

**Wilson José Silva Vásquez**

# **Ingeniería y Procesos de Manufactura I**



**Universidad Nacional de Ingeniería**  
Editorial Universitaria

Rector **Dr. Ing. Aurelio Padilla Ríos**  
Primer Vicerrector **Geol. José S. Martínez Talledo**  
Segundo Vicerrector **Msc. Ing. Walter Zaldívar Álvarez**

Primera edición, diciembre de 2012

**Ingeniería y Procesos de Manufactura I**

Impreso en el Perú / Printed in Peru

© Wilson José Silva Vásquez  
Derechos reservados

© Derechos de edición

Universidad Nacional de Ingeniería  
Editorial Universitaria



Av. Túpac Amaru 210, Rímac – Lima  
Pabellón Central / Sótano  
Telfs. 4814196 / 4811070 anexo 215  
Correo-e: eduni@uni.edu.pe  
Jefe EDUNI: Prof. Álvaro Montaña Freire  
Coordinador Editorial: Nilton Zelada Minaya

Impreso en la Imprenta de la Editorial Universitaria de la  
Universidad Nacional de Ingeniería

ISBN 978-612-4072-33-8

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú  
Nº 2011-13067

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio,  
total o parcialmente, sin permiso expreso del autor.

## Palabras liminares

Me complace felicitar a los docentes de nuestra Universidad ganadores del II Concurso para la Publicación de Libros de Texto convocado por el Rectorado y realizado en cada una de las Facultades. Una de las políticas medulares del Rectorado es la permanente mejora en la calidad académica, y en ese sentido nos interesa que cada docente tenga la oportunidad de convertir su labor cotidiana de enseñanza en textos para uso de los estudiantes universitarios de todo el país.

Los autores han hecho un meritorio esfuerzo para organizar los temas de sus exposiciones, realizando investigaciones y consultando fuentes peruanas y extranjeras, así como recogiendo el fruto del diálogo con sus colegas y los propios estudiantes. Asimismo, se han esmerado en presentar sus cursos de manera que facilita el acceso por parte de los interesados.

La publicación de textos académicos es una de las obligaciones de toda universidad y uno de los índices que se toma en cuenta para la evaluación de la calidad académica. Por ende, seguiremos apoyando la publicación de libros y revistas a través de nuestra Editorial Universitaria, cuya meta es formar parte del liderazgo peruano en la industria editorial dedicada a ingeniería, ciencia y arquitectura.

Es responsabilidad de la Universidad Nacional de Ingeniería aportar al Perú un liderazgo de base tecnológica que trabaje en estrecha asociación con las autoridades gubernamentales, los dirigentes empresariales y la sociedad civil en su conjunto, lo cual requiere de una política editorial y de publicaciones que estamos impulsando.

Dr. Ing. Aurelio Padilla Ríos  
Rector



### *Agradecimientos*

*Mi profundo agradecimiento primero a Dios que me da la vida para proyectar mis objetivos. También a mi alma mater UNI, Facultad de Ingeniería Mecánica, espacio en el que encuentro a un gran equipo de peruanos que forman cuadros que, ojalá, en algún momento el Perú los aproveche.*

*También hago extensivo mis agradecimientos al PhD. Alejandro Suárez con quién compartimos planeamientos y estrategias para encaminar más argumentos de la ciencia hacia los jóvenes.*

*A los estudiantes de mi facultad que me motivan a seguir caminando para aperturar nuevas metas en conjunto.*



Este libro está dedicado a:

Mis hijos : Williamson José y Ángela,

Mi esposa Margarita

Mis colegas y alumnos





# Índice

Presentación.....	XV
Introducción.....	XVII
CAPÍTULO 1	
Generalidades relacionadas a los procesos de manufactura .....	1
1.1. PROPIEDADES FÍSICAS .....	2
1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS .....	3
1.3. PROPIEDADES ESTÉTICAS.....	6
CAPÍTULO 2	
Teoría del maquinado de metales.....	9
2.1. FUNDAMENTOS DE CORTE DE LOS METALES.....	9
2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS.....	9
2.3. PROCESOS DE MANUFACTURA.....	11
2.4. HERRAMIENTAS DE CORTE.....	11
2.5. CORTE ORTOGONAL.....	13
2.6. FORMACIÓN DE VIRUTA .....	17
2.7. SECCIÓN VIRUTA (A) .....	17
2.8. SEMEJANZA DEL TORNEADO AL CORTE ORTOGONAL .....	19
2.9. PROBLEMAS RESUELTOS .....	20
2.10 PROBLEMAS PROPUESTOS .....	27
CAPÍTULO 3	
Proceso de corte en metales.....	29
3.1. FUERZAS DE CORTE EN METALES.....	29
3.2. TENSIONES EN EL CORTE ORTOGONAL .....	30
3.3. ECUACIÓN DE MERCHANT .....	32
3.4. POTENCIA Y ENERGÍA EMPLEADA EN EL MAQUINADO.....	33

3.5. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL CORTE DE METALES .....	37
3.6. PROBLEMAS RESUELTOS .....	38
3.7. PROBLEMAS PROPUESTOS .....	46
CAPÍTULO 4	
Materiales para las herramientas de corte .....	49
4.1 COMPORTAMIENTO DE MATERIALES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE CORTE .....	49
4.2 TIPOS DE HERRAMIENTAS SEGÚN SU MATERIAL .....	50
4.3 COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE MATERIALES PARA HERRAMIENTAS DE CORTE .....	55
4.4 TIPOS DE HERRAMIENTAS SEGÚN SU NÚMERO DE FILOS .....	56
4.5 HERRAMIENTAS DE CORTE BIFILOS (BROCAS) .....	59
4.6 HERRAMIENTAS DE CORTE MÁS DE DOS FILOS (FRESA) .....	62
4.7 EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE .....	64
4.8 PROBLEMAS .....	65
CAPÍTULO 5	
Vida de las herramientas de corte .....	67
5.1. DESGASTE DE LA HERRAMIENTA .....	67
5.2. CÁLCULO DE LA VIDA DE LAS HERRAMIENTAS .....	68
5.3. CRITERIOS PARA CONTROLAR EL DESGASTE: .....	74
5.4. PROBLEMAS RESUELTOS .....	75
5.5. PROBLEMA PROPUESTO .....	78
CAPÍTULO 6	
Fluidos de corte .....	79
6.1. ACCIONES DE LOS FLUIDOS DE CORTE .....	79
6.2. FLUIDOS DE CORTE MÁS UTILIZADOS .....	79
6.3. SELECCIÓN DE UN FLUIDO DE CORTE .....	80
6.4. FUNCIÓN BÁSICA DE LOS ACEITES DE CORTE .....	81
6.5. PROBLEMAS .....	82
6.6. PROBLEMAS PROPUESTOS .....	84
CAPÍTULO 7	
Tipos de máquinas herramientas .....	85
7.1. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES MÁQUINAS HERRAMIENTAS ..	85
7.2 FUNDAMENTACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS MÁQUINAS . HERRAMIENTAS .....	90

