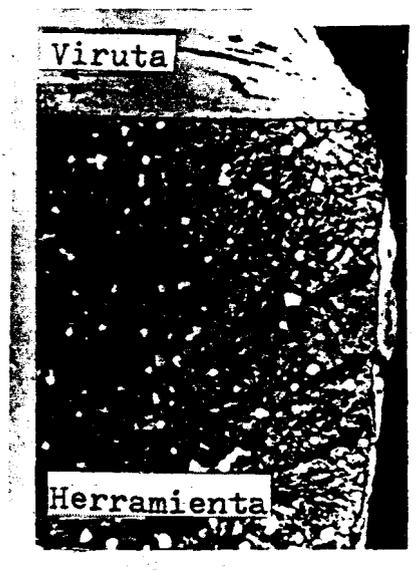
En general se puede decir que los mecanismos de desgaste que más frecuentemente se producen son el desgaste Abrasivo y el Adhesivo. Sin embargo cuando se trata de cortar metal, las elevadas temperaturas y esfuerzos presentes en la herramienta influyen en la naturaleza de estos dos mecanismos básicos y ponen en juego otros mecanismos. A continuación se presenta una revisión general de siete mecanismos que, dependiendo de las circunstancias, pueden dominar individualmente el proceso de desgaste.

DESGASTE ADHESIVO:

Esta descripción general se centra en los mecanismos que ocurren a velocidades comercialmente relevantes. Aunque el desgaste adhesivo se asocia directamente con la formación de un borde de material sobre la cuchilla, esto

no ocurre a las velocidades que se alcanzan con carburos cementados. Sin embargo, esto no quiere **decir** que el desgaste adhesivo no ocurra a tasas de remoción de metal elevadas. Estudios recientes han demostrado que la viruta limpia la superficie de ataque y el filo, de **modo que** las superficies quedan “desnudas” y libres de sustancias orgánicas u óxidos.

Esta acción de limpieza crea una oportunidad para que se produzca el desgaste adhesivo, particularmente en vista del contacto íntimo entre la viruta y la herramienta.



Uniones de desgaste abrasivo (señaladas por flechas) en el flanco de una herramienta de acero rápido usada para maquinar acero inoxidable (x1000)

Fig. 5: Desgaste adhesivo.(Ref.5)

Desgaste Abrasivo:

El desgaste abrasivo implica la remoción del material de la herramienta de corte por la acción de inclusiones de fase dura en la viruta. Trabajos recientes han logrado describir con detalle los mecanismos involucrados en este proceso. Una típica microestructura se muestra en la figura, en la cual durante el proceso de maquinado de acero inoxidable estabilizado con titanio, **una** partícula de TiC produce una rayadura en la superficie de la herramienta. En las herramientas de acero rápido, este proceso se puede observar tanto en la superficie de incidencia como en la de ataque.



Partícula de TiC (señalada con una flecha) en un acero inoxidable rayando la superficie de ataque de una herramienta de corte (x1500)

Fig. 6: Desgaste Abrasivo.(Ref.5)

En esta última, el área térmicamente debilitada, donde se producen normalmente los crateres, suele ser la **más** afectada.

La misma forma de desgaste abrasivo se presenta en las herramientas de carburos cementados cuando en la región de crater se excede la temperatura de transición dúctil-frágil.

En muchos experimentos se ha demostrado la existencia de **una** clara correlación entre el desgaste abrasivo de la herramienta **y** la cantidad de partículas abrasivas del material de trabajo.

Fractura:

La fragilidad inherente de las herramientas de carburo de tungsteno las hace susceptibles de dañarse severamente por rajaduras al ser sometidas a cargas súbitas o gradientes de temperatura en el filo de corte. Esto es particularmente crítico en las condiciones iniciales del corte cuando la herramienta se encuentra con el borde del material a cortar. En general, en cualquier situación comercial, la fractura de la herramienta no puede ser tolerada **y** se asume que siempre se tomarán medidas para evitarlo. Es por esto que la fractura no

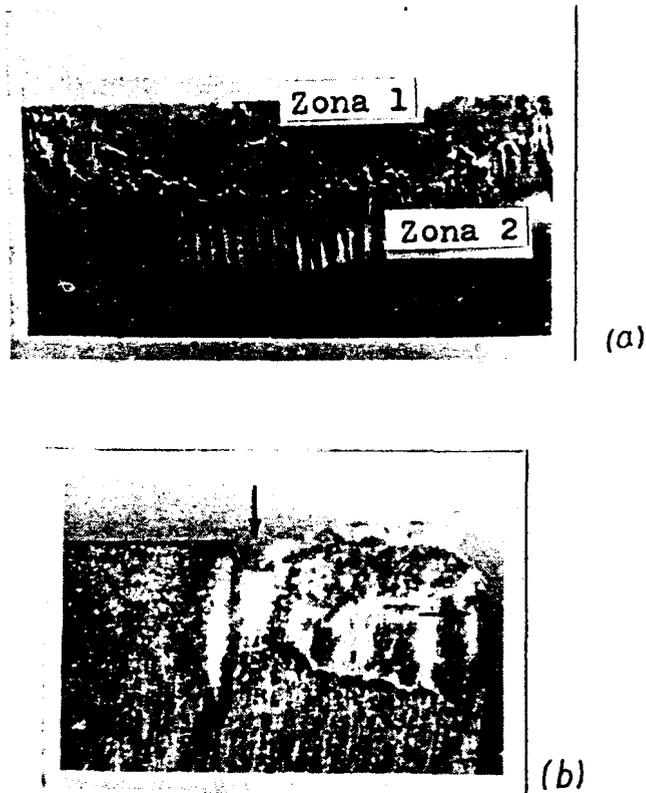
siempre se considera una influencia mayor en el proceso de desgaste de la herramienta.

Deseaste por Oxidación y Subsecuente Adhesión:

Un aspecto importante de la investigación reciente en esta área es la observación directa de la interfase viruta-herramienta usando herramientas de safiro transparente para el corte.

De este modo se ha determinado que la zona de contacto se puede dividir en un área libre (zona **1**) cercana al filo de la herramienta y una region de transferencia en el perimetro del area de contacto entre la viruta y la herramienta (Zona 2). Se ha propuesto que esta zona se forma debido a la unión fuerte entre el oxido de Aluminio (safiro) de la herramienta de corte y los óxidos que se forman en la parte inferior de la viruta. La transferencia es resultado de este proceso de adhesión.

A velocidades de corte elevadas se ha demostrado que el oxígeno no puede penetrar hasta la parte posterior de la viruta y la transferencia continúa solamente en los lados.



(a) Area de contacto luego de refrentar Aluminio con una herramienta de Zafiro. (b) Crateres (flechas) en el radio de punta y el extremo de la profundidad de corte luego de maquinarse acero.

Ambos son ejemplos de desgaste por oxidación y subsecuente adhesión.

Fig. 7: Desgaste por oxidación y subsecuente adhesión (Ref.5)

En las herramientas de torno semi-octogonales esta transferencia se ha observado en el extremo de la profundidad de corte e inmediatamente atrás del radio de punta. Luego de largo tiempo de corte se observan hendiduras en estas dos regiones como se puede ver en la figura. La evidencia muestra que la continua formación y rompimiento de las uniones adhesivas entre los óxidos

también causa que el material de la herramienta que queda por debajo sea removido ocasionalmente.

Desgaste por Difusión:

Mecanismos como la adhesión y abrasión son aumentados por la temperatura elevada, pero no de un modo tan crítico como la difusión o la deformación plástica. La difusión comprende el transporte de átomos del material de la herramienta en la viruta en movimiento y esta controlada por la solubilidad de la fase de carburo en el material de la viruta. Se ha propuesto que esta es la principal causa del desgaste por crateres a altas velocidades.



Fig. 8: Desgaste por difusión.(Ref.5)

En la figura se muestra como la difusión puede llevar a la degeneración del material de la herramienta. En este caso la zona oscura se ha formado por la difusión del material de la herramienta en el material más claro de la viruta. Este mecanismo también se puede identificar en la superficie de ataque de la herramienta, lo que sugiere que el desgaste en esta zona se debe principalmente **a la difusión**.

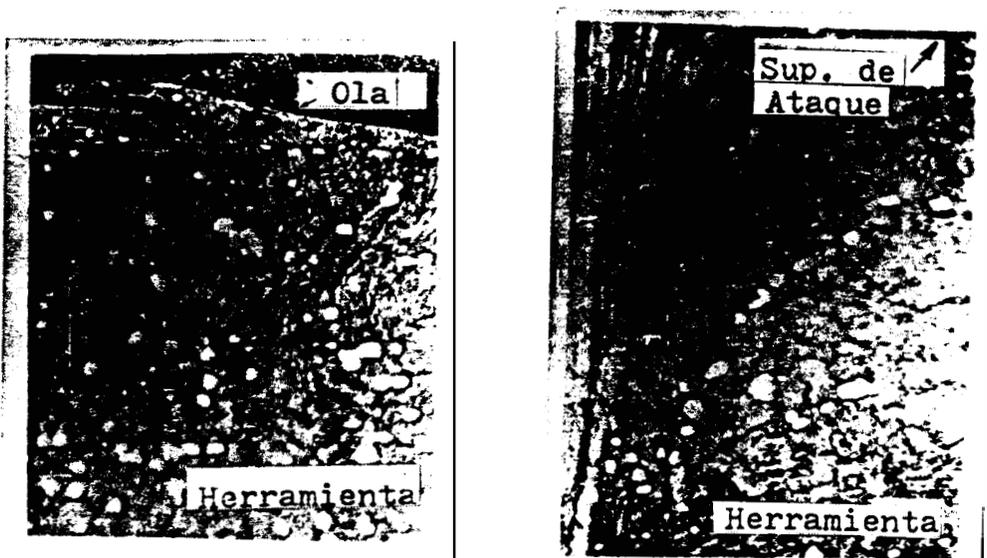
Deformación Plástica Superficial:

Este proceso ha demostrado ser una de las mayores influencias en la formación de cráteres cuando se maquina con herramientas de acero rápido cerca de su límite de resistencia.

La viruta, deformada por los altos esfuerzos, puede transferir un suficiente esfuerzo cortante a la superficie de la herramienta como para deformarlas y arrastrar material desde la región de cráter.

Deformación Plástica del Filo de Corte:

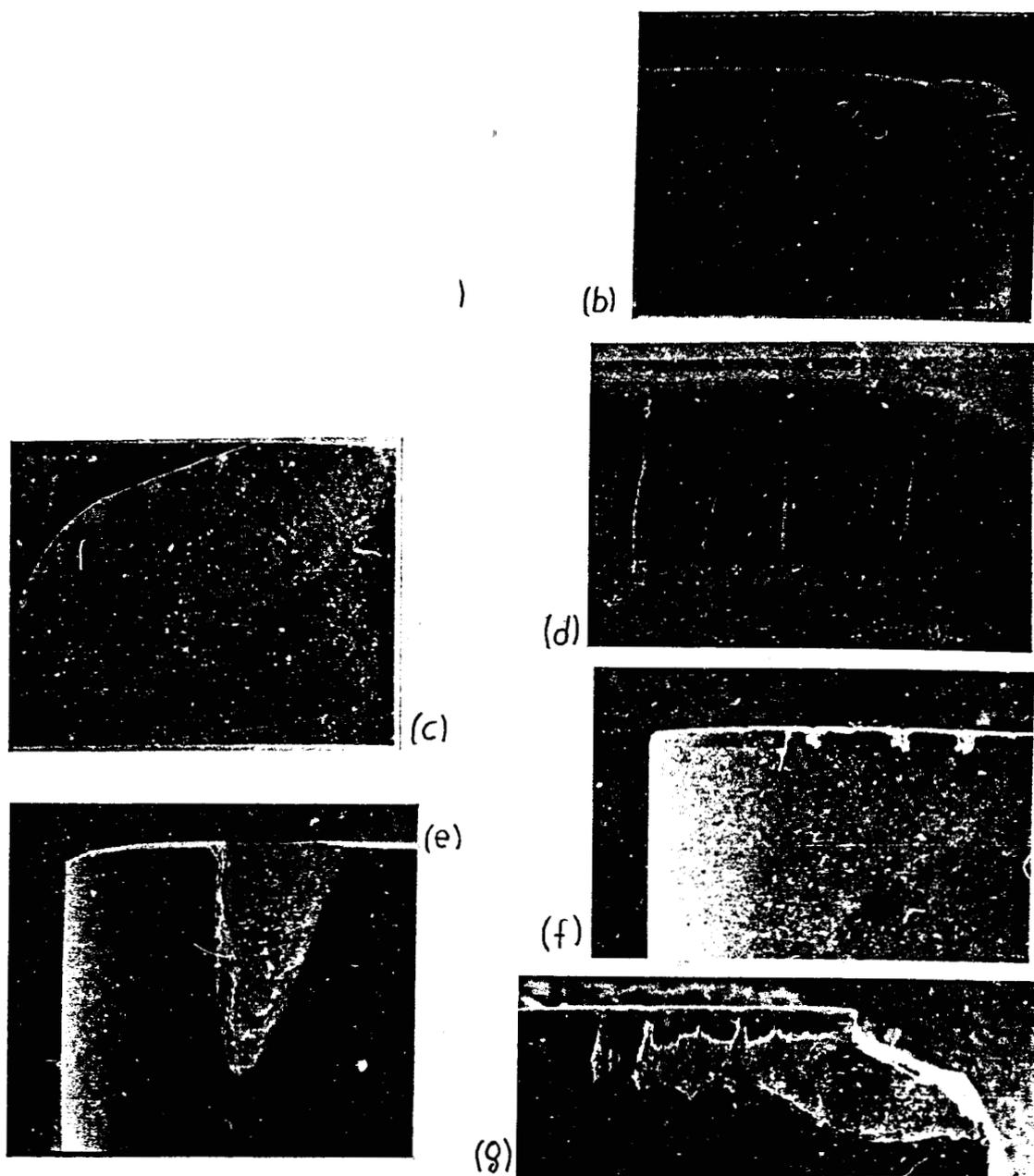
La forma más seria de desgaste implica el debilitamiento térmico de la region del filo de coite y la defoimacion de esta region al aplicarse la carga. Cuando se produce esta deformación, el borde defoimado çausa un incremento adicional de la temperatura y debilita aún mas al material. La deformación en acero rapido se muestra en la figura. Similares defoimaciones se aprecian en los carburos cementados. A altas velocidades este es uno de los mecanismos más dominantes.



(a) Deformación Superficial

(b) Redondeo del Filo de Corte

Fig. 9: Deformación Plástica (Ref.7)



a) Desgaste de flanco; b) Deformación plástica; c) Cráter; d) Grietas perpendiculares; e) Hendidura a la profundidad de corte; f) Picaduras; g) Fractura Todos son pastillas de WC

Fig.10: Mecanismos de falla en herramientas de corte(Ref.1)



TIEMPO DE VIDA DE LA HERRAMIENTA:

El tiempo de vida de una herramienta de corte generalmente se determina en función del desgaste de flanco o de crater. Este tiempo de vida no es aquel que tarda la herramienta en sufrir una falla total, ya que en condiciones reales, estas deben evitarse. Para esto las herramientas deben ser reemplazadas y debe considerarse muchos factores para determinar cuando cambiar una herramienta. Si se la reemplaza muy tarde, puede ocurrir una falla total o las piezas acabadas pueden salir con defectos o medidas fuera de las tolerancias aceptadas. Si por el contrario se reemplaza las herramientas con demasiada frecuencia, se produce un aumento en el costo por el empleo de un mayor número de herramientas y el tiempo perdido por las paradas de las máquinas.

Por esto debe hacerse un estudio económico para establecer una estrategia adecuada que optimice la productividad del proceso de corte, es decir que minimice el costo y maximice la producción y las ganancias.

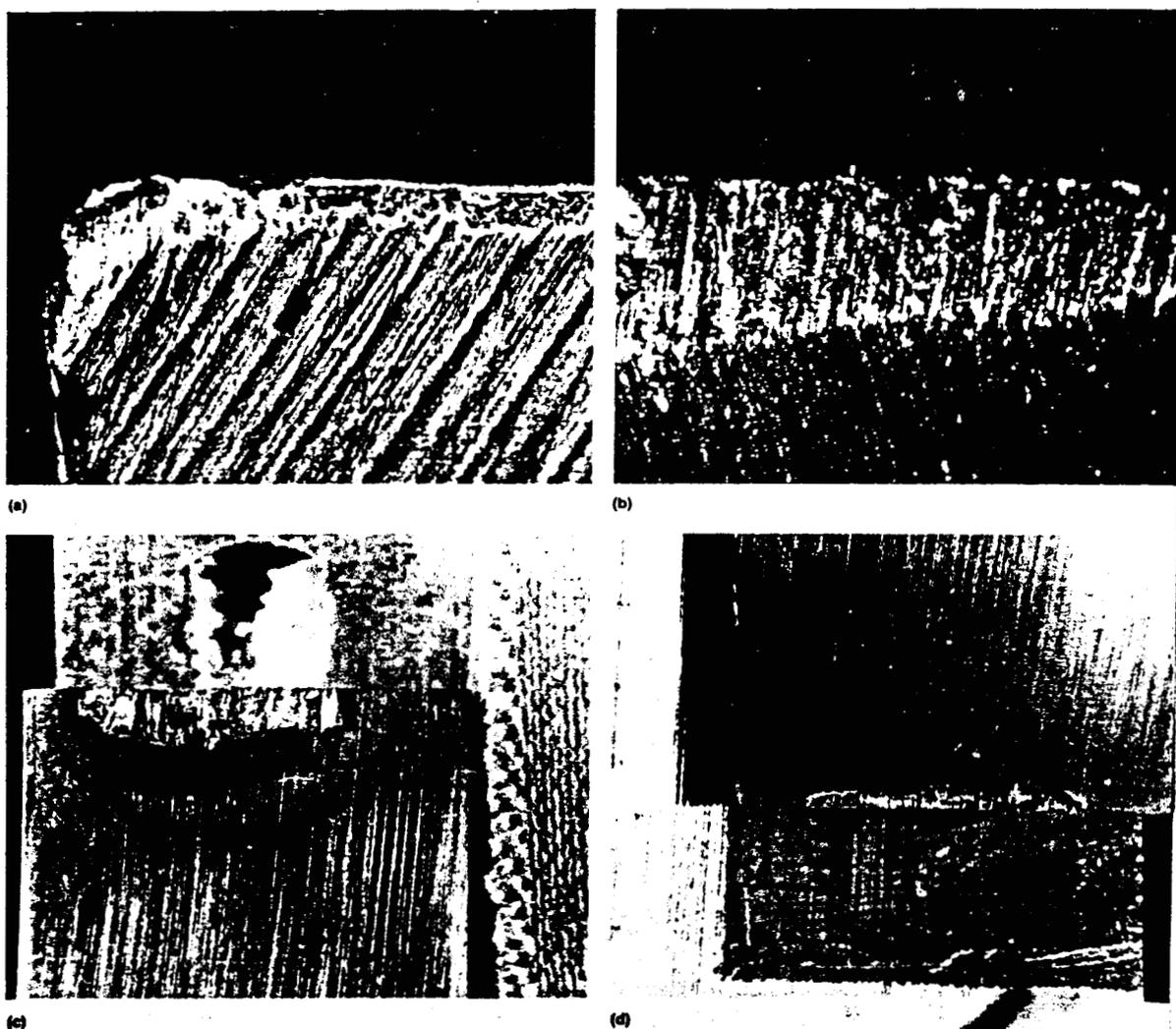
Una parte de estas estrategias de análisis es la realización de pruebas de tiempo de vida de las herramientas de corte, según los métodos aceptados universalmente. En la tabla se muestran valores típicos de los límites de

desgaste permitidos en diferentes operaciones de maquinado, tanto para herramientas de acero rápido como para carburos cementados.