7.3. CADENAS CINEMÁTICAS.....	91
7.4. CINEMÁTICA DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS .....	92
7.5. GENERACIÓN DE FORMAS GEOMÉTRICAS.....	94
7.6. PROBLEMAS RESUELTOS .....	94
CAPÍTULO 8	
Torneado y operaciones afines.....	97
8.1. SUJECCIÓN DE OBRA .....	97
8.2. CONDICIONES DE CORTE EN EL TORNEADO .....	98
8.3. ROSCADO EN EL TORNO .....	103
8.4. DIÁMETRO NOMINAL.....	109
8.5. PROBLEMAS RESUELTOS .....	111
CAPÍTULO 9	
Taladradora .....	123
9.1. TIPOS DE TALADRADORAS.....	123
9.2. HERRAMIENTAS PARA LAS MÁQUINAS TALADRADORAS .....	125
9.3. ALGUNAS OPERACIONES RELACIONADAS CON EL TALADRADO .....	128
9.4. CONDICIONES DE CORTE EN EL TALADRADO.....	128
9.5. VELOCIDAD DE REMOCIÓN O FLUJO DE VIRUTA (MRR):.....	131
9.6. PROBLEMAS RESUELTOS .....	131
9.7. PROBLEMAS PROPUESTOS .....	136
CAPÍTULO 10	
La Fresadora .....	137
10.1. TIPOS DE FRESADORA .....	137
10.2. TIPOS DE OPERACIONES DE FRESADO .....	140
10.3. CONDICIONES DE CORTE EN MÁQUINA FRESADORA .....	146
10.4. PROBLEMAS RESUELTOS .....	149
CAPÍTULO 11	
La cepilladora .....	163
11.1. PREPARACIÓN DE LA CEPILLADORA .....	163
11.2. ALGUNOS TIPOS DE CEPILLADORA .....	163
11.3. PARTES DE LA CEPILLADORA DE CODO.....	165
11.4. OPERACIONES DE PERFILADO .....	166
11.5. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL MECANIZADO .....	168
11.6. PROBLEMAS RESUELTOS .....	172

CAPÍTULO 12	
Maquinado con abrasivos.....	179
12.1. COMPOSICIÓN DE LAS RUEDAS ABRASIVAS.....	179
12.2. TIPOS DE ABRASIVOS.....	181
12.3. LA RUEDA DE ESMERIL.....	183
12.4. ANÁLISIS DEL PROCESO DE ESMERILADO.....	184
12.5. POTENCIA, ENERGÍA Y FUERZA.....	186
12.6. TEMPERATURAS EN LA SUPERFICIE DE TRABAJO.....	187
12.7. CLASES DE ESMERILADO.....	187
12.8. PROBLEMAS RESUELTOS.....	190
CAPÍTULO 13	
Automatización en la manufactura.....	197
13.1. METAS Y USOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	198
13.2. Control numérico (CN).....	198
13.3. MÁQUINAS FRESADORAS CNC.....	198
13.4. Control numérico computarizado (CNC).....	199
13.5. PROGRAMACIÓN EN CNC.....	200
13.6. PROBLEMAS RESUELTOS.....	204
CAPÍTULO 14	
Componentes de costo y tiempo de la producción.....	215
14.1. PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL COSTO.....	215
14.2. ELEMENTOS DEL COSTO.....	216
14.3. CAPACIDAD PRODUCTIVA.....	217
14.4. TIEMPO Y COSTO DE MECANIZADO.....	218
CAPÍTULO 15	
Ensamblaje mecánico.....	229
15.1 DISEÑO PARA ENSAMBLE Y DESENSAMBLE.....	229
15.2 ENSAMBLES QUE PERMITEN DESENSAMBLE.....	230
15.3 EVALUACIÓN DE LOS PERNOS PARA ENSAMBLES.....	232
15.4 ENSAMBLE DE UNIÓN PERMANENTE.....	233
15.5 PROBLEMAS PROPUESTOS.....	236
CAPÍTULO 16	
Control de calidad.....	239
16.1. FRECUENCIA ESTADÍSTICA.....	239

Ingeniería y Procesos de Manufactura I

16.2. CAPACIDAD DE PROCESOS .....	242
16.3. TOLERANCIAS ESTADÍSTICAS .....	243
16.4. ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD.....	245
16.5. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS.....	246
16.6. PROBLEMAS RESU ELTOS .....	249
Glosario.....	257
Bibliografía.....	259
Anexos de tablas.....	261



## Presentación

El desarrollo de la ingeniería, basado fundamentalmente en el avance tecnológico que se manifiesta en las distintas actividades que el hombre desarrolla y que se aplica especialmente en los procesos de manufactura, donde se encuentran involucradas las máquinas herramientas convencionales y las máquinas herramientas de última generación.

Quiero manifestar a los jóvenes estudiantes de ingeniería, que la publicación de este libro se hace con la finalidad de ayudar a afianzar y aclarar los conocimientos de los procesos de manufactura y especialmente, en lo relacionado al uso de las máquinas herramientas. Estoy seguro que contribuirá en algo en la búsqueda de sus objetivos.

También hago de su conocimiento que como catedrático universitario, esta publicación no pretende cubrir la totalidad de los conocimientos de los procesos de manufactura, ya que en la actualidad existe una diversidad de información, sobretodo digital, que debe ser procesada, por lo que recomiendo clasificar la información de una manera atenta y adecuada antes de ser revisada, de esa forma el tiempo empleado será utilizado con mayor rendimiento, que será de provecho para usted y todos los usuarios de este libro en general.

M.Sc. Ing. WILSON JOSÉ SILVA VÁSQUEZ  
CATEDRÁTICO - UNI





# Introducción

Los procesos de manufactura son los pilares en el desarrollo industrial e ingeniería, están relacionados con la investigación científica y tecnológica, tanto las máquinas herramientas, herramientas de corte y materiales a maquinarse. En base a investigaciones se consiguen los avances tecnológicos que ayudan directa o indirectamente a nuestra sociedad. Con el desarrollo tecnológico, los países que se preocupan en su industria manufacturera interna crean su riqueza material y aumentan su producto bruto nacional.

La Universidad Nacional de Ingeniería forma ingenieros e investigadores científicos y técnicos para el desarrollo tecnológico, siendo una de las líneas más importantes, los procesos de manufactura y el diseño. Los docentes nos ocupamos de la formación de profesionales con conocimientos profundos de tecnologías para la aplicación industrial; asimismo, los centros de investigación y desarrollo de la UNI deben buscar los enlaces con las empresas manufactureras, para la aplicación de los avances de la ingeniería y así poder contribuir con el crecimiento industrial de nuestro país.

## Objetivos de este libro

Considerando que los procesos de manufactura son partes que integran los proyectos de diseño de máquinas y los componentes o elementos de máquinas que se fabrican utilizando las máquinas herramientas. Por ello este libro tiene como objetivo contribuir con los estudiantes de ingeniería mecánica y afines, como un soporte en la conceptualización teórica y sus respectivas aplicaciones de cada uno de los temas tratados.

## Síntesis del contenido de este libro

El primer capítulo muestra las generalidades relacionadas a los procesos de manufactura, donde se tiene en cuenta, principalmente, las propiedades de los materiales de las herramientas de corte y de los materiales a mecanizar.

El segundo capítulo contiene la teoría del maquinado, los fundamentos del corte de los metales, la clasificación de las máquinas herramientas, los procesos de ma-

nufactura, las herramientas de corte, el corte ortogonal, la formación de viruta, el área de viruta en corte ortogonal, aproximación al torneado por corte ortogonal y aplicaciones.

En el tercer capítulo se entrega los conceptos sobre el proceso de corte, fuerza de corte en los metales, tensiones en el corte ortogonal, así como la ecuación de Merchant, la potencia y energía empleada en el maquinado, la distribución de temperatura en el corte de metales y aplicaciones.

El cuarto capítulo contiene materiales para las herramientas de corte, el comportamiento de los materiales que intervienen en el proceso de corte, tipos de herramientas según su material, así como las propiedades de los materiales para las herramientas de corte, tipos de herramientas: herramientas de corte bifilos, herramientas de corte de más de dos filos, evolución de producción de las herramientas de corte y aplicaciones.

En el quinto capítulo se presenta a la vida de la herramienta de corte, desgaste de la herramienta de corte, determinación de la vida de la herramienta, criterios para reemplazar una herramienta y aplicaciones.

En el sexto capítulo se tiene a los fluidos de corte, acciones de los fluidos de corte, fluidos de corte más utilizados, selección de un fluido de corte, función básica de los aceites de corte y aplicaciones.

En el séptimo capítulo se mencionan a los tipos de máquinas herramientas, tales como el torno mecánico, la taladradora, la fresadora y la cepilladora. También se fundamenta la construcción de las máquinas herramientas, su cinemática y la generación de formas geométricas. Asimismo, sus aplicaciones.

En el octavo capítulo se define al torneado y operaciones afines donde se tiene que realizar la sujeción de la obra, teniendo en cuenta las condiciones de corte cilíndrico, cónico, roscado y aplicaciones.

En el noveno capítulo se presenta a las máquinas taladradoras, ya que estas proporcionan a la herramienta de corte el movimiento giratorio para ejecutar el taladrado y el avance para conseguir la profundidad del agujero, operaciones relacionadas con el taladro y aplicaciones.

El décimo capítulo presenta a la fresadora y sus tipos, tipos de operaciones de corte, engranajes de dientes rectos, y su construcción, las condiciones de corte y aplicaciones.

En el décimo primer capítulo se considera a la cepilladora, su preparación, algunos tipos de cepilladoras, limadora de codo con sus operaciones de perfilado y los parámetros que se debe tener cuenta para el cepillado y aplicaciones.

En el décimo segundo capítulo se presenta al maquinado con abrasivos, considerando la composición, se hace el análisis de los procesos, determinándose la potencia requerida según las clases de esmerilado y aplicaciones.

En el décimo tercer capítulo se presenta a la automatización en la manufactura, teniendo en cuenta sus metas y usos de automatización, control numérico (CN), control numérico computarizado (CNC), programación en CNC y aplicaciones.

En el décimo cuarto capítulo se mencionan a los componentes de costo y tiempo de producción para el proceso de transformación, elementos del costo, la capacidad productiva, el tiempo y costo de mecanizado y aplicaciones.

El décimo quinto capítulo contiene al ensamble mecánico, los tipos de ensamble, métodos de ensamble y aplicaciones.

El décimo sexto capítulo presenta al control de calidad, la capacidad de los procesos con sus tolerancias estadísticas, control estadístico de procesos y aplicaciones.

Los capítulos mencionados de este libro, para considerarse como ayuda para estudiantes y profesores deberán comprobarse o complementarse con trabajos en el laboratorio.



## CAPÍTULO 1

# Generalidades relacionadas a los procesos de manufactura

En los procesos de diseño y manufactura de elementos de máquinas y/o sistemas mecánicos, nos vemos obligados a elegir adecuados materiales para el desempeño de una determinada tarea.

Para esta elección debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Sus propiedades físicas y mecánicas (dureza, densidad, conductividad, etc.) y sus cualidades estéticas (color, textura, etc.) deben ser adecuadas para la aplicación seleccionada.
- Se debe disponer de suficientes conocimientos técnicos en la materia y sobre las herramientas necesarias, su manipulación y transporte.
- El material debe de estar disponible en el mercado.
- El impacto medio ambiental durante la fabricación, uso y desechos.

El abuso de materiales no reciclables puede acabar con los recursos y convertir nuestro entorno en un vertedero. Se recomienda reciclar materiales disponibles para nuestros diseños, siempre que sea posible.

Los materiales que nosotros empleamos se encuentran ya en distintos formatos comerciales, como: perfiles, ejes, planchas, cables, barras, bloques, etc.