Tabla I: Límites típicos para el Desgaste de Flanco

OPERACION MATERIAL	Y DESGASTE PROMEDIO EN (mm)	MAXIMO DESGASTE LOCAL (mm)
Torneado:		
HSS	1.5	1,5
Carburo	0.45	0,9
Fresado Plano:		
HSS	1.5	1,5
Carburo	0,45	0,9
Acanalado:		
ISS	0.30	0.50
Carburo	0,30	0.50
Fresado Periferico:		
ISS		
Carburo	0.30	0,50
	0,30	0.50
Aladrado:		
ISS	0.45	0,45
Carburo	0,45	0,45

Ref. 1



a) En una fresa; b) En el filo de una broca; c) En una cuchilla de torno de HSS; d) En una cuchilla de HSS recubierto (c y d fueron usadas para un corte ortogonal en un anillo)

Fig. 11: Típicas huellas de desgaste de flanco(Ref.1)

1.4.- MAQUINADO DE ALEACIONES DE COBRE

El Cobre y sus aleaciones pueden ser divididos en tres grandes grupos en relación a su maquinabilidad.

1. **Aleaciones de fácil mecanización:** Son las que contienen una proporción apreciable de Plomo, Azufre o Telurio que se añaden para mejorar la maquinabilidad del material. El Plomo, por ejemplo, facilita la rotura de las virutas haciendo posible el maquinado a alta velocidad con larga vida de la herramienta de corte y buen acabado superficial.
2. **Aleaciones moderadamente maquinables:** Son básicamente los bronce sin Plomo que contienen entre 60 y 85% de Cobre. Estas aleaciones contienen fases secundarias que son más duras o frágiles que la matriz. Durante el mecanizado de estas aleaciones se producen virutas cortas.
3. **Aleaciones difíciles de maquinar:** Incluyen los Cobre sin Plomo, Latones de bajo Zinc, bronce fosfóricos, aleaciones cupro-níquel y algunos cobre al Berilio.

EFFECTO DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LA **MAQUINABILIDAD**

Como se indico anteriormente, la maquinabilidad de las aleaciones de Cobre se incrementa con la adición de Plomo, Azufre, Telurio y Zinc; mientras que el Estaiio y el Hierro la deterioran.

El *Plomo* incrementa la fragilidad de la aleación y causa que las virutas se rompan en trozos cortos en lugar de formar largos espirales. El plomo no se disuelve en el cobre, pero se dispersa finamente **en** la matriz. Como es suave, reduce el esfuerzo involucrado en la formación de la viruta y produce finas agujas que se quiebran cerca del plano de corte. Para que este efecto sea notorio debe existir un contenido mínimo de 2% de Pb.

El *Azufre* y el *Telurio* mejoran la maquinabilidad cuando se realiza un ensayo de taladrado. El número de vueltas requerido para perforar bajo carga constante un agujero de 6mm de profundidad en el material decrece abruptamente con pequeñas adiciones de estos elementos a la aleacion. No existe una ventaja en añadir mas de 0,5% de cualquiera de ellos por la inevitable pérdida de conductividad eléctrica.

La adición de **Zinc** aumenta la dureza del latón alfa hasta el límite de solubilidad, alrededor de 37% de Zinc. En los latones libres de Plomo, el aumento del contenido de Zinc entre 0 y 30% mejora la maquinabilidad de 20 a 30%.

El **Estaño** añadido hasta en un 1,8% al bronce al plomo comercial (89Cu-9,25Zn-1.7Pb) disminuye su maquinabilidad tanto para torneado como para aserrado y fresado.

El **Hierro** añadido en 1,6% al bronce al plomo disminuye su maquinabilidad en alrededor del 10%.

TORNEADO DE ALEACIONES DE COBRE

Debido a la gran variación de características de maquinabilidad entre las aleaciones de cobre, el diseño de la herramienta de corte, así como la velocidad y el avance deben ser alterados para obtener los mejores resultados en cada caso particular.

Tanto acero rápido como carburo se utilizan para torneear cobre y sus aleaciones, sin embargo para ciertos bronce al Silicio y al Aluminio es más recomendado el carburo porque el calor que se produce durante el corte es generado muy cerca de la punta de la herramienta donde el esfuerzo debido a la fuerza de corte es el mayor.

Las aleaciones del grupo 3 pueden presentar características de maquinabilidad similares a las grupo 1 o 2, con virutas quebradas, si se cumplen las siguientes condiciones:

- Un ángulo de salida (el ángulo entre la viruta y el eje de la barra de 20 a 60°)
- Un adecuado rompevirutas en la herramienta que prevenga que la misma se vuelva una tira plana y continua.

Para las aleaciones del grupo 1 se recomiendan ángulos de ataque de cero a moderados. Este ángulo debe incrementarse para torneear aleaciones de los grupos 2 y 3 para proporcionar un flujo libre a las virutas.

Las velocidades indicadas en las tablas sirven de referencia para establecer procedimientos, lo que no significa que **estas** no puedan ser variadas de acuerdo a la experiencia.

Tabla II: Velocidades nominales para el torneado de aleaciones de Cobre con herramientas de un solo filo

Aleación Grupo	Condición	Dureza HRB*	Velocidad (m/min)	
			HSS	Carburo
DESBASTADO				
1	Fundida	40-150	100	230
2	Fundida	40-175	69	155
3	Fundida	40-200	27	64
FIN DE TORNEADO				
1	Fundida	40-100	145	295
2	Fundida	40-175	100	200
3	Fundida	40-200	40	84

* HRB (500 Kg)



1.5.- MAQUINABILIDAD DE LOS BRONCES AL

ALUMINIO

Los bronce al Aluminio poseen muy diversos grados de maquinabilidad según cual sea su contenido de Aluminio y demás elementos aleantes como Hierro, Niquel, etc.

Generalmente, esta familia de materiales es considerada difícil de maquinar, sin embargo si revisamos en las tablas las propiedades de los mismos podemos concluir que la mayoría de ellos pertenecen al grupo 2 que contiene las aleaciones moderadamente maquinables. Esto significa que la mayoría de los problemas que se presentan al trabajar con este tipo de aleaciones son causados por errores en los procedimientos o en la selección de los diferentes parámetros de corte.

Algunas aleaciones Cobre-Aluminio, sobre todo los bronce de un contenido intermedio de Aluminio (9-12%) presentan una viruta larga y continua con forma de espiral, pero rugosa en la parte inferior, lo que la vuelve quebradiza y se convierten en materiales del grupo 1.

Tabla III: Propiedades de algunos Bronces al Aluminio comerciales

Aleacion #	Nombre	Composición	Maquinabilidad*
C 95300	Bronce al A	89Cu- 10Al-1Fe	55
C 95400	Bronce al Al	85Cu-11Al-4Fe	60
C 95600	Bronce al Al-Si	88Cu-0,25Ni-7Al- 2,5Si	50
C 95200	Bronce al Al	88Cu-9Al-3Fe	20
C95500	Bronce al Al	81Cu-4Ni-11Al-4Fe	50
C 95700	Bronce al Al- Mn	75Cu-2Ni-8Al-3Fe- 12Mn	50
C 95800	Bronce para Helices	82Cu-4Ni-9Al-4Fe- 1Mn	50
C 99300	Increment 800	72Cu-15Ni-11Al- 1,5Co-0,5Fe	---

Ref.1

* La maquinabilidad está expresada como porcentaje de la maquinabilidad del C 36000 (**61,5Cu-35,5Zn-3Pb**) llamado Latón de Corte Libre (Free Cutting Brass).

Adicionalmente, está comprobado que los grados o índices de maquinabilidad no precisamente describen el verdadero comportamiento de un material en una aplicación particular. Dos aleaciones del mismo grupo pueden diferir considerablemente del grado relativo de maquinabilidad asignado. Estos cambios pueden ocurrir por la naturaleza del proceso de maquinado empleado, la composición y microestructura de la aleación o el criterio preciso utilizado para determinar la maquinabilidad (vida de la herramienta, acabado superficial, etc.).

Un buen ejemplo de este fenómeno son algunas aleaciones del grupo 3. Aunque todas estas aleaciones poseen un grado de 20, su maquinabilidad puede diferir considerablemente en los procesos reales de producción.

La maquinabilidad de las aleaciones del grupo 3 puede ser mejorada con la utilización de rompevirutas y seleccionando apropiadamente los ángulos y el tamaño de las superficies de deslizamiento de la viruta en las cuchillas o pastillas de corte.

La herramienta más adecuada para mecanizar bronce al Aluminio es **una** pastilla de carburo de grano fino (0,8 micras) en una matriz de 10% de Cobalto.

1.6.- CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS

DE LOS BRONCES AL ALUMINIO Y

APLICACIONES

En nuestro medio los bronce al Aluminio no son muy conocidos, y por lo tanto son poco utilizados industrialmente. El mercado se halla dominado por los bronce al estaño y los diferentes latones.

Sin embargo, los bronce al Al poseen en general propiedades mecánicas superiores a sus contrapartes con otros elementos aleantes, sin un detrimento considerable las tradicionales propiedades de los bronce como son apariencia, acabado superficial, conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión y al desgaste.

BRONCE AL 8% Al

Un típico bronce comercial es el C-61000, que contiene 92% **Cu-8%Al**. En la práctica se tolera un contenido de Aluminio entre 6,8-8,5% y un máximo de 0,5% de Fe.

Se lo obtiene en forma de varillas o cable **y** se utiliza para la elaboración de pasadores **y** pernos, ejes **y** partes de bombas. Se lo suelda sobre el acero para utilizarlo como superficie de desgaste. También se lo emplea en forma de tubos sin costura para intercambiadores de calor y condensadores.

Su resistencia a la tracción es de **480 Mpa** **y** su dureza oscila alrededor de 60 HRB **y** es susceptible de ser trabajado en frío o en caliente.

BRONCE AL 10% Al

Un ejemplo comercial de este tipo de bronce es el **C-62300** (87Cu-10Al-3Fe).

Su composición aceptada es de 82,2-89,5% Cu, 8,5-11% Al **y** 2-4% Fe.

Este material se consigue en forma de barras **y** tubos **y** se utiliza para fabricar cojinetes de deslizamiento, bujes, pasadores, pernos, tuercas, engranajes, **guías** de válvulas, partes para bombas, levas, etc.

Su dureza es de alrededor de 80 HRB **y** posee una maquinabilidad aceptable, con buenos acabados superficiales. Se recomienda usar una velocidad de corte de 107m/min **y** un avance de 0,3mm/rev.

BRONCE AL 12% Al

La aleación comercial correspondiente a este material es el bronce C-62400 (86Cu-11Al-3Fe) cuya composición es 82, 8-88% Cu, 10-11, 5% Al, 2-4% Fe.

Este material posee una dureza de 92 HRB y una maquinabilidad del 50%. La velocidad óptima de corte es de 90m/min y el avance 0,3mm/rev. La viruta se rompe fácilmente.

Se lo utiliza principalmente para la fabricación de engranajes, por su considerable dureza que puede aumentarse con tratamientos térmicos, placas de desgaste, levas, bujes para cargas moderadas o altas; riostras, pasadores, etc.

BRONCE AL 13,5% Al

Su nombre comercial es C-62500 y su composición es 12,5-13,5% Al, 3,5-5% Fe y el resto Cu.

Se lo utiliza para la fabricación de bujes y guías para altas cargas y bajas velocidades, tiras de desgaste, dados para conformado de lámina metálica y rodillos de forma.

Posee **una** muy baja ductilidad y resistencia al impacto. Esto impide su **aplicación** donde exista el riesgo de choques o altos esfuerzos. **Su** resistencia a la **corrosión** es menor a la de los bronce con un menor contenido de Aluminio como el 62400 y 62300.

Su **dureza** es muy elevada, 30HRC, la maquinabilidad muy baja, 20,4 y no es apto para el trabajo en frío, pero si en caliente.

PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS BRONCES AL ALUMINIO

Los bronce al Aluminio resisten los acidos no oxidantes como el sulfúrico, hidrolórico y fosfórico.

Esta resistencia disminuye al aumentar la concentración de oxigeno, lo cual ocurre típicamente a temperaturas mayores de **55°C**.

Pueden usarse donde existan sales alcalinas neutras y ácidas o compuestos orgánicos. Solamente los ácidos oxidantes, sales oxidantes y de metales pesados los corroen.

Resisten el agua potable o de mar. El agua blanda resulta mas corrosiva que la dura para estos materiales.

Su resistencia a la corrosion, en general, se ve afectada por la concentración **de** la solución, la aereacion, temperatura y la concentracion **y** tipo de impurezas presentes en la solución.

No deben usarse donde exista presencia de acido nítrico y son susceptibles de sufrir corrosión bajo la presencia de esfuerzos (stress corrosión cracking).

1.7.- INFLUENCIA DE LOS LIQUIDOS LUBRO- REFRIGERANTES EN EL MAQUINADO DE LOS BRONCES AL ALUMINIO

Las operaciones de corte y pulido de metales encierran un complejo grupo de parámetros, y la correcta elección del fluido de corte o fluido lubro-refrigerantes esta determinado por:

- El diseño, rigidez y condiciones de operación de la Maquina Herramienta.
- La velocidad, avance y profundidad de corte.
- La composición, acabado y geometria de la herramienta de corte
- El modo de aplicacion del fluido.
- La geometría de la pieza que se va a maquinar.
- La composición, microestructura y distribución de los esfuerzos residuales en la pieza que se va a maquinar.

Cuando estan propiamente aplicados, los líquidos lubro-refrigerantes pueden incrementar la productividad y reducir los costos al hacer posible el maquinado a mayores velocidades, con mayores avances y profundidades de corte. El uso correcto de esto fluidos puede incrementar la vida útil de la herramienta de

corte, disminuir la rugosidad de la superficie, incrementar la exactitud dimensional y disminuir la cantidad de potencia consumida en comparación al corte en seco.

FUNCIONES DE LOS LIQUIDOS LUBRO-REFRIGERANTES

Dependiendo de la operación de maquinado que se realice los fluidos de corte deben cumplir con una o mas de estas funciones:

- o Enfriar la herramienta, la pieza de trabajo y la viruta.
- Lubricar, reduciendo la fricción y minimizando la erosión de la herramienta de corte.
- Ayudar a “lavar” la viruta de la **zona** de trabajo.
- Proteger la pieza de trabajo, la herramienta y la máquina de la corrosión.

La relativa importancia de cada una de estas condiciones depende de las condiciones de trabajo. En el torneado de alta velocidad la función mas importante del líquido lubro-refrigerante es precisamente la refrigeración. A velocidades moderadas tanto la refrigeración como la lubricación son



igualmente importantes y a baja velocidad es la lubricación la que **se** convierte **en** la función más importante.

TIPOS DE LIQUIDOS LUBRO-REFRIGERANTES

Existen básicamente dos tipos de fluidos de coite:

- Con Base de Aceite
- Con Base de Agua

Los *fluidos con base de aceite* se utilizan para operaciones a baja velocidad. **Dan** mayor importancia a la lubricidad y poseen inferiores propiedades refrigerantes. Ayudan a mejorar el acabado superficial y proporcionan protección contra la corrosión.

Los *fluidos con base de agua* dan una mayor importancia a la refrigeración y poseen por lo tanto una lubricidad relativamente baja.

Son excelentes para las operaciones a alta velocidad. Debido a la presencia de agua pueden facilitar la corrosión de piezas de materiales ferrosos si no se utiliza inhibidores.

EMULSIONES

Una emulsión es una mezcla de aceite y agua, en la cual debido a la insolubilidad del aceite, el mismo queda en suspensión, sin llegar a diluirse completamente. Para su preparación se utilizan aceites solubles, que están compuestos de aceite básico de petróleo más aditivos emulsionantes. **El** aceite se debe mezclar con agua en una proporción típica de 20:1, es decir una parte de aceite por cada **20** de agua, o **5%** en volumen. Es importantísimo para preparar la emulsión agregar siempre el aceite al agua y no viceversa. Este tipo de soluciones representan aproximadamente el 50% del mercado de lubricantes para el maquinado de metales, y presentan las siguientes ventajas sobre las soluciones:

- Poseen tanto lubricidad como refrigeración elevadas
- Tienen un buen rendimiento a bajas concentraciones
- Poseen propiedades inherentes para la prevención de la corrosión

- Buena detergencia
- Se pueden incorporar aditivos de alto rendimiento adicionales

Las principales desventajas de las emulsiones son:

- Son sensibles a la dureza del agua
- Favorecen al desarrollo de bacterias y microbios si no se mantiene alto el ph del fluido, lo que puede provocar dermatitis en los operadores.

ADITIVOS PARA EL MAQUINADO DE METALES

Como se habia indicado anteriormente, la mayoría de los fluidos de corte utilizados son emulsiones de aceite en agua, ya que las emulsiones combinan tanto las propiedades lubrificantes del aceite, como las refrigerantes del **agua**.

Los aceites solubles utilizados para la fabricación de las emulsiones deben tener propiedades diferentes a las de, por ejemplo, un aceite lubricante común. Estas propiedades se logran mediante la adición de aditivos.

Los aditivos para corte de metales pueden ser de dos tipos:

- Químicamente Inactivos
- Químicamente Activos

Los aditivos *Químicamente Inactivos* reducen la fricción entre la cuchilla y el material de trabajo, reducen la tensión superficial del líquido y mejoran el acabado de la superficie. Funcionan mediante dos mecanismos diferentes:

Por Adsorción de la Superficie: cuando el lubricante se aloja en las cavidades e irregularidades microscópicas de la superficie del metal, y se quedan pegados debido a diferencias de polaridad. Este es el caso de las grasas, aceites grasos, aminas grasas y jabones grasos.

Por Separación Física: cuando existe un compuesto que forma una película que impide el contacto directo de metal con metal, como es el caso de las sales orgánicas o inorgánicas.

Los aditivos *Químicamente Activos*, también llamados de Extrema Presión o EP (Extreme Pressure) reaccionan con el metal de trabajo para formar capas de Sulfuros, Fosfuros o Cloruros del metal, las cuales son más fáciles de cortar y producen una fricción menor. Los principales aditivos de este tipo que se

utilizan son compuestos de Cloro, los cuales brindan protección hasta una temperatura de 600°C y los de Azufre que protegen hasta los 1000°C .

Las desventajas de este tipo de compuestos son los posibles efectos secundarios. Los hidrocarburos sulfurizados tienden a reaccionar con ciertos metales produciendo coloraciones oscuras y las parafinas cloradas son susceptibles a descomponerse y formar ácidos corrosivos como el HCl.

Como alternativa a los agentes EP convencionales, en la actualidad se están utilizando compuestos de Sodio y de Calcio, con alto contenido de Carbonato Metálico, los cuales no presentan problemas secundarios y además son compatibles con las últimas regulaciones ambientales.

SELECCION DE LOS LIQUIDOS LUBRO-REFRIGERANTES PARA BRONCES AL AI

La selección del fluido adecuado para cada aplicación se debe realizar tomando en cuenta un sinnúmero de parámetros interrelacionados. Anteriormente se trataron los factores directamente relacionados con la operación de corte, pero

existen otras necesidades que el cliente busca al momento de seleccionar un fluido como:

- Una favorable relación Rendimiento - Costo
- Que el fluido no sea tóxico
- Que no tenga un olor desagradable
- Que produzca poca espuma
- Larga vida útil y/o posibilidad de reciclaje
- Facilidad de limpieza, una vez terminada la operación de corte
- Que el fluido desechado pueda ser tratado según las regulaciones ambientales vigentes

Para el maquinado de aleaciones de Cobre y en general de metales amarillos, dentro de los cuales se incluyen los bronce al Aluminio, no se recomienda la utilización de aceites que contengan aditivos activos, especialmente con Azufre, porque el metal se mancha.

Se recomienda usar aceites grasos que contengan aminas o ésteres, soluciones de jabones grasos, soluciones con base de agua (ya que los bronce al Aluminio poseen muy buena resistencia a la corrosión) y emulsiones de aceites solubles diluidas debidamente, según las proporciones recomendadas.

CAPITULO II: TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1.- OBJETIVO Y METODOLOGIA **EXPERIMENTAL**

Para la realización de pruebas de maquinabilidad existen diferentes objetivos posibles: globales o locales.

Los objetivos globales se refieren mas a problemas administrativos, cuando es necesario tomar decisiones que requieran información acerca del tiempo de vida de las herramientas de corte. Un ejemplo de este tipo de situaciones es la decisión de qué herramientas comprar, o el desarrollo de condiciones de trabajo para una nueva combinación herramienta-operación. El primero podría denominarse un **OBJETIVO DE ACEPTACION** y el segundo un **OBJETIVO OPERATIVO**.

Para el caso de este trabajo experimental resulta mas interesante y práctico establecer **objetivos locales**. Estos objetivos se centran mas específicamente **en el uso** propuesto de la herramienta y cómo se va a juzgar su desempeño.

El objetivo específico de los ensayos realizados es predeterminar ciertas condiciones de corte, las cuales sean o se aproximen a las máximas que se puedan utilizar para trabajar el material en la máquina utilizada y emplear un límite de desgaste del filo de corte como criterio de falla de la herramienta.

OBJETIVO

“El objetivo de las pruebas realizadas es encontrar los valores de maquinabilidad relativa de cuatro diferentes tipos de bronce, utilizando para ello los procedimientos experimentales reconocidos internacionalmente.”

Los materiales ensayados fueron un patron que se considera que posee una maquinabilidad perfecta y cuatro bronce al Aluminio con diferentes composiciones: 8% Al, 10% Al, 12% Al y 13,5% Al. Con los datos experimentales se trazan las curvas “desgaste de flanco de la cuchilla”vs. “tiempo” para cada material y de ellas se obtiene el tiempo de vida de la herramienta de corte, utilizando como criterio de falla un valor limite de desgaste. La maquinabilidad se puede expresar como un porcentaje de

maquinabilidad relativa, respecto al material patron al cual se le asigna arbitrariamente un 100% como grado de maquinabilidad.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

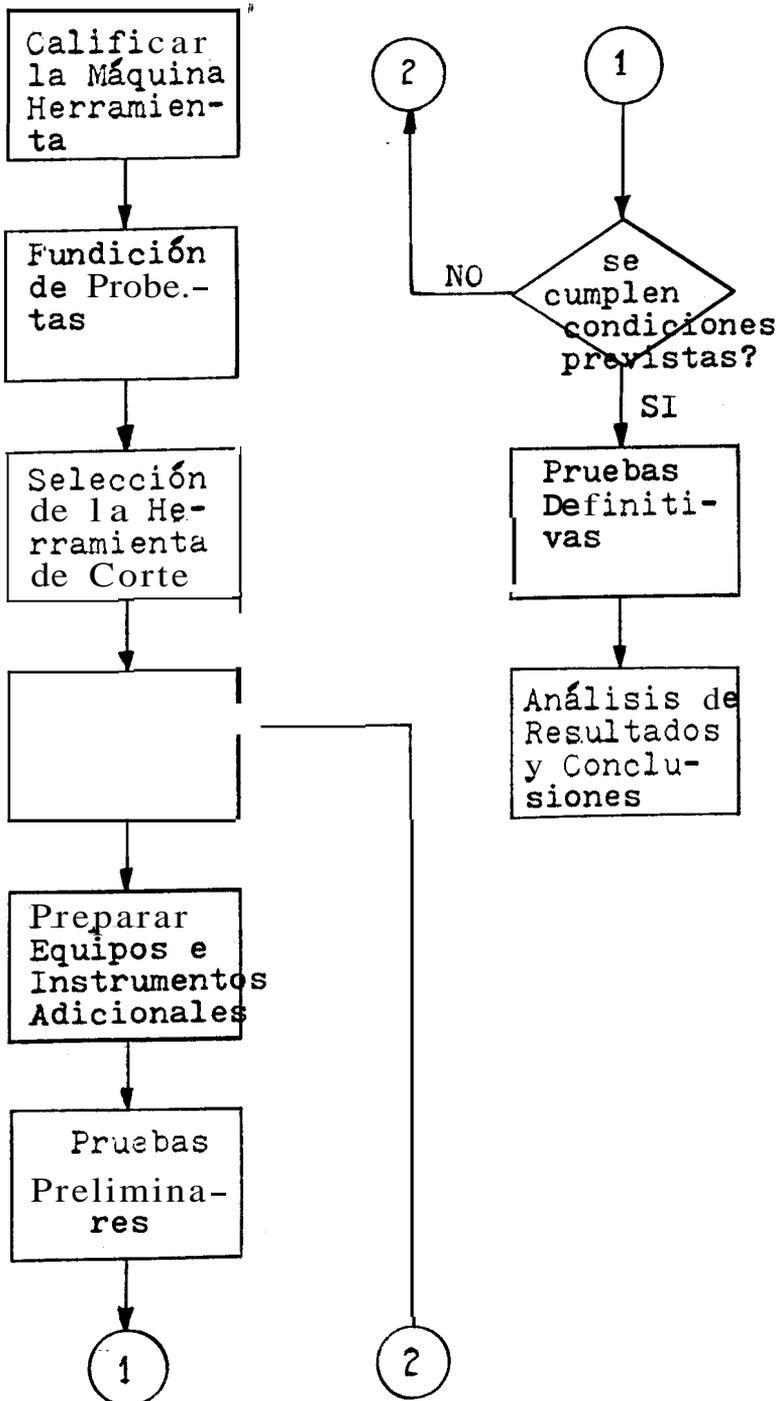
Para la realización de las pruebas de maquinabilidad es necesario primeramente establecer claramente la metodología experimental. Los pasos a seguir para las pruebas son los siguientes:

1. Calificar el tipo de máquina que se utilizara para los ensayos **y** realizar todas las pruebas necesarias para asegurar su correcto funcionamiento durante las piuebas.
2. Hacer la fundición de probetas en suficiente cantidad para los ensayos. Asegurarse de que las probetas sean todas de la misma forma y tamaño y realizar cualquier preparación necesaria en ellas.
3. Seleccionar el tipo de herramienta de coite que se va a utilizar, tanto su material como su geometria. **Si** se van a utilizar varias herramientas se debe asegurar de que todas sean iguales.



4. Seleccionar los parametros de corte, la velocidad, avance y profundidad de corte. Estos parametros deben ser los máximos que se puedan alcanzar en la máquina seleccionada para **el** material de **ensayo**.
5. Conseguir los equipos adicionales y accesorios necesarios para las pruebas: Portacuchillas, Contrapunto, Instrumentos opticos (macroscopio) para la medición del desgaste, Cronometro.
6. Realizar pruebas preliminares para comprobar el cumplimiento de las condiciones propuestas y determinar la factibilidad de alcanzar los objetivos experimentales. Si es necesario, realizar las correcciones necesarias en los parametros seleccionados.
7. Realizar las pruebas definitivas con los diferentes materiales y tomar los datos necesarios para la elaboración de las tablas de resultados.
8. Analizar los resultados y foimular las conclusiones del experimento.



DIAGRAMA DE FLUJO

2.2.- PRUEBAS PRELIMINARES Y ADAPTACION

DE EQUIPOS

Antes de realizar los ensayos fue necesario primeramente fabricar las probetas de los materiales con los cuales se iba a trabajar.

El material patrón utilizado fue comyrado localmente, pues se trata de un bronce comercial, conocido como bronce “dulce”.

Su composición química es la siguiente:

Cu 58% **Zn 39%** **Pb 3%**

Este material fue escogido por su gran similitud con el material patron sugerido en la literatura consultada que es el llamado “free cutting brass” o latón de corte libre cuya composición es:

Cu 61,5% **Zn 35,5%** **Pb 3%**

La maquinabilidad del material patron puede considerarse de 100%. Se compraron las probetas ya listas, en forma de barras redondas de 1¼” de diámetro y 300 mm de largo.

Los demas materiales fueron producidos en los talleres de la Facultad de Ingeniería en Mecánica utilizando como materia prima alambre de **Cu** y de **Al**, además de clavos de acero. Se utilizo para la fundición un horno de crisol con quemadores de gas, construído localmente. La máxima capacidad por cada colada del horno es de 40 lbs. Primeramente se tomó la chatarra de **Cu** y de **Al** y se la fundió para luego formar lingotes, a partir de los cuales se fabricó luego la aleación. Para la producción de las probetas se utilizó el proceso de fundición en molde metalico el cual proporciona un excelente acabado y nos permitió obtener las mismas directamente de la fundicion, **sin** necesidad de maquinado previo a los ensayos.

Para comprobar la calidad de las aleaciones se realizaron pruebas de dureza brinell y rockwell y los resultados de las mismas se compararon con la de materiales similares tabulados en la bibliografia.

Antes de la realizacibn de las pruebas definitivas se tomó una barra de cada material y se las maquinó con las mismas condiciones que se seleccionaron para el experimento final, para cornprobar si era posible llegar a los límites de desgaste establecidos o si era necesario realizar algún cambio en los parámetros.

Al comprobarse que los resultados fueron satisfactorios se prosiguió con la experimentación tal como se planeo.

2.2.1.- ANALISIS DE LA MAQUINA-HERRAMIENTA

El objetivo de este análisis es establecer si la máquina que se utilizará en las pruebas cumple con los requerimientos de precisión geométrica establecidos por los fabricantes a nivel internacional. Estas recomendaciones son aplicables a máquinas de precisión normal y de uso general. No incluyen los ensayos especiales de funcionamiento de la máquina como son: capacidades de corte, vibraciones, ruido, avance irregular y otros.

PRECISION GEOMETRICA REQUERIDA

La máquina debe estar de acuerdo con la precisión especificada en la columna de desvíos admisibles. Para verificar estas medidas, los ensayos deben ser ejecutados de acuerdo con los detalles descritos en las hojas de ensayos.

APLICACION DE LOS METODOS DE ANALISIS

Los ensayos deben realizarse tal y como son descritos en las hojas correspondientes y siguiendo las recomendaciones adicionales que pudieren indicarse de ser necesario. Se deben considerar también las exigencias en cuanto a la precisión de los equipos de ensayo utilizados.

El orden de realización de las pruebas debe ser el que resulte mas cómodo para facilitar el montaje de los instrumentos.

Para la presentación de los resultados se debe utilizar el formato de las hojas de resultados.

Todas las medidas indicadas deben ser en milímetros.

Todas estas recomendaciones y ensayos están de acuerdo a las siguientes normas: DIN 8606, BS 4656.

RESULTADOS DEL ANALISIS

HOJA DE RESULTA				
TIPO DE MAQUINA: Torno Horizontal		MARCA: TURRI	MODELO: T-220	
número	Ensayo	Desvíos Admisibles	Valores Medidos	Observaciones
1	Nivelación de la bancada a) En la dirección Longitudinal b) En la dirección Transversal	Para 1000<Dc<1500 a) 0,005/250 b) 0.03/1000	0,01/250 0,03/1000	Máquina se encuentra bien nivelada, sobre todo el sentido longitudinal
2	Rectitud en el movimiento del carro a un plano horizontal en relación a la línea de centro	0.02	0.04	Se sobrepasan los valores aceptables, tal vez por desgaste de las guías
3	Paralelismo entre las guías del cabezote del contrapunto y el movimiento del carro a) En el plan, horizontal b) En el plano vertical	a) 0.02 b) 0.03	0.02 0.04	Valores en los límites de lo aceptable solo en el plano horizontal.
4	Paralelismo entre el eje del árbol y el movimiento longitudinal del carro. a) En el plan, horizontal b) En el plano vertical	a) 0.010/300 b) 0.02/300	0,02/300 0,021300	Excesiva desviación en el plan, horizontal.
5	Paralelismo entre el eje del contrapunto y el movimiento del carro a) En el plano horizontal b) En el plano vertical	a) 0.011100 b) 0.015/100	0,03/100 0,03/100	Se sobrepasan los valores permitidos en ambos planos
6	Diferencia de altura entre los ejes del árbol y el contrapunto	0.02 el contrapunto o encima del árbol	0,03	Ligeramente por encima del límite permitido
7	Paralelismo entre el movimiento longitudinal del carro porta herramientas y el eje del árbol	0.015/150	0.021150	Valor aceptable

2.3.- SELECCION DE HERRAMIENTAS DE CORTE: MATERIAL Y GEOMETRIA

Es importantísimo para las pruebas de maquinabilidad que éstas se realicen con un solo tipo de cuchilla para que los resultados de cada ensayo individual sean susceptibles de ser comparados entre sí. Esto comprende la selección del material de la herramienta y de la geometría de sus filos.

MATERIAL DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

De todos los materiales existentes para la fabricación de herramientas de corte en el mundo, el uso local se limita casi exclusivamente a cuchillas y pastillas de dos materiales básicos:

- Acero Rápido (HSS)
- Carburo de Tungsteno (WC)

Las pastillas de carburo de tungsteno tienen la ventaja de tener geometrías idénticas cuando son nuevas, las cuales se pueden escoger de entre una gran variedad que se muestra en los catálogos.

La primera impresión fue de que éstas eran las indicadas para ser usadas en las pruebas, pues ahorran el trabajo de afilado. Inclusive se preseleccionó un tipo de pastilla del catálogo de Sandvik, pero posteriormente la decisión fue reconsiderada por algunas razones importantes:

- En nuestro medio, aún en la casa distribuidora, no se consiguen todas las variedades de pastillas. Solo existen disponibles 2 o 3 variedades multipropósito, con recubrimientos duros para una mayor duración.
- Este tipo de pastillas, en las condiciones de ensayo, tienen una duración que sobrepasa los 100 minutos. Por limitaciones en la cantidad de material disponible, esta duración tan elevada haría imposible tomar mediciones del desgaste tal y como se lo planeó.
- Las pastillas disponibles poseían una geometría en el filo que incluía un rompevirutas, por lo que no se hubiera podido apreciar la longitud real de las virutas para cada tipo de material.

Por estas razones se prefirió utilizar cuchillas de acero rápido, aunque éstas tienen la desventaja de que al necesitar ser afiladas resulta imposible obtener exactamente la misma geometría en cada una de ellas, aunque se tomaron precauciones para aproximarse lo más posible a lo ideal en este aspecto.