En función de la misión que tiene que desempeñar el objeto que estamos diseñando, uno de los factores a tener en cuenta son sus propiedades, éstas se refieren a los siguientes aspectos:

- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.
- Propiedades eléctricas y magnéticas.
- Propiedades ópticas.
- Propiedades estéticas.

## 1.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas se refieren a aspectos relacionados con los fenómenos físicos que afectan a los materiales, como el calor, las dimensiones, etc.

### 1.1.1 La densidad

La densidad es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, o dicho de otra forma, la masa correspondiente a una unidad de volumen ( $D = M/V$ ).

**Tabla 1.1. Densidad de materiales metálicos ferrosos y no ferrosos**

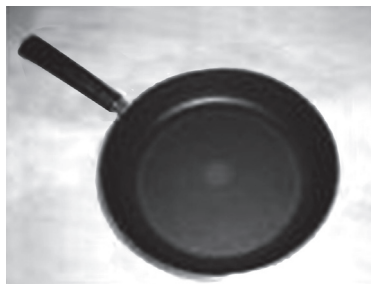
Material	Densidad en g/cm <sup>3</sup>
Aluminio	2,7
Latón	8,49
Plata	10,5
Hierro	7,86

Respecto a la densidad, tener en cuenta si un cuerpo flota o tiene poco peso. Tal como las boyas, que deben flotar, por lo que deben construirse con materiales poco densos, así como también las piezas para aviones. Por el contrario las pesas para básculas, deberían ser bastante densas para ocupar poco espacio.

### 1.1.2. La conductividad térmica

Un material es un buen conductor térmico cuando deja pasar el calor con facilidad, en caso contrario, su conductividad térmica será baja. Todos los metales son buenos conductores del calor, mientras que el aire es un buen aislante térmico.

Emplearemos buenos conductores térmicos para las sartenes, los calentadores y radiadores, la superficie plana de una plancha eléctrica, etc. Sin embargo emplearemos malos conductores para los mangos de las sartenes y ollas, para aislar las construcciones o para aislar el calor de un horno.



**Figura 1.1.** Material buen conductor (sartén) y mal conductor del calor (mango del sartén)

## 1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas tienen que ver con el comportamiento que tienen los materiales frente a los distintos esfuerzos mecánicos a los que son sometidos. Generalmente el material se deforma temporal o permanentemente, o se rompe; por lo tanto, decimos que un material resiste un determinado esfuerzo cuando no se deforma excesivamente o no se rompe. También, describen la forma en que un material soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión, compresión, impacto, cíclicas o de fatiga, o fuerzas a altas o bajas temperaturas.

Ante un esfuerzo, un material puede tener tres respuestas: deformarse elásticamente (deformación reversible), deformarse plásticamente (deformación permanente) o romperse.

### 1.2.1. La ductilidad

Es un determinado tipo de plasticidad. Un material es dúctil cuando es fácilmente deformable en forma de hilos sin romperse. Un material dúctil es el cobre, que lo podemos transformar fácilmente en hilos muy delgados.

### 1.2.2. La maleabilidad

Es otro tipo de plasticidad. Un material es maleable cuando es fácilmente deformable en forma de láminas sin romperse. El oro es un material muy maleable, con el que podemos fabricar láminas de tan solo una micra de grosor (pan de oro).

La plasticidad es una propiedad importante, cuando tenemos que darle a una pieza formas complejas, mediante deformación. Gracias a la plasticidad, maleabilidad y a la ductilidad podemos obtener materiales de diferente forma y tamaño que son empleados para diversos fines de la construcción.



Figura 1.2. Geometría de materiales maleables

### 1.2.3. Resistencia a la tracción

Un cuerpo está sometido al esfuerzo de tracción cuando sobre este actúan dos fuerzas iguales, de sentido contrario y como saliendo del elemento. Un cuerpo sometido a tracción se deforma alargándose y estrechándose, esto es, las caras paralelas al esfuerzo tienden a unirse, mientras que las perpendiculares tienden a separarse; los materiales resistentes al esfuerzo de tracción se emplearán en el diseño de piezas que tengan que soportar pesos colgados, en cables de puentes y ascensores, cadenas, etc.

### 1.2.4. Resistencia a la compresión

Un cuerpo se encuentra sometido a compresión, cuando sobre él actúan dos fuerzas iguales, de sentido contrario y hacia el interior del objeto. Un cuerpo sometido a compresión se deforma acortándose y ensanchándose, esto es, las caras paralelas al esfuerzo tienden a separarse, mientras que las perpendiculares tienden a unirse; como se ve es todo lo contrario que la tracción. Cuando sometemos a compresión un cuerpo cuya longitud es muy grande con respecto a su sección, este se flexiona curvándose, a esta deformación se le denomina pandeo; es necesario emplear materiales resistentes a la compresión en objetos que tienen que soportar pesos, como las patas de una silla o una mesa, etc.

### 1.2.5. Resistencia a la torsión

Un cuerpo está sometido a torsión cuando se intentan girar sus extremos en sentidos opuestos. Sus secciones tienden a tomar movimientos de rotación en sentidos opuestos. Si la fuerza es suficiente, también se produce el desgarro o cortadura; se encuentran sometidos a torsión todos los ejes que transmiten movimientos de giro: los destornilladores, las llaves de una cerradura, cardanes vehiculares, etc.

### 1.2.6. La rigidez

La rigidez es la resistencia que opone un cuerpo a deformarse cuando es sometido a un esfuerzo de flexión o torsión, es decir, es lo contrario de flexibilidad; la rigidez teóricamente significa que en un elemento de cualquier material su deformación debe ser cero; es aplicable a elementos de máquinas y a los materiales tales como de una llave inglesa o una llave fija, vigas de puentes, etc.



Figura 1.3. Llave inglesa con alta rigidez



### 1.2.7. La tenacidad

La tenacidad tiene que ver con la capacidad que tiene un material para absorber energía sin romperse; todos los materiales tienen grietas internas que se propagan más rápido mientras menos tenaz sea el material; cuando el material se deforma con facilidad, es decir, es blando, la porción del material que rodea la grieta se deforma. Este proceso consume energía, lo que retarda la propagación de la grieta y consigue que el material sea tenaz.

En los materiales más duros, esta deformación no ocurre, por lo que las grietas disponen de mucha más energía para propagarse, lo que lleva al material a tener una baja tenacidad, esto no quiere decir que entre la dureza y la tenacidad existe una relación inversa; la propagación de grietas depende de otros factores como el tipo de proceso de deformación que ocurre en el material o las dimensiones de la grieta inicial. Sin embargo, sí es posible decir que una dureza extrema y una tenacidad extrema nunca se encontrarán juntas en el mismo material.

También puede decirse que es la propiedad que tienen ciertos materiales de soportar, sin deformarse ni romperse, los esfuerzos bruscos que se les apliquen. Tal como ocurre en un yunque, que debe construirse con material tenaz, al igual que un martillo, un cincel, las herramientas de corte para maquinado, ya que continuamente están recibiendo golpes.



Figura 1.4. Herramientas de corte con alta tenacidad

### 1.2.8. La fragilidad

Fragilidad es justamente lo contrario de tenacidad. Un material es frágil cuando se rompe fácilmente, por la acción de un choque, sin deformarse previamente. Los materiales frágiles tienen las fases elástica y plásticas muy reducidas.

La fragilidad es una propiedad pocas veces deseada y suele venir impuesta por materiales que tienen otras propiedades aprovechables. En un vehículo, el cristal de emergencia deberá ser frágil para que, en caso de accidente, lo podamos romper con un pequeño golpe.

### **1.2.9. La dureza**

La dureza mide el grado de oposición de un material a ser rayado o a desgastarse. Un material es más duro que otro si no puede ser rayado por él.

Existen varios procedimientos para determinar la dureza de un material, como el ensayo de Martens, que determina la dureza por el ancho de la raya que un diamante de forma piramidal produce al rayar un material con una fuerza determinada. Si se utiliza un lápiz como indentador; este penetra sin dificultad a la plastilina, demostrando que es más duro que la plastilina.

Los materiales duros se emplean en herramientas de corte o en piezas que sufren grandes desgastes, como el cilindro y los pistones de un motor de explosión. La dureza suele ir unida a la fragilidad, cuando más duro es un material, más frágil resulta, por lo tanto solo buscaremos la dureza cuando es estrictamente necesaria.

La dureza se relaciona con la capacidad que tiene un material de soportar esfuerzos sin deformarse permanentemente.

### **1.2.10. La fatiga**

La fatiga se puede definir como una fractura progresiva; se produce cuando una pieza está sometida a un esfuerzo repetido o cíclico, como una vibración; que aunque el material no supere el límite elástico, puede romperse en poco tiempo.

Durante el movimiento cíclico, no se observa deformación aparente, pero se van produciendo pequeñas grietas que disminuyen la sección eficaz, hasta que la pieza no puede soportar el esfuerzo y se rompe; es importante emplear materiales resistentes a la fatiga en aquellas piezas que tienen que aguantar vibraciones, como son los amortiguadores, o las piezas de motores de explosión; tal es el caso, cuando cortamos un alambre flexionándolo de forma repetitiva, la rotura se produce por fatiga.

## **1.3. PROPIEDADES ESTÉTICAS**

La estética es muy importante cuando realizamos un diseño, ya que no solo elegimos las cosas por su funcionalidad, si no que también consideramos su aspecto. Hay artículos en los que el aspecto es muy importante como en adornos; y otros en los que es menos importante, como el motor de un coche.

### **1.3.1. Textura**

La textura, es el acabado superficial de un material, esta propiedad se puede detectar con la vista y el tacto; el acabado final de un material, dependerá tanto del propio material, como del proceso de fabricación y del tratamiento superficial que se le de.

La textura no solamente es una propiedad estética, también define la funcionalidad del objeto. Por ejemplo, la cubierta de una cocina debe de ser poco rugosa, para que sea fácil de limpiar y por lo tanto higiénica. Sin embargo el suelo de una acera, deberá de ser áspero para evitar resbalones.

### **1.3.2. Color**

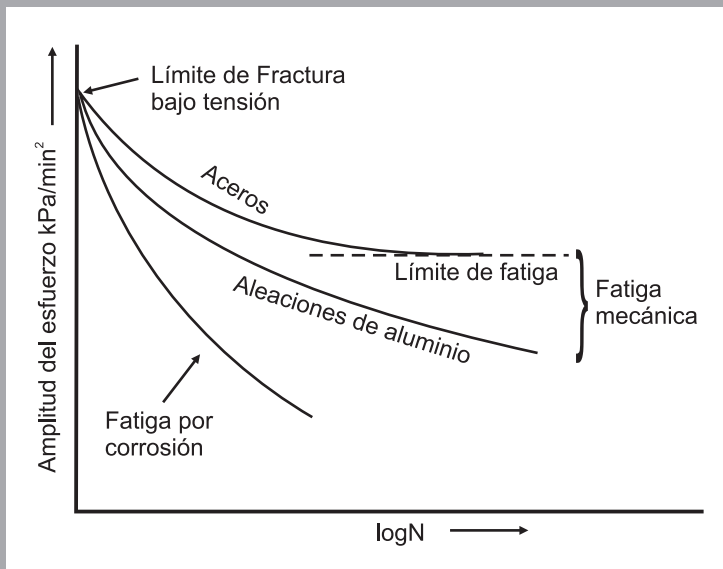
Los colores hacen que un objeto sea o no agradable a la vista, tanto los colores aislados, como las combinaciones de colores; los colores nos transmiten sensaciones. El azul está asociado al frío y el rojo al calor. También empleamos los colores para resaltar un objeto o una zona en un diseño, ya sea por motivos estéticos o de seguridad; así como los botones de desconexión, por razones de seguridad, suelen ser rojos. Y la ropa de los trabajadores de carreteras y vías amarilla, para que puedan ser vistos fácilmente.

## FATIGA MECÁNICA

La fatiga es el fenómeno general de falla del material tras varios ciclos de aplicación de una tensión menor a la de rotura. La rotura por fatiga se da como consecuencia de esfuerzos repetidos y variables debiéndose a un deslizamiento de la estructura cristalina, con el consiguiente deslizamiento progresivo de los cristales, con producción de calor, aspecto de las piezas rotas por fatiga:



- Una zona lisa, de estructura finísima y brillante: la rotura por fatiga se da después de un periodo relativamente largo.
- Una zona de cristales grandes, o de estructura fibrosa: cuando la rotura por fatiga se da instantáneamente debido a la disminución de sección, ver figura adjunta.