GEOMETRIA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

Antes de indicar los diferentes ángulos que se seleccionaron para las cuchillas de acero rápido, es necesario explicar brevemente la nomenclatura utilizada en las herramientas de corte por medio de un gráfico. En los anexos se encuentra información adicional sobre el significado físico y la influencia de los ángulos de la herramienta en el proceso de maquinado.

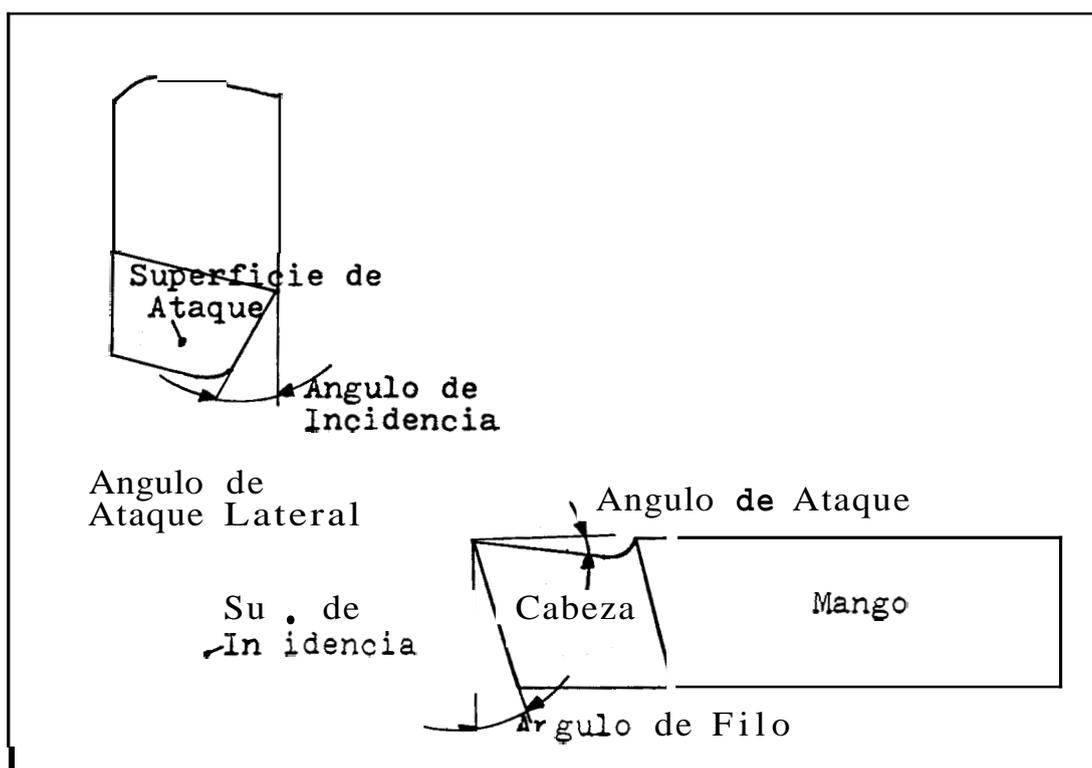


Fig. 10: Cuchilla recta para torno(Ref.7)

SELECCION DE LOS ANGULOS DE LA HERRAMTENTA DE CORTE

Los ángulos **mas** adecuados para cada material y operación solo pueden ser determinados en base **a** pruebas **y** a la experiencia obtenida a lo largo de los **años**. En la literatura especializada se pueden hallar tablas que indican los valores óptimos en cada situación. **Por** supuesto, si bien los valores particulares varian ligeraniente de un autor a otro, las tendencias son constantes.

Para escoger los ángulos de las herramientas que serian usadas para los ensayos de maquinabilidad en las probetas de bronce se utilizó una tabla de la bibliografía que recomendaba los valores adecuados para el maquinado de aleaciones de Cobre.

Se decidio utilizar los valores coil-espondientes a las aleaciones del grupo 2, o las moderadamente maquinables, por considerarse que eran valores inteimedio aplicables a **la** gama de composiciones de las probetas a ensayarse.

Tabla IV: Angulos Recomendados para el Maquinado de Aleaciones de Cobre con s de Acero Rápido

Aleaciones Maquinadas			
Angulo	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
De Ataque	0	5-10	10-20
De Ataque Lateral	0-3	5-10	20-30
De Incidencia	6	6-15	10-15
De filo principal	8-15	8-15	8-15
De Filo Secundario	10-15	10-15	15

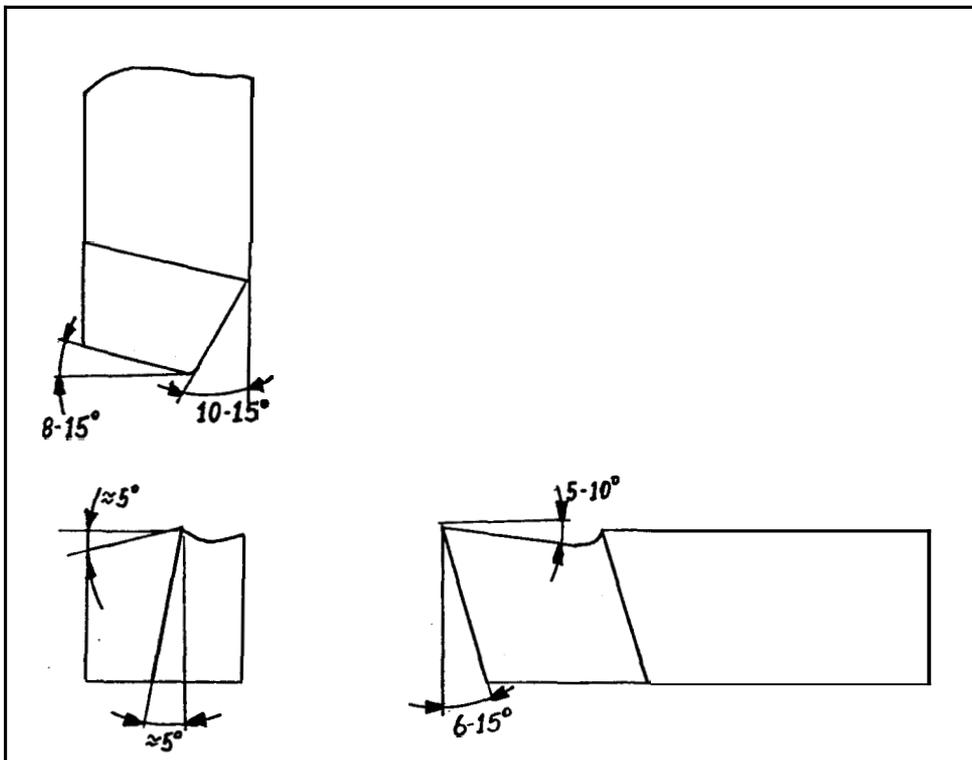


Fig. 12: Geometría seleccionada para las herramientas de corte

2.4.- SELECCION DE LOS PARAMETROS DE

CORTE

Para cualquier operación de maquinado es sumamente importante la correcta elección de los diferentes parametros de corte, como son:

- Velocidad de Corte
- Avance
- Profundidad de Corte

Para la realización de las pruebas de tiempo de vida de la herramienta de corte lo recomendado es utilizar los parametros de corte mas criticos que se puedan alcanzar en la máquina-herramienta en la cual se van a llevar a cabo los ensayos. De esta forma se induce un desgaste rapido de la cuchilla, lo cual permite obtener resultados luego de tiempos de maquinado relativamente cortos. La utilización de condiciones más severas que las normalmente empleadas en el maquinado de los respectivos materiales no afecta en nada a los resultados de los indices de maquinabilidad, pues las condiciones son las mismas a lo largo de todas las pruebas **y lo** que se desea conocer **es** el comportamiento relativo de las diferentes probetas entre sí.

VELOCIDAD DE CORTE

Este parámetro indica la velocidad relativa en metros/minuto entre la cuchilla y la pieza de trabajo. Como es conocido, en el toineado es la pieza la que rota impulsada por el motor de la maquina y la cuchilla permanece estatica. Para imaginarnos mejor el significado de la velocidad de corte es util irnaginarse una inversión cinematica del proceso, es decir, suponer que la cuchilla es la que se mueve. El recorrido que tendría la cuchilla en cada revolución equivale a la circunferencia de la pieza de trabajo. Esto, rnultiplicado por el numero de revoluciones por minuto que da el husillo del torno, equivale a la velocidad de corte. Expresandolo por medio de una formula tendríamos:

$$V = 2 * \text{PI} * r * n$$

Donde: V : Velocidad de corte en m/min

r : Radio de la pieza de trabajo en m

n : Número de revoluciones del husillo de la máquina



BIBLIOTECA

Utilizando unidades **mils** comunes, la formula anterior se puede reescribir de la siguiente manera:

$$V = (\pi * d * n) / 1000$$

Donde: V : Velocidad de corte en m/min

d : Diámetro de la pieza torneada en mm

n : Velocidad de giro del husillo en rpm

En el caso de la maquina disponible para los experimentos, la máxima velocidad que se podía obtener sin cambiar el juego de engranajes es de 1000rpm. Si consideramos como promedio un diametro de 30mm para las barras de los diferentes bronce tendríamos, según la formula:

$$V = (3,1416 * 30 * 1000) / 1000 = \underline{94,25 \text{ m/min}}$$

Esta velocidad no es constante, ya que el diametro de las barras no es siempre exactamente el mismo, existen pequeñas desviaciones. Además, por ser esta la máxima velocidad de la maquina no es posible aumentarla para corregir la disminucion de la velocidad de corte debida a que con las subsecuentes pasadas de la cuchilla la probeta pierde material y su diametro se reduce. Sin embargo, como esto afecta por igual a todas las probetas se considera que no influye en los resultados finales.

La velocidad aproximada de 90 m/min para los ensayos se considera adecuada, **ya** que esta dentro de las recomendaciones para el maquinado de aleaciones de Cobre, que para este tipo de ensayos están entre 69 y 100 m/min, para el caso de bronce al Aluminio.

AVANCE

Consultando tablas para el maquinado de aleaciones de Cobre se puede saber que las aleaciones del **grupo 2**, es decir, **las moderadamente maquinables** (las cuales estamos tomando como base para nuestros calculos y selecciones) tienen las siguientes recomendaciones para la velocidad de avance:

Para desbastado: 0,5 a 0,75 mm/rev

Para acabado: 0,18 mm/rev

Las pruebas de maquinabilidad, obviamente, se realizan bajo condiciones de desbastado, por lo que se revisó en la maquina-herramienta si era posible alcanzar una velocidad de avance dentro del rango arriba señalado.

El avance máximo posible es de 0,598 mm/rev, el cual por estar dentro de las cifras recomendadas se lo acepto para las pruebas.

PROFUNDIDAD DE CORTE

Si bien todos los parametros de corte antes mencionados dependen en **gran medida** del material de la herramienta (las velocidades y avances que se pueden lograr con herramientas de Carburo de Tungsteno o Diamante son mayores a las alcanzables con HSS) este ultimo es en el que resulta mas lógica la dependencia, aún para alguien que no conociera nada de esta materia. Una herramienta de corte, mientras mas dura y resistente sea permitirá, lógicamente, **una** mayor penetración en la pieza de trabajo y por lo tanto una mayor profundidad de corte.

Para el desbaste de aleaciones de Cobre con cuchillas de acero rapido se recomiendan profundidades de corte entre 1,25 y 3,2 mm. Durante las pruebas preliminares se utilizaron varias profundidades de corte: **1,5, 2, 2,5 mm.** Finalmente se decidio utilizar la mayor de éstas, 2,5mm, cuando se comprobo que aún en el material mas duro, el bronce al **13,5%** de Al, se la podia emplear sin que existiera peligro de rotura de la herramienta.

TABLA V: PARAMETROS DE CORTE SELECCIONADOS

PARAMETRO	VALOR SELECCIONADO
VELOCIDAD DE CORTE	aprox. 90 m/min
AVANCE	0.598 mm/rev
PROFUNDIDAD DE CORTE	2.5 mm

2.5.- ENSAYO DEL TIEMPO DE VIDA DE LA HERRAMIENTA PARA CADA MATERIAL

Antes de comenzar con los ensayos definitivos de los materiales fue necesario realizar algunas preparaciones:

Afilado de las cuchillas: En total se afilaron 6 cuchillas, utilizando el esmeril del taller. Se tuvo mucho cuidado en tratar de que las mismas quedaran lo más parecidas entre sí y que al mismo tiempo tengan todos sus ángulos de acuerdo a lo recomendado. Esto solamente se lo pudo inspeccionar de forma Visual y utilizando un goniómetro, por lo que no se lo pudo hacer con una elevada exactitud.

Se utilizó una cuchilla para cada uno de los materiales, incluyendo el patrón y la sexta nunca fue utilizada, se la afiló exclusivamente con el propósito de comparar su silueta con la de las herramientas gastadas en el macroscopio.

Selección del Límite condinatorio de desgaste: Para el ensayo de tiempo de vida de la herramienta de corte se debe establecer un límite condinatorio, que de alcanzarse se considera que la herramienta ha fallado. En este caso se tomó

como parhetro a medirse el desgaste en el flanco de la herramienta, bajo el filo de corte principal. El límite condinatorio se fijó en 0,3 mm, algo menor que los 0,38 mm sugeridos debido a las limitaciones de material de ensayo.

Preparación de los Instrumentos de Medición: Para la medición del desgaste se utilizó un macroscopio, al cual se le acopla una escala. Para determinar el valor de cada division se observó una de las cuchillas hasta seleccionar el aumento y enfoque coorrectos para obtener una imagen clara y suficientemente grande para que permita apreciar los detalles.

A continuación se tomó un calibrador vernier al que se lo fijó en una medida de 0,3 mm y se lo observó al macroscopio para determinar a cuántas divisiones de la escala correspondia la distancia entre las 2 patas del mismo. Se determinó que aproximadamente correspondía a 3 divisiones, por lo que se consideró que cada una de ellas equivalía a 0,1mm con ese aumento seleccionado, el cual no fue variado a lo largo de las pruebas.

Preparación de las Probetas: Para aprovechar mejor la longitud de las probetas lo más indicado es montarlas agarradas en un extremo al mandril del torno y en el otro al contrapunto. Para ello fue necesario refrentar un extremo

de las barras y realizar un centro, utilizando una broca especial para este propósito.

DESARROLLO DE LOS EXPERIMENTOS

La secuencia que a continuación se describe fue la que se siguió para el ensayo de cada una de las barras de los **5** materiales diferentes que fueron maquinados.

1. Montaje de la herramienta en el portacuchillas y regulación de la altura.
Para que el maquinado sea correcto la cuchilla debe coincidir con el eje de la pieza. Para lograr esto se debe tomar como referencia la punta del contrapunto para regular la altura en el portaherramientas.
2. Montaje de la probeta, sujetándola en un extremo al mandril de la máquina y en la otra al contrapunto. Asegurar el contrapunto para que no se deslice.
3. Selección de las velocidades correctas utilizando las palancas del panel de control del torno. Para la velocidad de 1000 rpm las posiciones de las palancas corresponden a 4v. Para el avance, se debe seleccionar la combinación **C7** de las palancas.

4. Acercar la herramienta a la pieza de trabajo para fijar el **ángulo** en que se colocara la misma. Este ángulo no fue variado durante todos los ensayos.
5. Encender la maquina y hacer ligero contacto entre la cuchilla **y** la pieza para colocar el “cero” de referencia para la profundidad de corte.
6. Llevar la cuchilla **al** extremo derecho de la pieza, a un par de centímetros de distancia del comienzo de la bail-a. Colocar una profundidad de corte de **2,5mm**.
7. Preparar un cronometro. Mover la palanca que conecta el avance automático. En el instante en que la cuchilla hace contacto con el material, encender el cronómetro.
8. Cuando la cuchilla haya avanzado casi la totalidad de la longitud libre de la barra y antes de que se acerque peligrosamente al mandril, detener si **es** posible simultáneamente el avance y el cronómetro. Apuntar el tiempo de maquinado. Apagar la maquina.
9. Desmontar la herramienta y observarla al macroscopio para medir su desgaste. Tabular ese valor junto **al** del tiempo y compararlo con el límite.

10. Volver a montar la herramienta **y** repetir desde el paso número **5** en adelante hasta que el desgaste llegue al límite establecido o lo sobrepase.

11. Repetir todo el procedimiento para cada probeta de cada material.

OBSERVACIONES

Además de las mediciones de desgaste de las herramientas de corte, resulta interesante realizar algunas observaciones durante el proceso de ensayos.

Tipos de Viruta: Es muy importante observar cómo es la viruta que se arranca de la pieza de trabajo durante el maquinado. La forma y la longitud de esta es característica de cada material y **es** un parámetro importante en la maquinabilidad del mismo. Los materiales de fácil mecanización producen **viruta** corta, los de difícil maquinado, viruta larga. El color de la viruta también es importante pues es un estimativo de la temperatura que se alcanza en el proceso. Si la viruta es del mismo color que el material de donde proviene la temperatura es baja, si se observan cambios es porque existe elevada temperatura, que es otro factor que acelera el desgaste de la

herramienta de corte. Si **es** posible es recomendable tomar muestras de la viruta de cada material.

Herramienta de Corte: A simple vista **y** antes de observarla al macroscopio **se** pueden detectar huellas de desgaste en la herramienta.

Si ha habido excesivo calor, es muy probable que el filo de la cuchilla presente un cambio en su color o que presente un aspecto quemado. Se puede detectar el material base pegado, lo que se llama embotamiento de la cuchilla.

Acabado Superficial: Cuando una herramienta de corte se va desgastando, se produce una consecuencia inevitable que es la disminución de la calidad de la superficie maquinada. Sin realizar mediciones, a la vista y al tacto es posible estimar el grado de rugosidad de la superficie o por lo menos detectar un cambio radical producto del desgaste.

ENSAYO DE MAQUINABILIDAD

MATERIAL: Bronce **Dilce** (Patron)

MAQUINA: Torno TURRI T-220

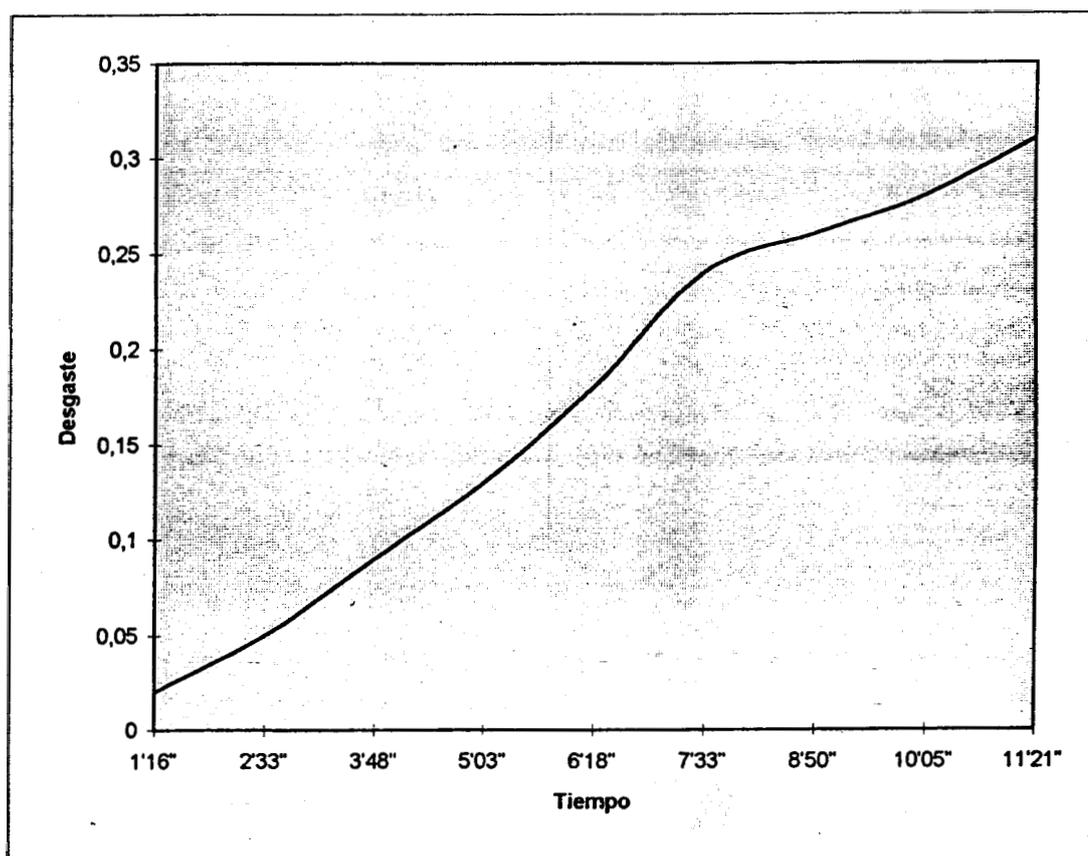
HERRAMIENTA **HSS** PARAMETRO MEDIDO: Desgaste de Flanco

VELOCIDAD: aprox. 90m/m AVANCE: 0,598 m

PROF. 2,5mm

TABLA DE DATOS	
TIEMPO (min, s)	DESGASTE (mm)
1'16"	0,02
2'33"	0,05
3'48"	0,09
5'03"	0,13
6'18"	0,18
7'33"	0,24
8'50"	0,26
10'05"	0,28
11'21"	0,31

GRAFICO DESGASTE DE FLANCO VS. TTEMPO



ENSAYO DE MAQUINABILIDAD

MATERIAL: Bronce 8% Al

MAQUINA: Torno TURRI T-220

HERRAMIENTA: HSS

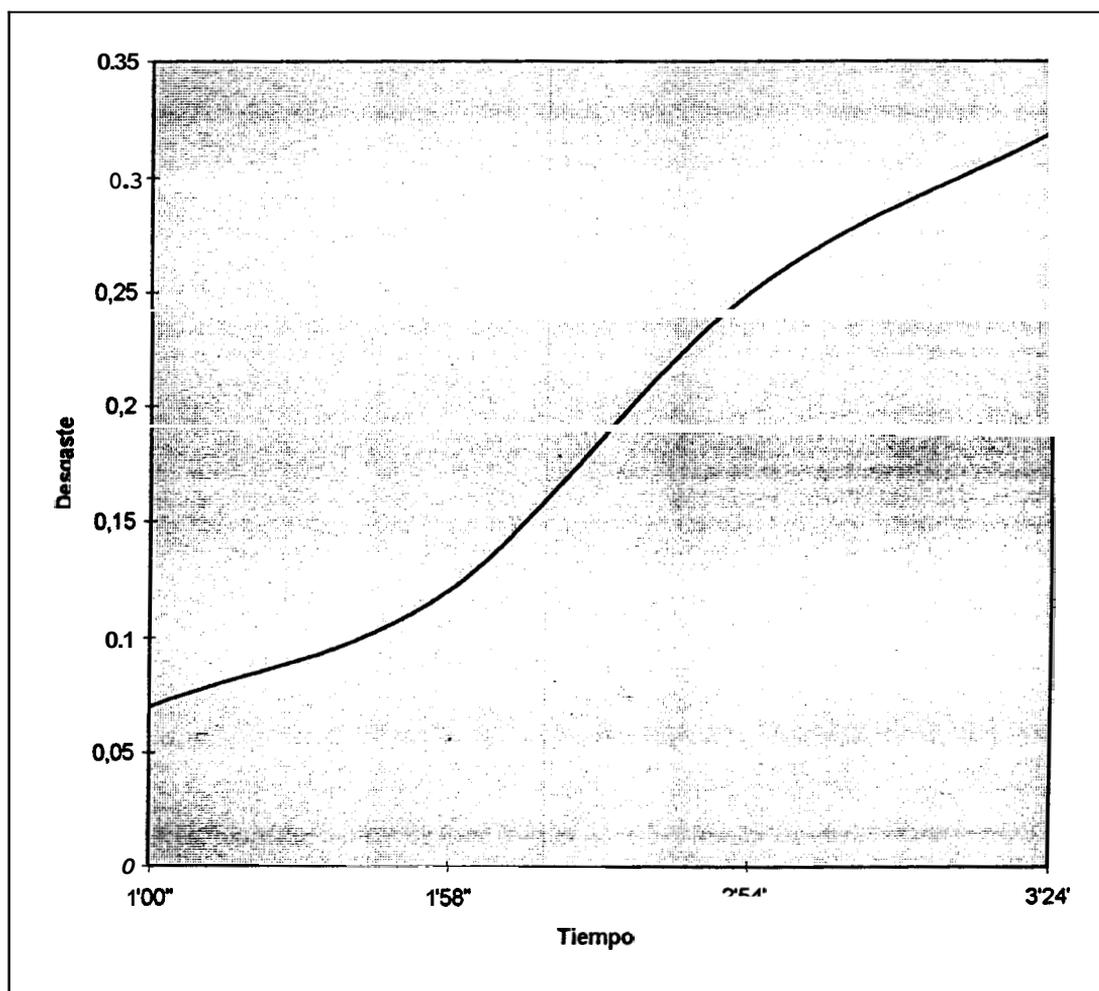
PARAMETRO MEDIDO: Desgaste de Flanco

VELOCIDAD: aprox. 90m/m AVANCE: 0,598 m

PROF. 2,5mm

TABLA DE DATOS	
TIEMPO (min, s)	DESGASTE (mm)
1'00"	0,07
1'58"	0,12
2'54"	0,25
3'24'	0,32

GRAFICO DESGASTE DE FLANCO VS. TIEMPO



ENSAYO DE MAQUINABILIDAD

MATERIAL: Bronce 10%Al

MAQUINA: Torno TURRI T-220

HERRAMIENTA: HSS

PARAMETRO MEDIDO: Desgaste de Flanco

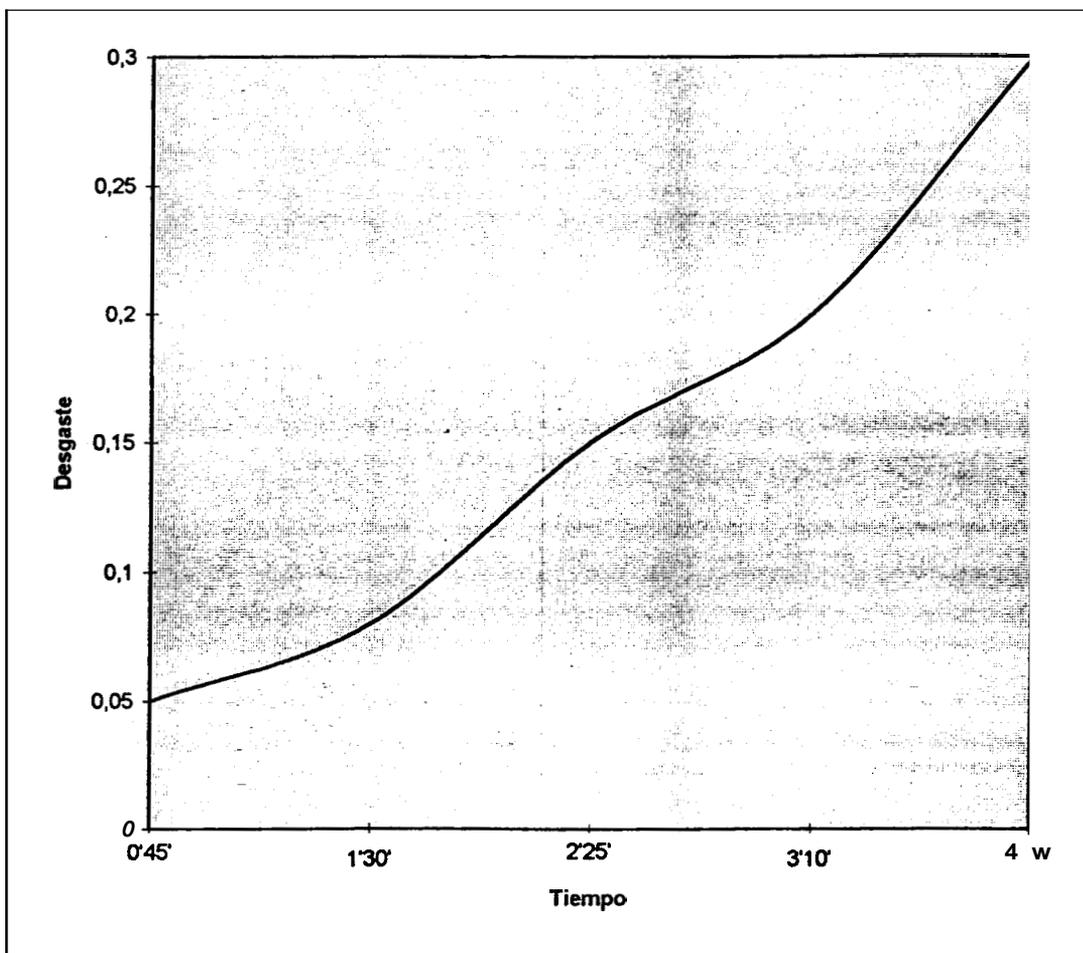
VELOCIDAD: aprox. 90m/min

AVANCE: 0,598 m

PROF. 2,5mm

TABLA DE DATOS	
TIEMPO (min, s)	DESGASTE (mm)
0'45'	0,05
1'30'	0,08
2'25'	0,15
3'10'	0,2
4'00"	0,3

GRAFICO DESGASTE DE FLANCO VS. TIEMPO



ENSAYO DE MAQUINABILIDAD.

MATERIAL: Bronce 12% Al

MAQUINA: Torno TURRI T-220

HERRAMIENTA HSS

PARAMETRO MEDIDO: Desgaste de Flanco

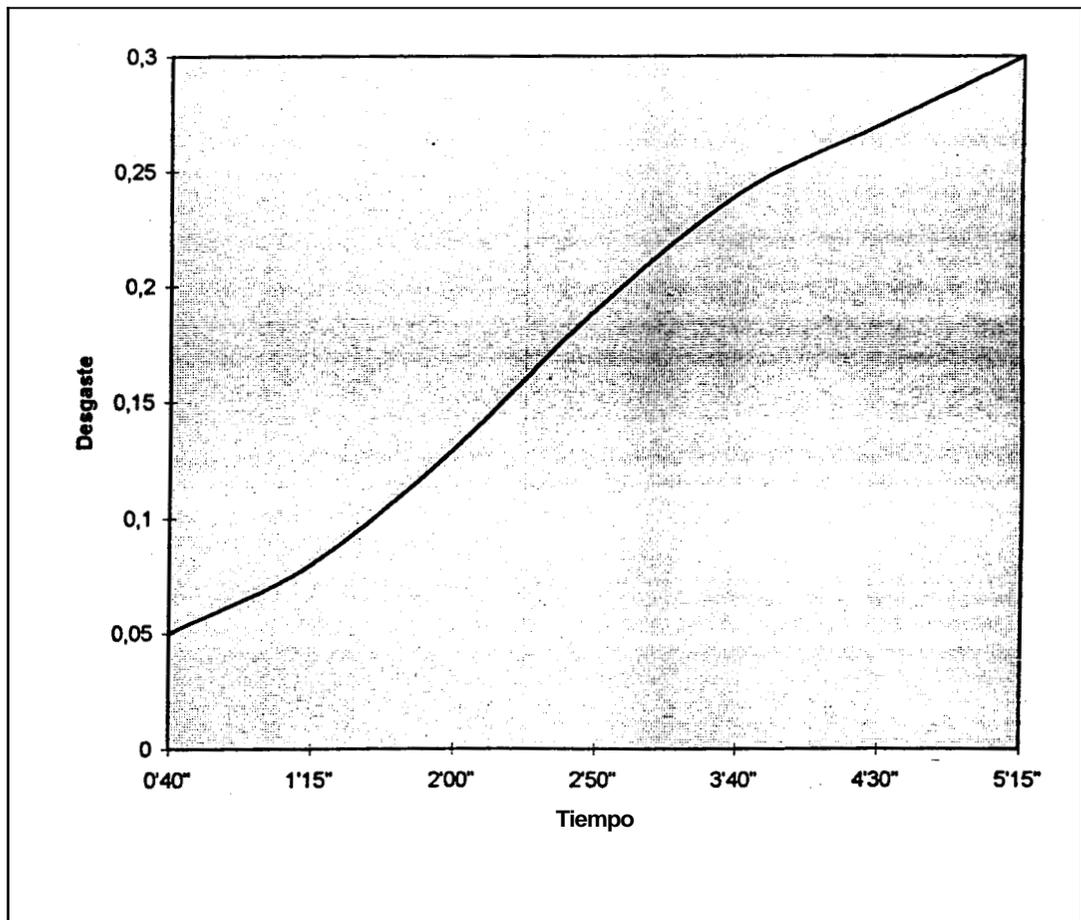
VELOCIDAD: aprox. 90m/min

AVANCE: 0,598 m

PROF. 2,5mm

TABLA DE DATOS	
TIEMPO (min, s)	DESGASTE (mm)
0'40"	0,05
1'15"	0,08
2'00"	0,13
2'50"	0,19
3'40"	0,24
4'30"	0,27
5'15"	0,3

GRAFICO DESGASTE DE FLANCO VS. TIEMPO



ENSAYO DE MAQUINABILIDAD

MATERIAL: Bronce 13,5% Al

MAQUINA: Torno TURRI T-220

HERRAMIENTA: HSS

PARAMETRO MEDIDO: Desgaste de Flanco

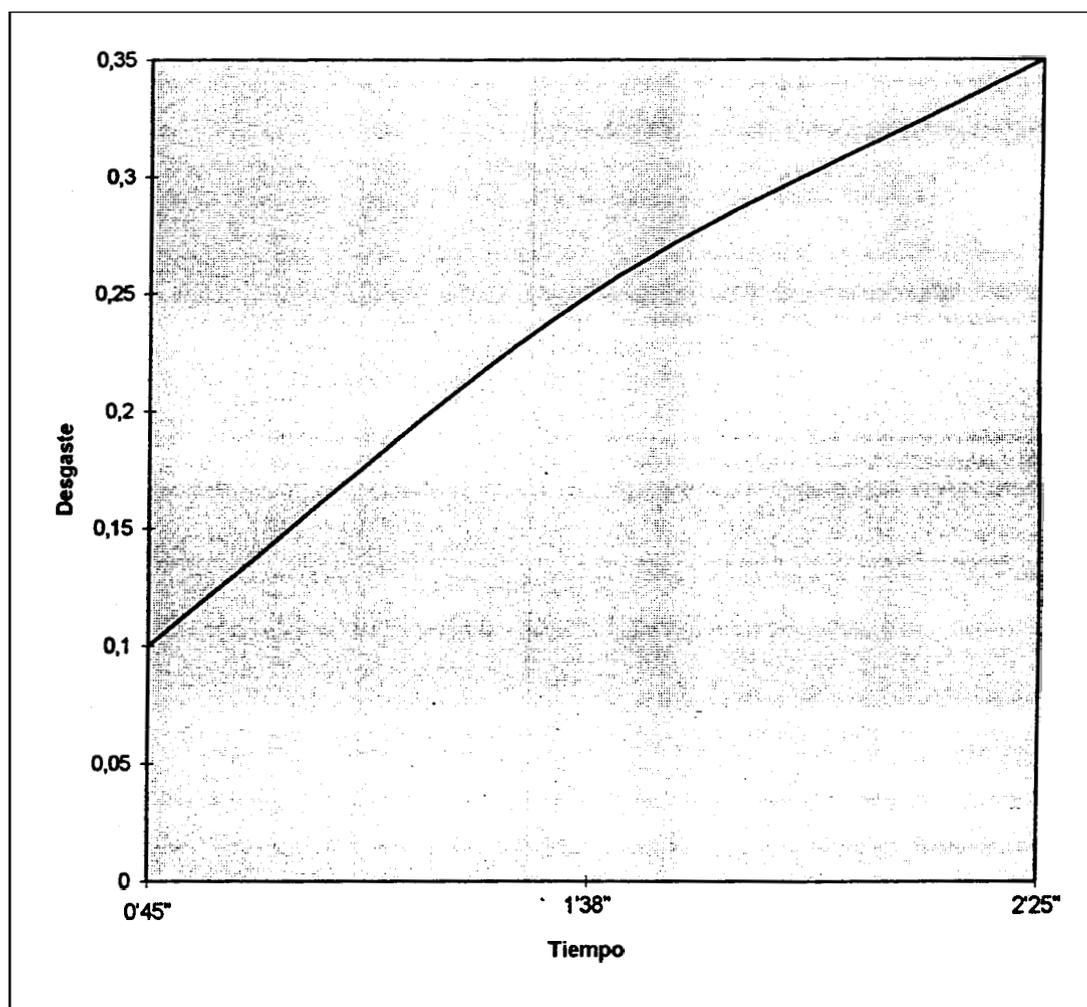
VELOCIDAD: aprox. 90m/m

AVANCE: 0,598 m

PROF. 2,5mm

TABLA DE DATOS	
TIEMPO (min, s)	DESGASTE (mm)
0'45"	0,1
1'38"	0,25
2'25"	0,35

GRAFICO DESGASTE DE FLANCO VS. TIEMPO



RESULTADOS FINALES

En base a la información de las curvas de maquinabilidad se puede elaborar la siguiente *tabla de resultados finales* para los experimentos realizados.