## **CAPÍTULO 2**

# **Teoría del maquinado de metales**

El ingeniero observa a los procesos de manufactura como un mecanismo para la transformación de materiales en artículos útiles para la sociedad. También es considerada como la estructuración y organización de acciones que permiten a un sistema lograr una tarea determinada.

### **2.1. FUNDAMENTOS DE CORTE DE LOS METALES**

Dada la diversidad de máquinas herramientas en las plantas industriales de mecanizado, para una mejor comprensión de la teoría de corte; existe una clasificación del tipo de mecanizado; cómo trabajan, qué comportamiento y características poseen. La Figura 2.1 muestra los tipos de máquinas herramientas empleadas en la industria del mecanizado, algunas emplean herramientas que obtienen virutas largas y gruesas; otras cortan el material de forma que la viruta que obtienen es pequeña; y otras cortan el material por cizallamiento sin desprendimiento de virutas.

### **2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS**

Atendiendo al movimiento relativo entre la herramienta y el material de trabajo, las máquinas herramientas se pueden clasificar como se indica en el cuadro de la Figura 2.1. En él se muestra un panorama general de las máquinas más empleadas para el mecanizado de los metales. Existen otras máquinas, como las talladoras, las de electroerosión, ultrasonidos, etc.

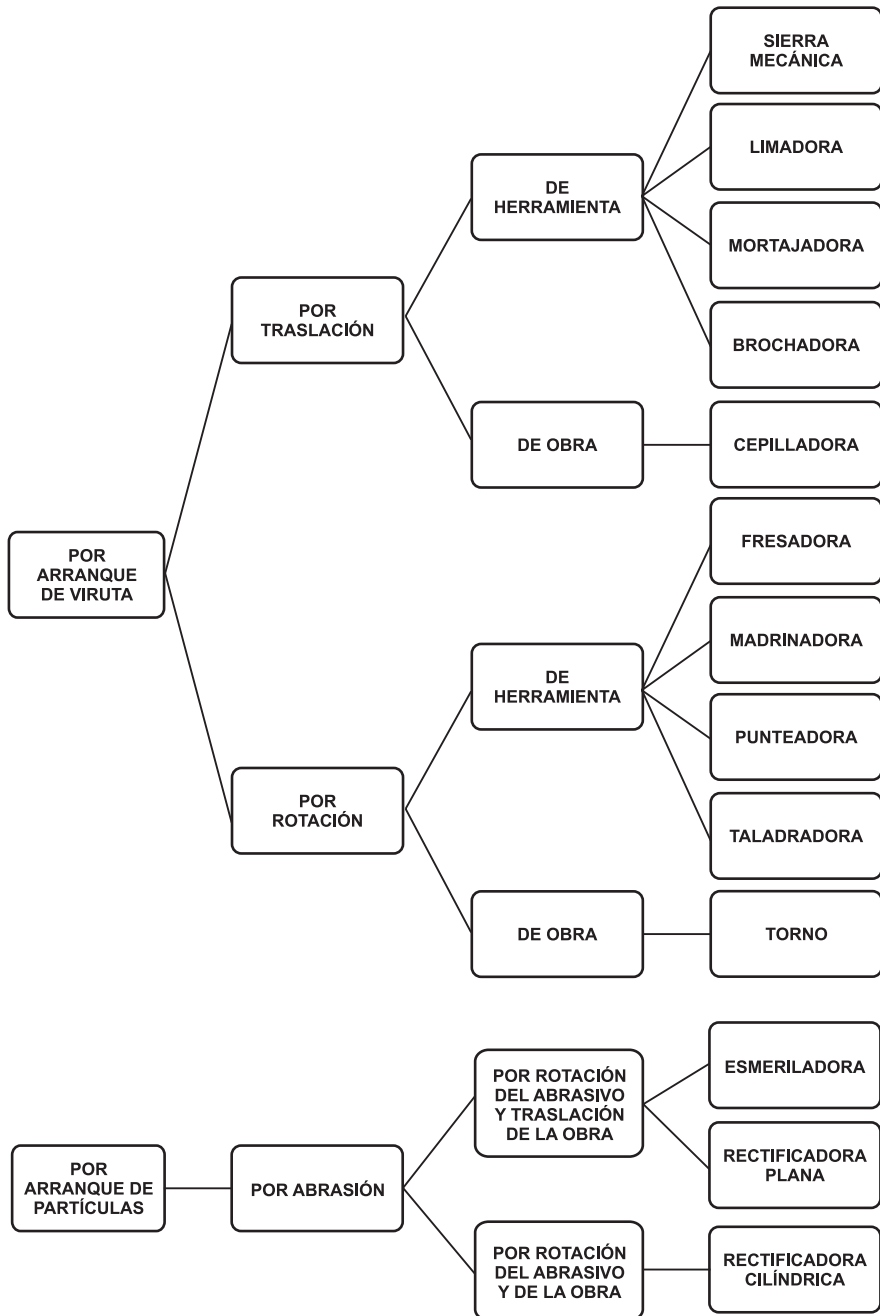


Figura 2.1. Clasificación de las máquinas herramientas empleadas en los procesos de manufactura con arranque de viruta

## 2.3. PROCESOS DE MANUFACTURA

Para realizar el maquinado de metales es necesario identificar los movimientos que se presentan en el sistema, para eliminar el exceso de material de la superficie de trabajo, teniendo en cuenta la máquina herramienta y su respectiva herramienta de corte utilizada para el proceso de mecanizado. Entre estas se consideran al torno mecánico, la fresadora, la cepilladora, la taladradora, etc. Ver Figura 2.2.