Tabla VI: Tabla de Resultados Finales

Material	Tiempo de Vida (min)	Maquinabilidad Experimental	Maquinabilidad Teórica
Bronce Dulce	10,7	-----	100%
Bronce 8% Al	3,0	28,03%	20%
Bronce 10% Al	4,0	37,38%	regular
Bronce 12% Al	5,25	49,06%	50%
Bronce 13,5% Al	2,1	19,63%	20%

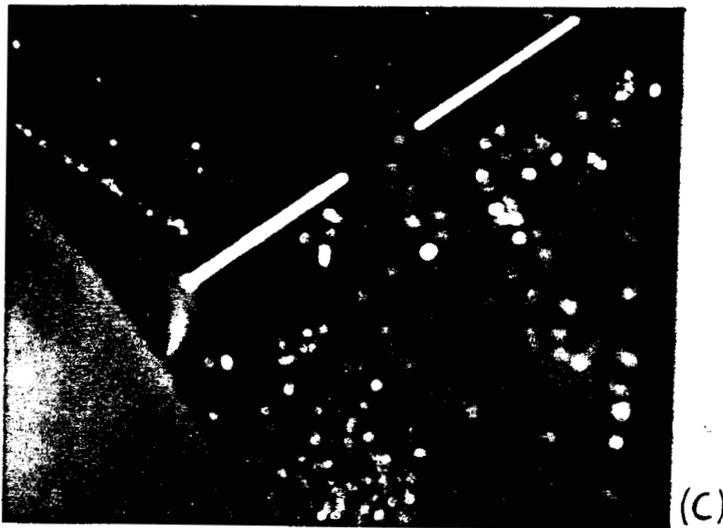
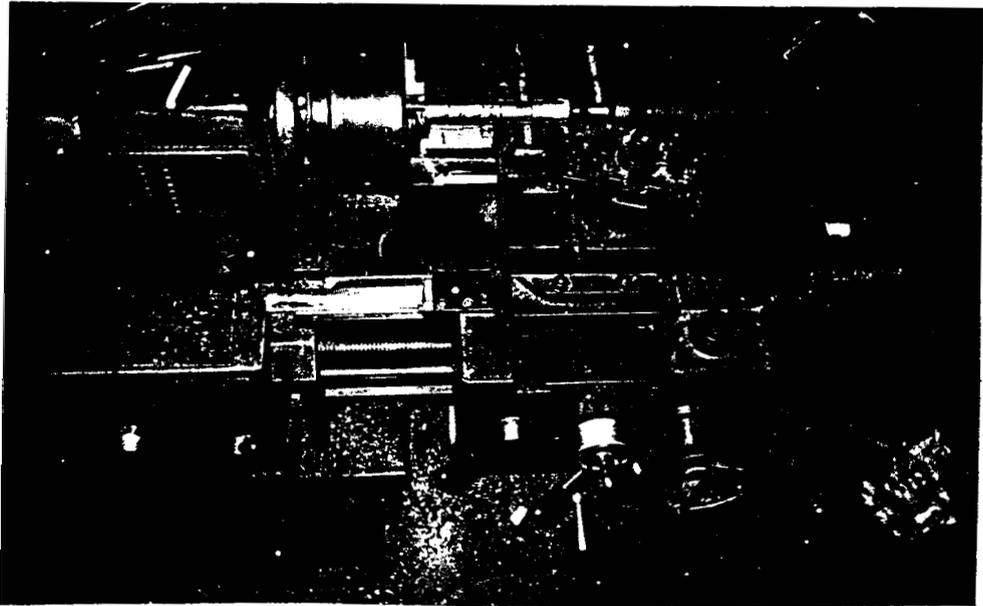
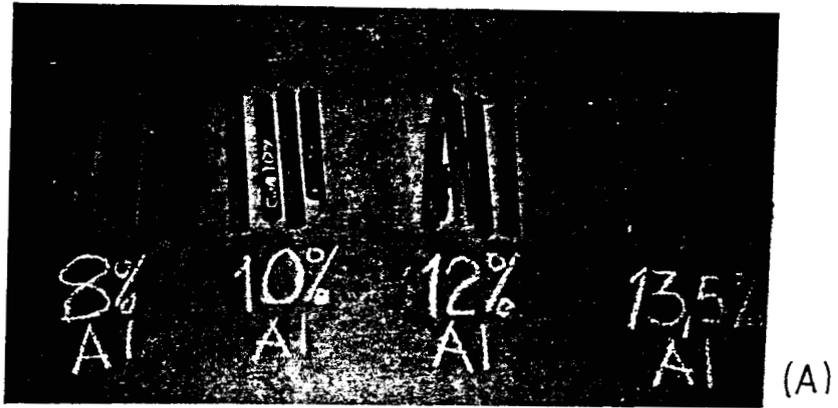
Para el cálculo de la maquinabilidad se tomó como 100% el tiempo de vida de la herramienta para el bronce dulce. De este modo:

$$10,7 \text{ min} \dots\dots\dots 100\%$$

Por lo tanto:

$$\% \text{ Maq.} = (T / 10,7) * 100$$

Donde: T= Tiempo de vida en min de la herramienta en el material ensayado



A) Probetas Fundidas B) Probeta montada en el torno C) Maquinado de la probeta

Fig 13: Desarrollo de las Pruebas

2.6.- CONTROL DE SUPERFICIES MAQUINADAS

POR COMPARACION CON PATRON

El acabado superficial es un parámetro importante en el maquinado de metales. Inclusive, una forma de analizar la maquinabilidad de un material es comparar el acabado superficial que se obtiene con un **tipo** determinado de herramienta de corte y con unos parámetros fijados anteriormente, con el que se obtiene en las mismas condiciones en el material patrón.

Aunque este no es el propósito de los ensayos realizados, ya que se empleó el desgaste de la herramienta como criterio para medir la maquinabilidad de los diferentes materiales, es interesante conocer cuál fue el acabado final que se obtuvo en las superficies luego de cumplido el tiempo de vida de las cuchillas respectivas.

Para esto se utilizó un procedimiento muy sencillo que consiste en utilizar un patrón o comparador de acabado superficial. Estos comparadores son **unas** galgas que poseen diferentes superficies, cada una con una rugosidad diferente, la cual se halla marcada junto a ellas. Para determinar la rugosidad de la pieza maquinada basta comparar con el tacto la superficie de esta con la de las galgas



y determinar a cual se aproxima mas. Entonces se puede asumir que el valor de la rugosidad de esa pieza es el mismo al de la respectiva muestra o patrón.

Tabla VII: Rugosidad de las Probetas Maquinadas

Material	Rugosidad en mils*		
	Probeta # 1	Probeta # 2	Probeta # 3
Bronce dulce (Patrón)	2	3	
Bronce 8% Al	2	3	2
Bronce 10% Al	3	3	1,5
Bronce 12% Al	1,5	5,5	3
Bronce 13,5% Al	2	2	2

* 1 Mil equivale a 25,4 micras

Como podemos observar la rugosidad de las probetas luego de cumplido el tiempo de vida de la herramienta de coite es similar y esta alrededor de 2 o 3 mils. Esto nos corrobora que el acabado superficial es un parámetro mediante el cual se puede determinar la maquinabilidad de un material.

En un solo caso, en una de las probetas de 12% Al la rugosidad **fue** de **5,5** mils, debido **a** que en este caso se produjo la fractura de la punta de la herramienta, **por** lo que debemos ignorar este dato.

Aunque ese no es el objetivo de este trabajo experimental, **si** establecieramos un límite de rugosidad y tomáramos el tiempo de maquinado requerido para que el acabado superficial de la pieza de trabajo alcance o sobrepase ese determinado valor, podríamos establecer la maquinabilidad de los diferentes materiales en base a ese dato.

CAPITULO III: DISCUSION DE RESULTADOS

3.1.- ANALISIS DEL DESGASTE DE FLANCO DE LA HERRAMIENTA

Una parte esencial del trabajo experimental realizado la constituye el análisis del desgaste de flanco de las herramientas de corte utilizadas para las pruebas.

Como se ha explicado, las herramientas fueron utilizadas hasta que se alcanzó o sobrepasó un límite preestablecido de desgaste de flanco de 0,3mm. Luego de cada paso del maquinado el desgaste se verificó por medio de un macroscopio y el estado final de cada herramienta fue posteriormente analizado y se tomó una fotografía de cada una.

CUCHILLA NUEVA

Como punto de partida para cualquier análisis o comparación es necesario tener como referencia la cuchilla nueva, es decir, con su filo intacto.

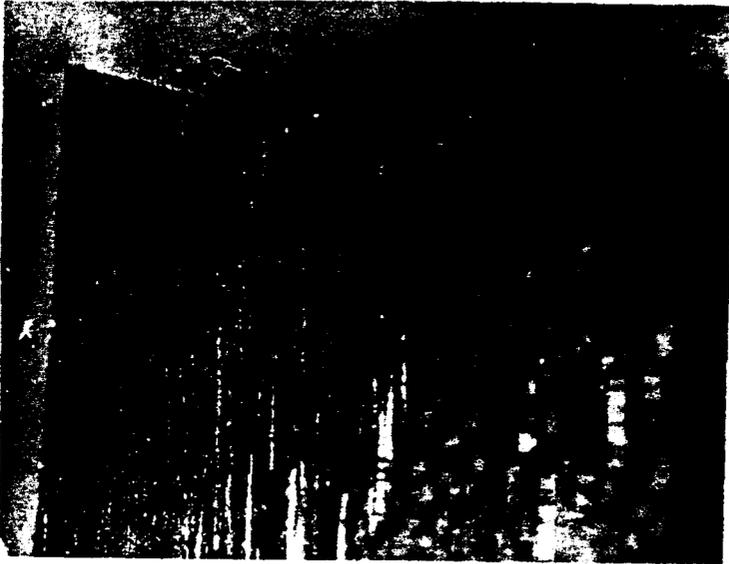


Fig. 14: Cuchilla nueva (16X)

La fotografía muestra con un aumento de **16X** el filo y el flanco de la cuchilla antes de ser usada. En base a ésta se realizara el análisis de las demas herramientas.

MATERIAL PATRON

Luego de torneare el material patron (bronce dulce) la cuchilla queda **tal** como se observa en la respectiva fotografia.

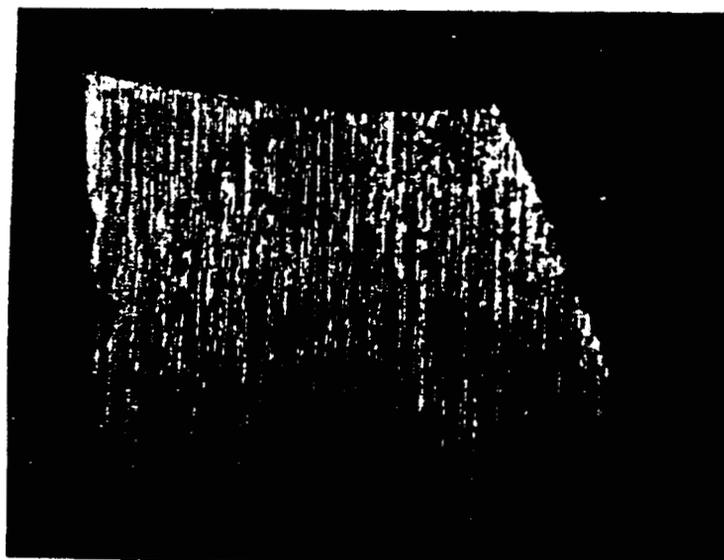


Fig. 15: Cuchilla usada en material patrón (16X)

Se observa claramente en la parte superior, desde la punta hacia atrás y hacia abajo la huella del desgaste. Es la huella típica de la abrasión. Sin embargo, no se observa ningún cambio de coloración respecto al estado original, lo que indica que este material, por poseer una maquinabilidad perfecta, no provoca una elevación de temperatura lo suficientemente grande como para afectar a la herramienta.

Durante el maquinado de este material se obtuvo una viruta sumamente corta, con el aspecto de pequeñas astillas o agujas **muy** finas. Este tipo de viruta tan corta **no** se adhiere en absoluto a la cuchilla tal como se observa en la imagen.

BRONCE 8% Al

Este material al ser mecanizado genera una viruta relativamente larga y sumamente caliente, lo que es indicio de una maquinabilidad relativamente baja.

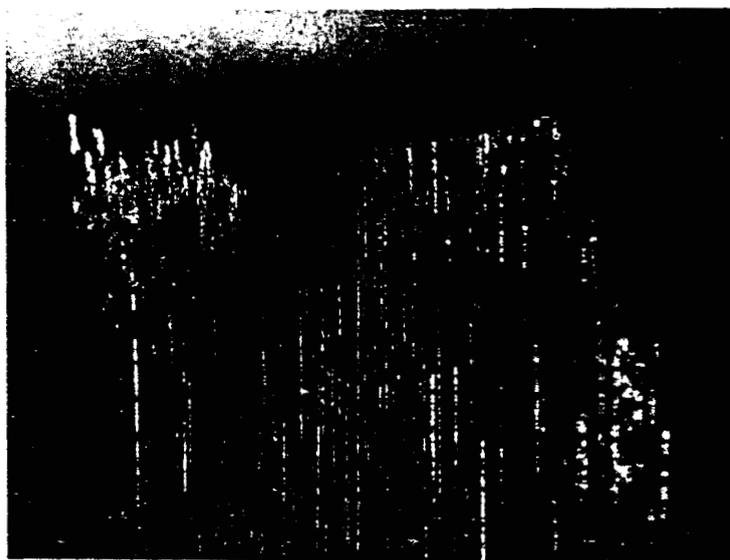


Fig. 16: Cuchilla usada en bronce con 8% Al (16X)

Si observamos la fotografía de la cuchilla desgastada podremos darnos cuenta de que ésta presenta rayaduras mucho más profundas que las que se observaron en el material patron. La huella del desgaste es mucho mas clara. Se aprecia desprendimiento de pequeñas paxticulas del material de la herramienta, sin que esto llégue a constituirse en un a fractura del mismo.

Adicionalmente, existe una clara sombra alrededor de la zona desgastada. Este oscurecimiento es debido a la alta temperatura que se alcanza durante el maquinado cerca de la punta de la cuchilla, la cual se pudo percibir con anterioridad a través de la viruta.

BRONCE 10% Al

Este material presenta una viruta mas corta que la del anterior, aunque mas larga que el patrón.

En la imagen de la cuchilla desgastada se aprecian cicatrices menos profundas que en el material analizado anteriormente, sin embargo en esta herramienta en particular se observa una falla catastrófica: la fractura de la punta. Se escogio fotografiar esta cuchilla precisamente debido a la presencia de esa falla. La fractura se produjo al iniciarse el corte en la última pasada que se dio en una de las probetas. Este tipo de accidentes no es raro cuando se trabaja en condiciones extremas de avance y profundidad de corte. Si bien la fractura en sí constituye un motivo de descarte de la herramienta, cuando ésta se produjo la misma ya habia alcanzado el limite de 0,3 mm de desgaste de flanco, como se aprecia en la foto.



Fig. 17: Cuchilla usada en bronce con 10% Al (16X)

BRONCE 12% Al

La viruta de este material es medianamente larga y muy pegajosa. Tiende a adherirse a la herramienta de corte, sobre todo cerca de la punta.



Fig. 18: Cuchilla usada en bronce con 12% Al (16X)

La fotografía permite apreciar material de la pieza de trabajo adherido bajo la punta de la cuchilla y polvo en la cara lateral de la misma. Las huellas de desgaste son claras y existe evidencia de un recalentamiento de la herramienta, sobre todo muy cerca de la punta.

BRONCE 13,5% Al

Este es el material mas duro de los que se ensayaron. Sin embargo su maquinabilidad es comparable a la del Bronce de 8% de Al, aunque menor. El elevado contenido de Aluminio de este bronce provoca que la viruta se pegue y cause un embotamiento de la cuchilla. Si el material no fuese tan duro, la falla de la herramienta se produciria por esta causa antes que por desgaste.

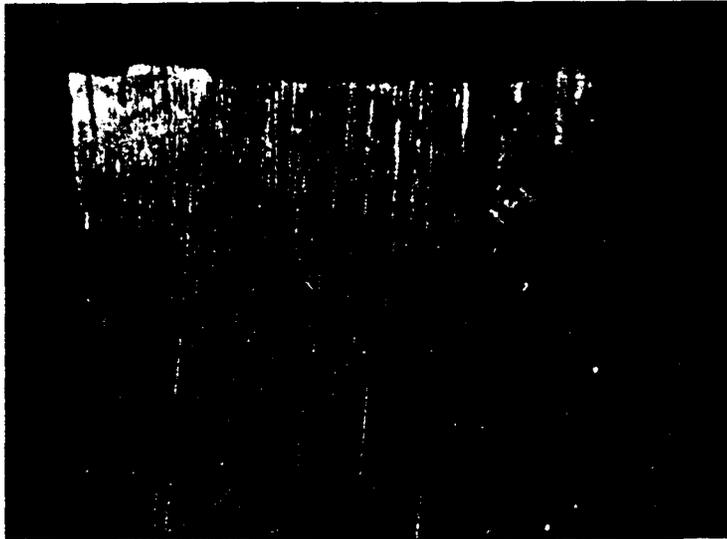


Fig. 19: Cuchilla usada en bronce con 13.5% Al (16X)

En la fotografía se observa el material de la cuchilla sumamente rayado, con cicatrices muy profundas y anchas. No se observa una huella de calor tan pronunciada como en las demás herramientas, tal vez debido a que el tiempo de maquinado fue mucho menor y no dio la oportunidad de que se quemara el material.

Justo sobre el filo principal, en la parte superior, se aprecia claramente el material de la pieza de trabajo que está adherido. A este fenómeno se lo conoce comúnmente como embotamiento (built-up edge en inglés).

Claramente se puede concluir que sin necesidad de realizar **ningún** calculo del tiempo de vida de las herramientas de corte, con la observación de las mismas bajo el macroscopio es mucho lo que se puede inferir acerca de la naturaleza de cada uno de los materiales y su relativa facilidad o dificultad de mecanizacion.

3.2.-TIEMPO DE VIDA DE LA HERRAMIENTA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

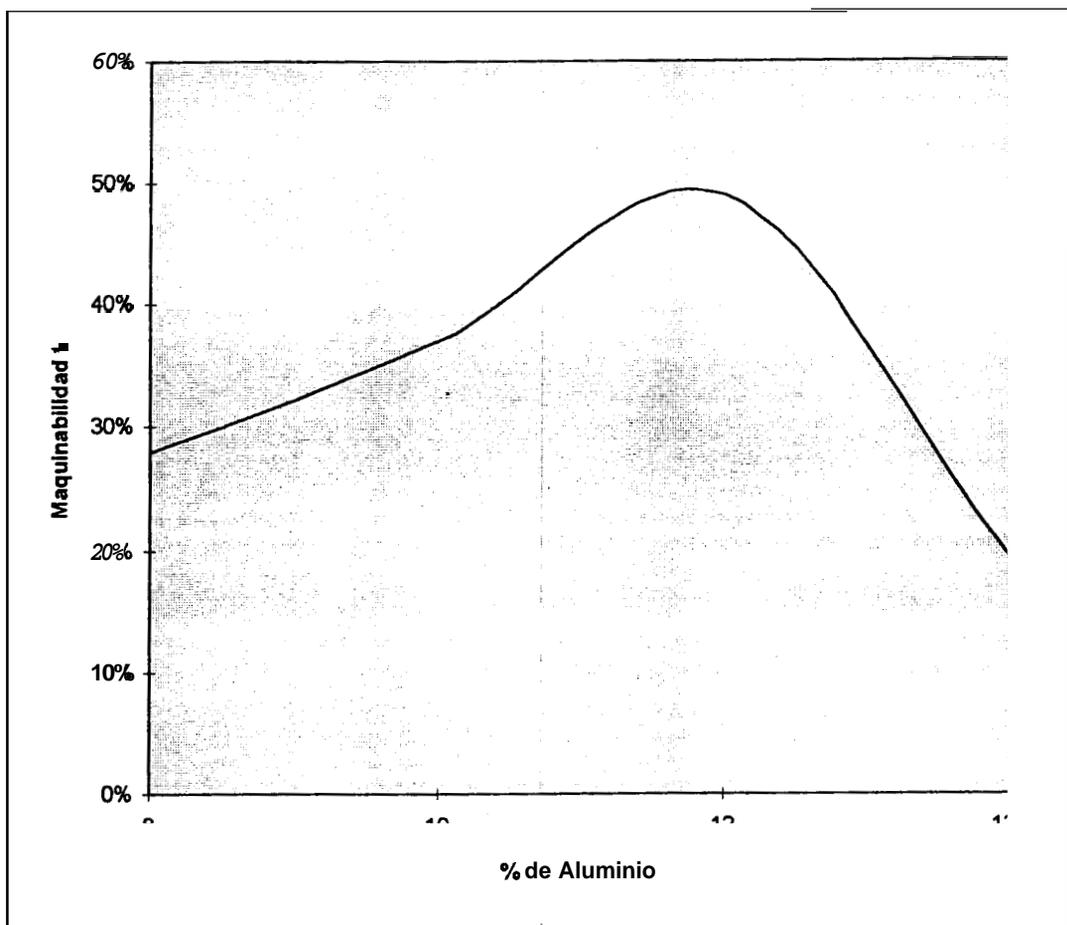
El tiempo de vida de la herramienta de corte es el parametro que determina la maquinabilidad de un material. Los bronce al Aluminio tradicionalmente han sido considerados materiales de difícil mecanización, sin embargo esto se debe basicamente al desconocimiento de las reales propiedades de los mismos.

De este estudio se deduce que dentro de la familia de materiales formada **por las** aleaciones Cobre-Aluminio existe un amplio rango de indices de maquinabilidad. Si se selecciona coi-rectamente el material requerido para cada aplicacion practica es posible encontrar la composición que nos proporcione una combinación favorable de propiedades: resistencia mecánica, dureza y maquinabilidad.

En las gráficas adjuntas se ilustra la variación de dos propiedades, dureza y maquinabilidad en relación al porcentaje de Aluminio de la aleacion.

VARIACION DE LA MAQUINABILIDAD CON EL % DE Al

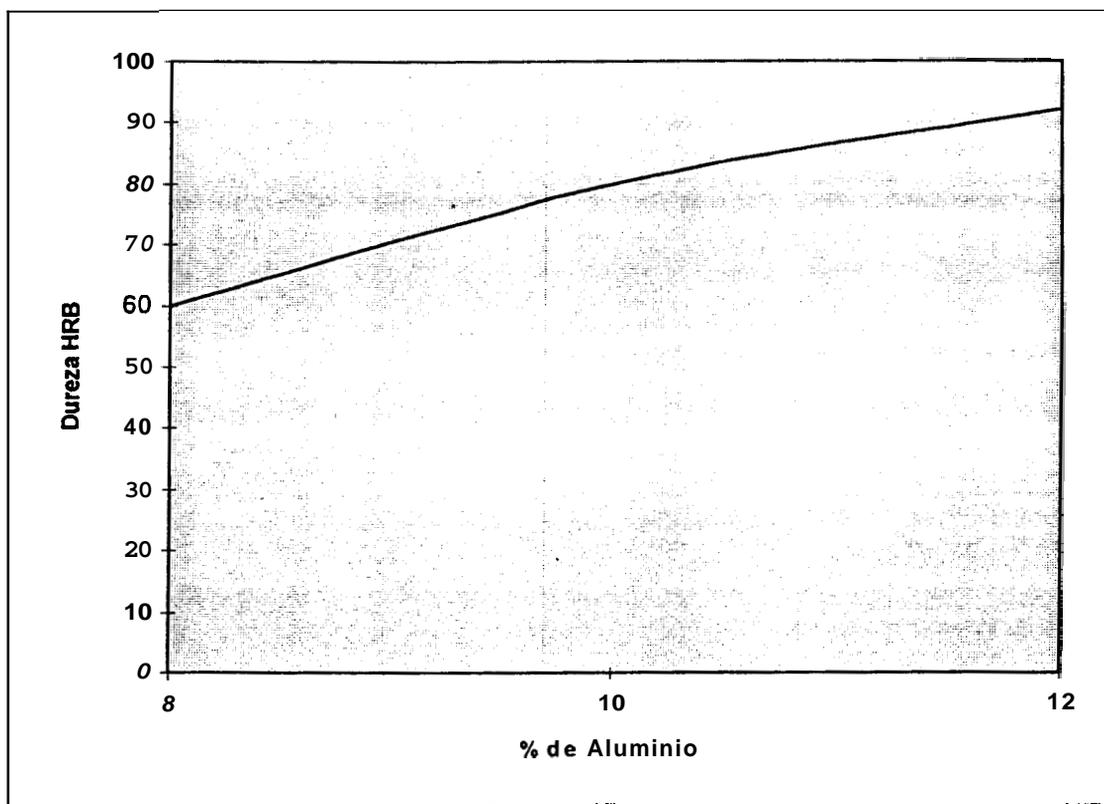
% de Al	Maquinabilidad
8	28%
10	37%
12	49%
13,5	19%



* La maquinabilidad es relativa al Bronce Dulce (Material Patron)

VARIACION DE LA DUREZA CON EL % DEL Al

% Al	Dureza HRB
8	60
10	80
12	92
13,5	30 HRC



El Bronce al 13.5% Al no fue incluido en la gráfica

Se aprecia que mientras el mayor contenido de Aluminio vuelve cada vez mas dura y por lo tanto resistente a la aleacibn, la maquinabilidad, tal y como se pudo comprobar experimentalmente no posee un comportamiento monótono.

La maquinabilidad mas elevada de los bronce al Aluminio se presenta con un contenido de Al comprendido entre el 10 y 12%, con una dureza de alrededor de **85** HRB. Este material es tan facil de mecanizar como un acero de mediano contenido de carbono (alrededor del 50%) y posee propiedades mecanicas superiores a las de los bronce al Estaño, por lo que son mas apropiados para ser usados en aplicaciones de cargas moderadas y donde se requiera resistencia contra la corrosión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CON

1.- La familia de materiales que comprenden los bronce al Aluminio presentan una amplia gama de índices de maquinabilidad, comprendidos entre el 19% y el 50%, según varíe el porcentaje de Aluminio de la aleación.

2.- La variación de índice de maquinabilidad con el porcentaje de Al no es monótona como podría pensarse. Para contenidos bajos de Al (8%) la maquinabilidad es de aproximadamente 28%, este valor aumenta junto con el % de Al hasta llegar a un máximo alrededor del 50% para un 11% de Al. Pasada esa concentración la maquinabilidad cae nuevamente hasta valores muy bajos (19% para el bronce con 13.5% Al) que hacen poco aprovechable al material para el mecanizado.

3.- Desde el punto de vista exclusivo de la maquinabilidad y despreciando las demás propiedades mecánicas se puede establecer un rango óptimo de composición química para esta familia de materiales entre el 10 y 12% de



Aluminio, dentro del cual el índice de maquinabilidad se mantiene considerablemente alto, entre el **37 y 50%**.

4.- Para las composiciones dentro del rango óptimo descrito en (3) el comportamiento del bronce al Aluminio es similar al de otros materiales de uso comun como son bronce de otros tipos que no contengan **plomo y aceros al carbono**.

RECOMENDACIONES

1.- Conociendo los índices de maquinabilidad es posible relacionar la vida de una herramienta para diferentes materiales o velocidades de corte, por medio de la siguiente fórmula:

$$R2/R1 = S2/S1 = T2/T1$$

Donde:

R: Grado de Maquinabilidad

S: Velocidad de Corte

T: Tiempo de Vida de la Herramienta

1: Material 1

2: Material 2

2.- Mediante un estudio de maquinabilidad en una empresa manufacturera se pueden elaborar curvas que ayuden a determinar la velocidad de trabajo que represente el menor costo variable a la compañía y de este modo optimizar los procesos y el beneficio económico.

3.- Escogiendo adecuadamente la composición química de un bronce al Aluminio, empleando una herramienta de corte con la geometría correcta y parámetros de corte adecuados, es posible mecanizarlo con la misma facilidad que materiales de uso común. Esto significa que no existe una razón técnica para considerar a estos bronce como materiales difíciles de trabajar.

4.- Existen aplicaciones en las cuales se requieren materiales con superiores propiedades mecánicas que los bronce al estaño, como dureza y resistencia mecánica, pero con similares características de resistencia a la corrosión o al desgaste. Los bronce al Aluminio en muchos casos son los materiales más adecuados para ser utilizados en esas circunstancias, por ejemplo en bocines marinos de baja velocidad y alta carga, guías de correderas, etc.

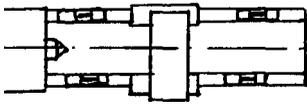
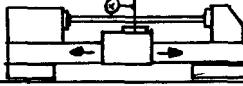
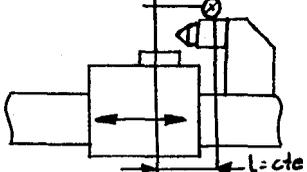
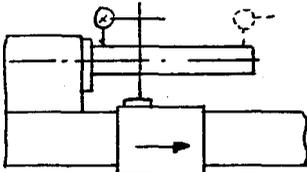
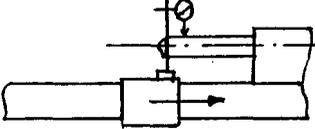
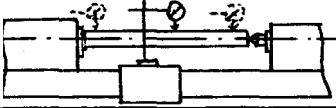
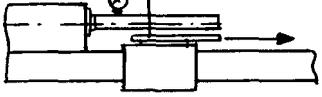
5.- Conociendo la maquinabilidad de los materiales es posible elaborar modelos de la vida de las herramientas de corte y utilizarlos para predecir el tiempo de cambio de las mismas.

6.- La realización de una serie de pruebas de maquinabilidad no requiere de equipo o instrumentación especial. Los ensayos realizados fueron hechos utilizando un torno horizontal común, un macroscopio metalografico y herramientas e instrumentos de medición de uso cotidiano, todos pertenecientes al Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Facultad de Ingeniería en Mecánica de la ESPOL.

ANEXOS

ANEXO A

PRUEBAS DE ANALISIS DE LA MAQUINA HERRAMIENTA

ENSAYOS REALIZADOS				
Número	Ensayo	esvíos Admisibles	nstrumentos de Medid:	Esquemas
1	Nivelación de la bancada a) En la dirección Longitudinal b) En la dirección Transversal	ara $1000 < D_c < 1500$ a) 0,005/250 b) 0.03/1000	Nivel de Precisión Métodos Ópticos	
2	Rectitud en el movimiento del carro en un plano horizontal en relación a la línea de centro	0,02	Reloj comparador	
3	Paralelismo entre las guías del cabezote del contrapunto y el movimiento del carro a) En el plano horizontal b) En el plano vertical	a) 0.02 b) 0.03	Reloj comparador	
4	Paralelismo entre el eje del árbol y el movimiento longitudinal del carro. a) En el plano horizontal b) En el plano vertical	a) 0,010/300 b) 0.02/300	Reloj comparador	
5	Paralelismo entre el eje del contrapunto y el movimiento del carro a) En el plano horizontal	a) 0.01/100	Reloj comparador	
6	b) En el plano vertical Diferencia de altura entre los ejes del árbol y el contrapunto por encima del árbol	b) 0.015/100	Reloj comparador	
7	Paralelismo entre el movimiento longitudinal del carro porta herramientas y el eje del árbol	0,021150	Reloj comparador	

ANEXO B

DESCRIPCION DE LA GEOMETRIA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE Y SU INFLUENCIA EN EL PROCESO DE MECANIZADO

La herramienta de corte desempeña un papel esencial en el proceso de corte **con** arranque de viruta. De su correcta selección, tanto en el material como en la geometría depende en **gran** medida la calidad y la productividad del proceso de mecanizado.

A continuación se presenta alguna información adicional sobre la geometria de las cuchillas rectas para torneado cilindrico y la influencia de **Csta** sobre trabajo de mecanización.

GEOMETRIA DE LAS CUCHILLAS RECTAS PARA TORNO

Antes **de** indicar la influencia de los diferentes angulos de las cuchillas en el proceso de arranque de viruta, es necesario explicar brevemente la nomenclatura utilizada en las herramientas de corte y el significado físico de cada uno de los angulos.

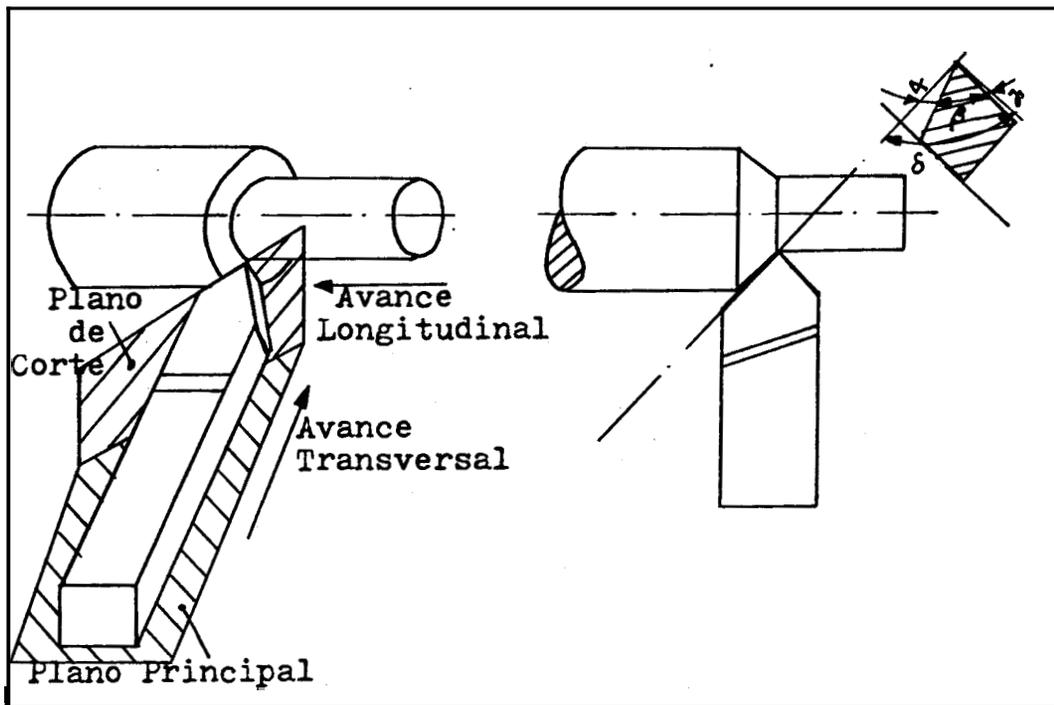


Fig.B1: Cuchilla recta para torno(Ref.7)

SUPERFICIES Y PLANOS DE REFERENCIA

La cuchilla de torneado cilíndrico se divide en dos partes: El *Mango* o *parte inactiva*, que sirve para la sujeción de la herramienta y la *Cabeza* o *parte activa* que es la porción de la cuchilla que se afila y por lo tanto participa en el corte del material.