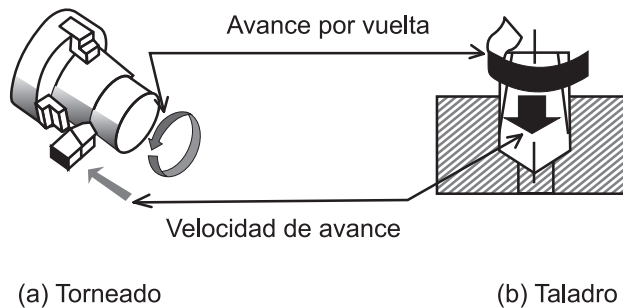


Figura 2.2. Procesos comunes de maquinado

## 2.4. HERRAMIENTAS DE CORTE

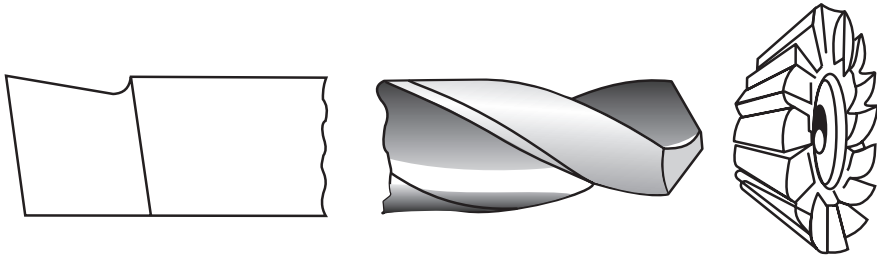
Las herramientas de corte de metales permiten la remoción de metal, pueden ser manuales tales como: arcos de sierra, limas, cinceles y otros; o a través de operaciones de maquinado con las máquinas herramientas tales como: el torno, taladradora, fresadora, rectificadoras, etc., que usan herramientas de corte monofilas, brocas, fresas, muelas abrasivas.

Para el maquinado se requiere conocer el material de la herramienta de corte y el material a mecanizar.

### 2.4.1. Clasificación de las herramientas de corte

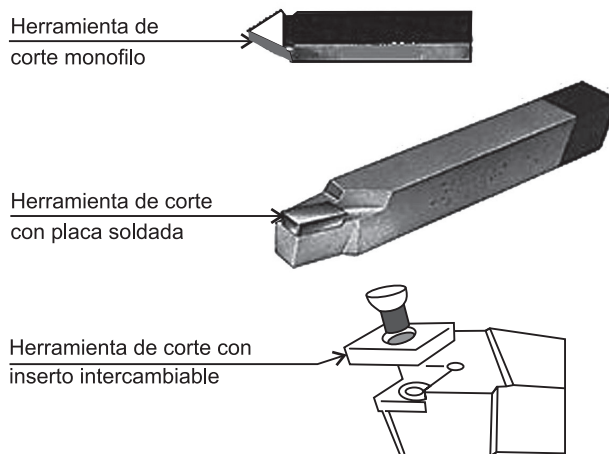
Las herramientas se pueden clasificar de diferentes maneras, ver Figura 2.3, las más comunes corresponden a:

- Número de filos.
- Material de fabricación.
- Tipo de movimiento que efectúa la herramienta.
- Tipo de viruta generada.
- Tipo de máquina en las que se utilizan.



**Figura 2.3.** Herramientas de corte (a) monofilo; (b) dos fillos y (c) multifilos

Además hay otra clasificación de las herramientas de corte según las formas de sujeción y el filo de corte de una herramienta, lo cual puede ser monofilo o multifilo. Ver figuras 2.3 y 2.4.



**Figura 2.4.** Herramienta de corte monofilo

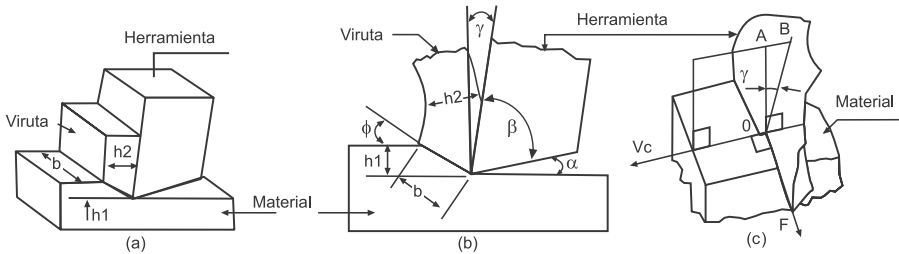
Funciones de la herramienta:

- Cortar en forma de viruta.
- Ayuda a evacuar la viruta de la zona de trabajo.
- Soporta golpes y las fuerzas de corte sin deformarse (material tenaz y rígido).
- Resiste al desgaste.



## 2.5. CORTE ORTOGONAL

En el corte ortogonal se usa una herramienta en forma de cuña, en la cual el borde cortante es perpendicular a la dirección de la velocidad de corte. Al presionar la herramienta contra el material se forma una viruta por deformación cortante a lo largo de un plano llamado *plano de corte*, este forma un ángulo  $\phi$  con la superficie de trabajo y se denomina ángulo del plano de corte, ver Figura 2.5b.



**Figura 2.5.** (a) Corte de viruta en vista tridimensional; (b) corte ortogonal; (c) ángulo que forma el filo de herramienta con la velocidad de corte

En la figura anterior (c) se muestra la herramienta con sus componentes geométricos:

- El filo de herramienta (OF) es perpendicular a la velocidad de corte ( $v_c$ ).
- Ángulo del filo de la herramienta  $\beta$ .
- El ángulo de ataque  $\gamma$  determina la dirección en la que fluye la viruta.
- El ángulo de incidencia  $\alpha$  provee un claro entre el flanco de la herramienta y la superficie de trabajo generada.

En el modelo de corte ortogonal se cumple, ver Figura 2.5b:

$$\gamma + \phi + \beta + \alpha = 90^\circ \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

Para el proceso de corte ortogonal se debe considerar lo siguiente, ver Figura 2.5 y tablas 2.1 y 2.2:

- Espesor de la viruta antes del corte  $h_1$ .
- Espesor de la viruta después del corte  $h_2$ .
- Además de  $h_1$ , el corte ortogonal tiene una dimensión de anchura  $b$ .

Tabla 2.1. Parámetros que influyen en las operaciones de maquinado

Nº	Parámetro	Influencia
01	Velocidad de corte, profundidad y avance.	Fuerza, potencia, elevación de temperatura, vida de la herramienta, tipo de viruta, acabado superficial.
02	Ángulos de herramienta de corte	Fuerza, potencia, elevación de temperatura, vida de la herramienta, tipo de viruta, acabado superficial, resistencia al desgaste.
03	Viruta	Viruta continua, influye en potencia y fuerza estable; viruta discontinua, provoca vibraciones; viruta continua con acumulación en el borde, adhesión de material de trabajo en la cara de ataque de la herramienta de corte, la acumulación de material es cíclica.
04	Elevación de temperatura	Afecta la vida de la herramienta, en la precisión dimensional de la obra.
05	Desgaste de la herramienta	Afecta el acabado superficial, las dimensiones, la fuerza y la potencia.
06	Maquinabilidad	Se relaciona con la vida de la herramienta, el acabado superficial, el tipo de viruta, la fuerza y la potencia.