La parte activa está formada por tres superficies:

1. **Superficie de Ataque:** Es la superficie sobre la cual se desliza la viruta una vez formada.
2. **Superficie de Incidencia Principal:** Es la superficie de la cuña del filo, del lado que la cuchilla realiza el trabajo de corte.
3. **Superficie de Incidencia Secundaria:** Es la superficie de la cuña del filo del lado opuesto al corte.

Para conseguir que la cuchilla coite debidamente el metal es necesario que las superficies activas se dispongan bajo ángulos determinados.

Para determinar estos ángulos se toman planos de referencia que son:

- a) **Plano Principal:** Es el plano paralelo a la dirección de los avances longitudinal y transversal. Coincide con la superficie de apoyo inferior de la cuchilla.
- b) **Plano de Corte:** Es el plano tangente a la superficie de corte y pasa por el corte rectilíneo principal.
- c) **Plano Secante Principal:** Es el plano perpendicular a la proyección del corte principal sobre el plano principal.

d) **Plano Secante Auxiliar:** Es el plano perpendicular a la proyección del corte secundario sobre el plano principal.

ANGULOS

Los ángulos de la cuchilla se miden entre los planos de referencia y las superficies de la herramienta.

- El **Angulo de Incidencia Principal, ALFA:** es el ángulo que está formado por la superficie de incidencia principal y el plano de corte.
- El **Angulo de Filo, BETA:** es el ángulo formado entre la superficie de ataque y la superficie de incidencia principal de la cuchilla.
- El **Angulo de Ataque o de Desprendimiento, GAMMA:** es el ángulo formado entre la superficie de ataque de la cuchilla y el plano perpendicular al plano de corte trazado por el filo principal.

En la nomenclatura Norteamericana se utilizan ángulos algo diferentes, los cuales se pueden asociar muy fácilmente a los anteriormente nombrados.

FILOS

Los filos de **una** cuchilla son las líneas de intersección de las superficies de la parte activa.

- El **Filo Principal:** es la intersección de la superficie de ataque con la superficie de incidencia principal o Flanco de la herramienta.
- El Filo **Secundario:** es la intersección de la superficie de ataque con la superficie de incidencia secundaria de la herramienta.

La intersección de los dos filos, principal y secundario de la herramienta se denomina **Punta**.

INFLUENCIA DE LOS ANGULOS EN EL MAQUINADO

Los ángulos deben seleccionarse de acuerdo al tipo de operación de maquinado que se va a realizar, la dureza del material de trabajo, la velocidad, avance y profundidad de corte utilizadas.

En general al incrementarse el **ángulo de ataque** la fuerza de corte se reduce, se incrementa la duración de la herramienta y se mejora el acabado. Este **ángulo** puede ser positivo o negativo: Se utilizan ángulos de ataque positivos

para materiales de baja resistencia a la tensión y no-ferrosos, ejes largos de pequeño diámetro, o materiales que se endurecen al ser trabajados. Los ángulos de ataque negativos se emplean para materiales de alta resistencia a la tensión, grandes profundidades de coxte y cortes interrumpidos.

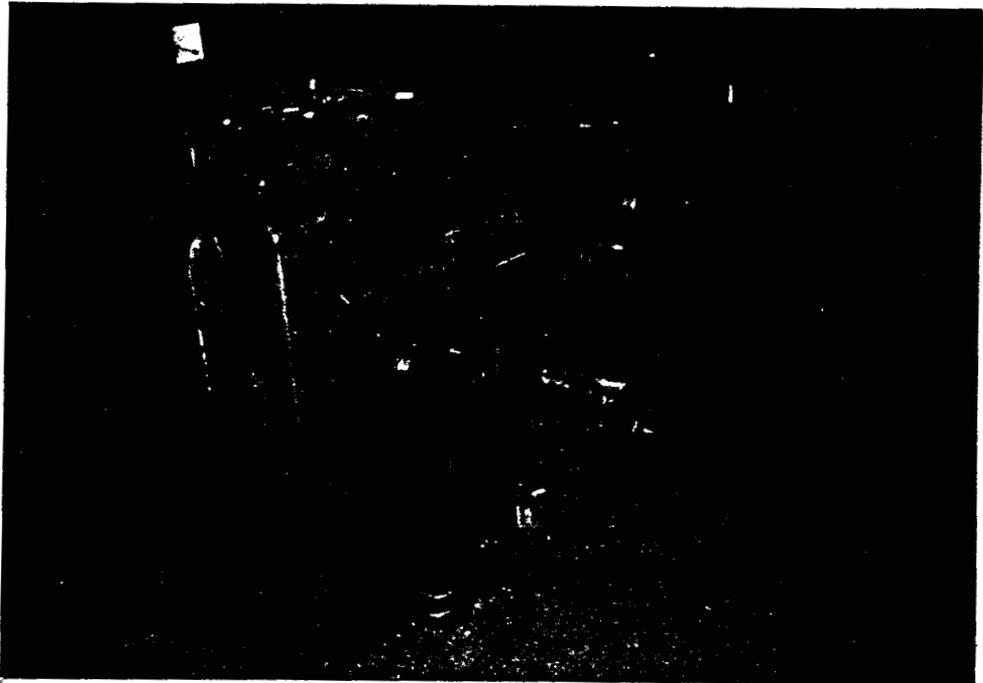
Cuando se incrementa *el ángulo de incidencia principal* se reducen las fuerzas de corte en el filo para materiales de baja resistencia a la tensión. Para materiales de gran resistencia ángulos mayores a 15° debilitarían el filo de la herramienta. Hay que tomar en cuenta que este ángulo sirve para asegurar que el filo pueda cortar libremente al producirse el movimiento relativo pieza-herramienta.

Un ángulo muy pequeño podría provocar que se forme una cara vertical que acabe con la separación entre la pieza de trabajo y la herramienta, con la consecuente destrucción de la cuchilla. Cuando se requieren por razones técnicas ángulos de incidencia muy grandes se suele esmerilar un ángulo de incidencia secundario, llamado ángulo de alivio. Esto se lo hace cuando se cree que el vástago de la herramienta podría rozar con la pieza que se está trabajando.

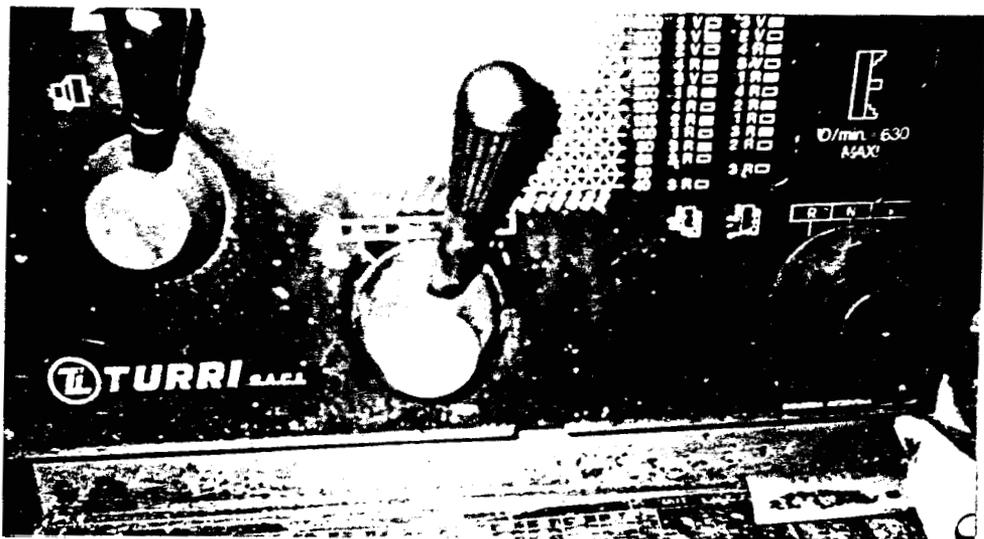
El **ángulo de corte lateral** esta generalmente alrededor de 15° si es que no existen requerimientos especiales. Una de **las** ventajas de incrementar este ángulo **es** el aumento de la vida útil de la herramienta, control del movimiento de **la** viruta y menor consumo de poder. Se pueden **usar** profundidades **de** corte mayores. **Sin** embargo, secciones transversales pequeñas podrían deflectarse **en** esta condiciones porque el vector resultante de las fuerzas ya no sería paralelo al eje de la pieza de trabajo.

ANEXO C

FOTOGRAFIAS DE LA MAQUINA-HERRAMIENTA UTILIZADA



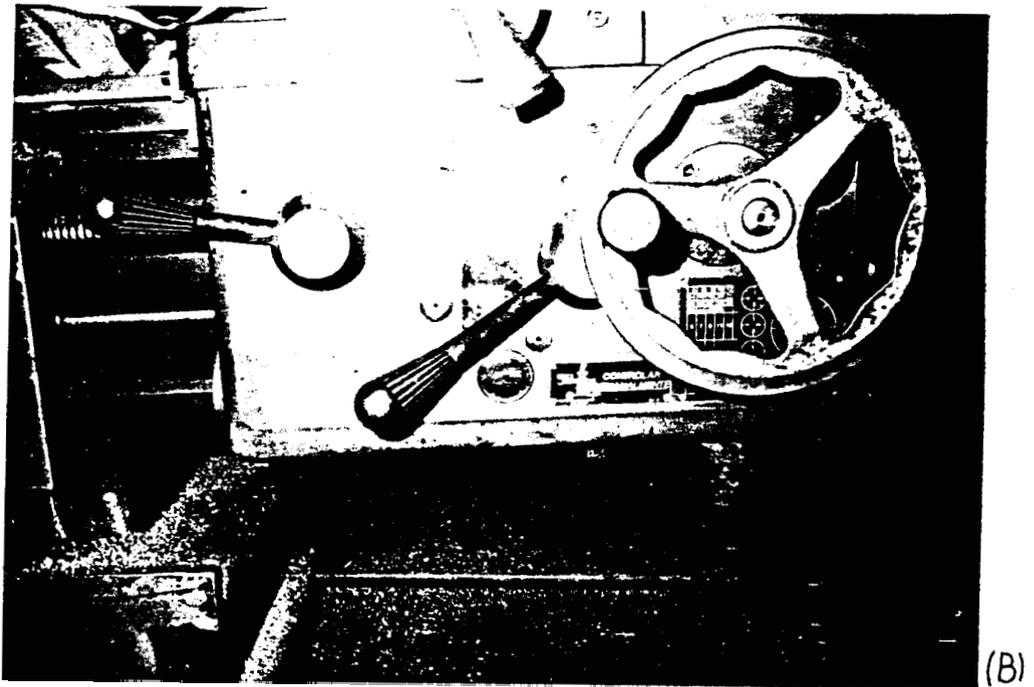
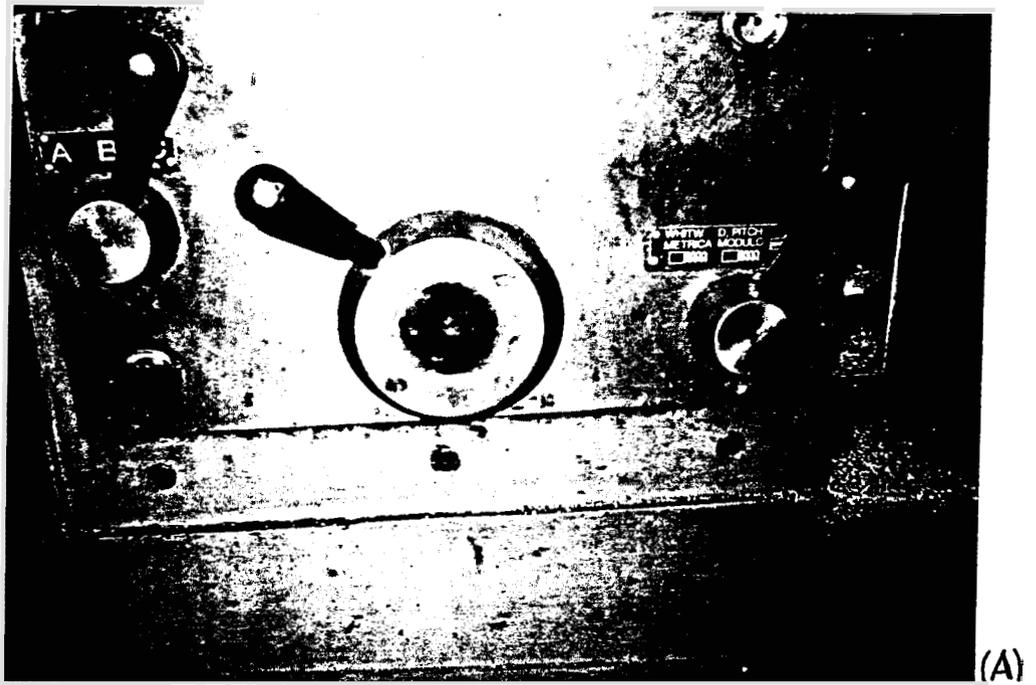
(A)



(B)

A) Torno TURRI T-220 B) Palancas de control de velocidad

Fig. C1: Máquina-Herramienta utilizada



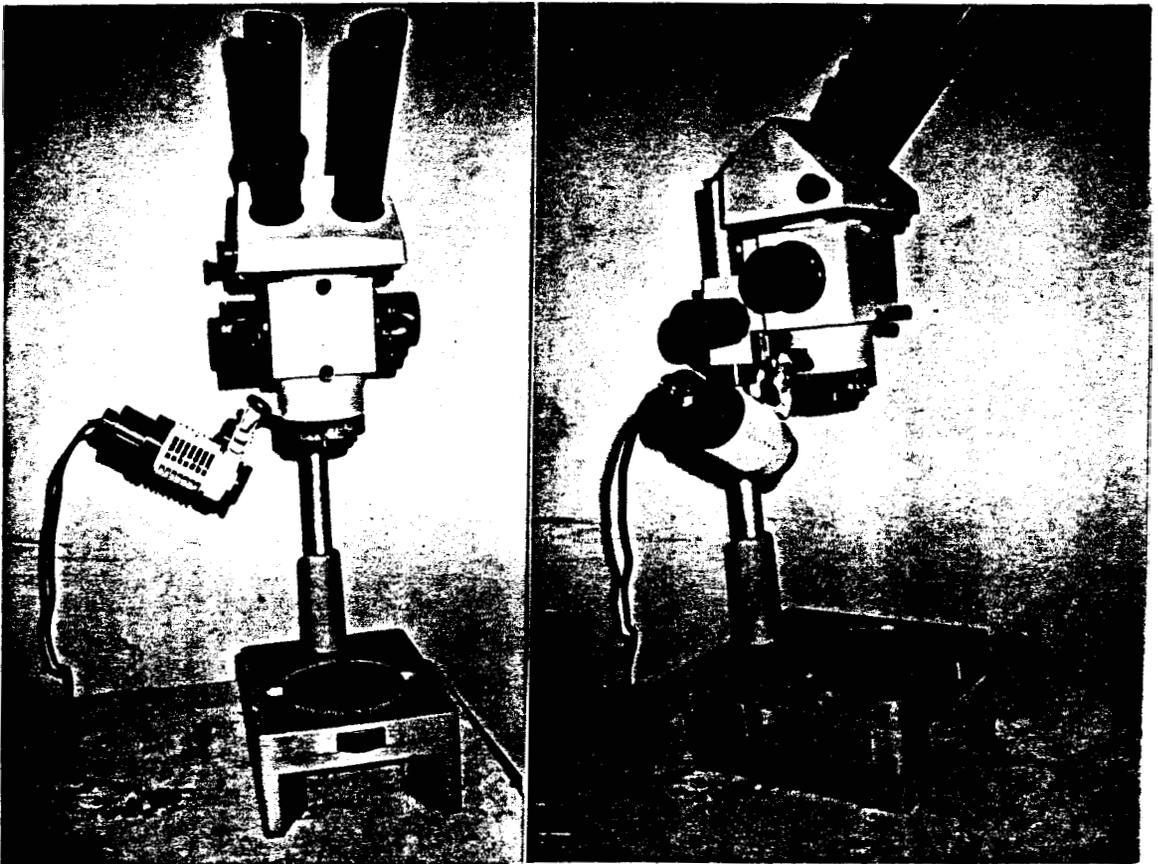
A) Control de velocidad de avance. B) Carro Longitudinal. controles

Fig.C2: Detalles de la Máquina-Herramienta

ANEXOD

INSTRUMENTOS OPTICOS UTILIZADOS

Para la observación del desgaste de las herramientas de corte y la cuantificación del mismo se empleo este macroscopio, con un aumento de **16X**.



A). B) Vistas del macroscopio

Fig. D1: Macroscopio

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASM International Handbook Committee, Metals Handbook, Ninth Edition, Vol 16: Machining, ASM International, (1989), 944p.**

- 2.- ASM International Handbook Committee, Metals Handbook, Ninth Edition, Vol 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals, ASM International, (1979), 855p.**

- 3.- ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica, Folleto: Tecnología de los Metales, FEPOL, (1987), 432p.**

- 4.- Gerling, Heinrich, Alrededor de las Máquinas-Herramientas, Tercera Edición, Editorial Reverté S.A., (1984), 270p.**

- 5.- Gorsler, Frank W., Cutting Tool Materials: Proceedings of an International Conference, Sept. 15-17 1980, ASME, (1981), 437p. Materials-Metalworking Technology Series**

6.- Lane, K.A., International Machine Tool Conference, IFS Publications, (1984), 630p.

7.- Pollack, Herman W., Tool Design, Reston Pub. Co., (1976), 544p.