Tabla 2.2. Máquinas herramientas más comunes usadas para operaciones de maquinado

Nº	Operación	Máquina herramienta	Condiciones de corte
01	Taladrado	Taladro	La velocidad de corte lo da la broca y se elige en función del material de la herramienta de corte, en base a las características del material a mecanizar; el avance lo da la herramienta de corte y es igual a la penetración de la broca por vuelta.
02	Torneado	Torno	La velocidad de corte lo da el material de trabajo y se elige en función del material de la herramienta de corte, en base a las características del material a mecanizar; el avance lineal lo da la herramienta y corta en forma de un anillo por revolución, la profundidad es el espesor de viruta antes del arranque.
03	Fresado	Fresadora	La velocidad de corte lo da la fresa y se elige en función del material de la herramienta de corte, en base a las características del material a mecanizar; el avance lo da la el material de trabajo; la profundidad o espesor de viruta lo da la mesa de trabajo.

a. **Relación de corte (r):** Está definida como la relación de virutas  $h_1$  a  $h_2$ . También como la relación entre la longitud de viruta después del corte  $l_2$  y la longitud de viruta antes del corte  $l_1$ . Si se trata de un torneado, primero se mide el diámetro de la barra antes de mecanizar  $D_o$ . Lo cual se vuelve a medir después del mecanizado  $D_r$ , la semisuma  $(D_o + D_r)/2$  de estas medidas es el diámetro medio  $D_m$  que multiplicado  $(\pi \cdot D_m)$  y es igual a la longitud de la viruta antes del corte del material. Mientras que la longitud media de la viruta después del corte  $l_2$  se determina midiendo la longitud de bordes interior y exterior de la viruta de un anillo o avance por vuelta, siendo esta la semisuma de ambas longitudes de bordes. Ver Figura 2.2.a y ecuación (2.2). También la relación de corte está definida en función del ángulo de ataque  $\gamma$  y el ángulo del plano de corte  $\phi$ , ver ecuación (2.2\*). En el mecanizado de metales la relación de corte o grueso de viruta r siempre es menor que 1.

$$r = \frac{h_1}{h_2} = \frac{l_2}{l_1} \dots\dots\dots (2.2)$$

En la relación del espesor de viruta con el ángulo de ataque y el ángulo del plano de corte, se tiene en cuenta la longitud del plano de corte  $l_s$  (ver Figura 2.5 b) y resulta:

$$h_1 = l_s \times \text{sen}\phi$$

$$h_2 = l_s \times \text{cos}(\phi - \gamma)$$

Entonces, dividiendo  $h_1$  entre  $h_2$ :

$$r = h_1 / h_2 = (l_s \times \text{sen}\phi) / (l_s \times \text{cos}(\phi - \gamma)) = \text{sen}\phi / \text{cos}(\phi - \gamma) \dots\dots (2.2^*)$$

b. **Ángulo del plano de corte ( $\phi$ ):** Está definido como un arreglo matemático en función de la relación de corte y el ángulo de ataque, ver figuras 2.5 y 2.6; se determina con:

$$\tan \phi = (r \cos \gamma) / (1 - r \text{sen} \gamma) \dots\dots\dots (2.3)$$

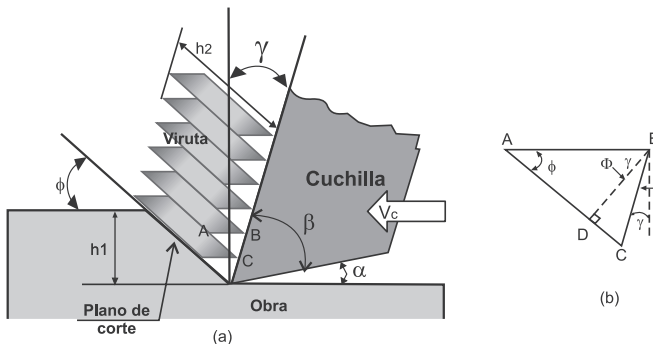


Figura 2.6. (a) Esquema de viruta en forma de placas que se deslizan por cizallamiento; (b) triángulo de deformación cortante.

c. **Deformación cortante ( $\gamma'$ ):** La deformación cortante está relacionada a los ángulos de planos de corte que forman cada placa de la viruta con el ángulo de ataque correspondiente que experimenta la deformación cortante mostrada en la Figura 2.6.a; se establece la relación de semejanza de triángulos ABC y ABD, esto se puede expresar como:

$$\gamma' = \frac{AC}{BD} = \frac{AD + DC}{BD} \dots\dots\dots (2.4)$$

La deformación cortante que se produce en el mecanizado se da en un diferencial de área; y en el proceso de corte la deformación real se encuentra entre (1 a 10) y la velocidad de deformación entre (0.1 a 100 m/s). La deformación cortante en metales está dada por:

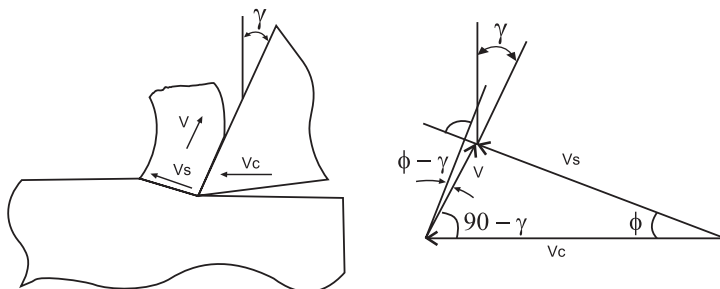
$$\gamma' = \tan(\varphi - \gamma) + \cot\varphi \dots\dots\dots (2.5)$$

d. **Velocidad en la zona de corte:** Con base en el diagrama de velocidades que se muestra en la Figura 2.7, en donde se puede establecer las relaciones geométricas - trigonométricas:

$$\frac{V_s}{\cos\gamma} = \frac{V}{\sin\varphi} = \frac{V_c}{\cos(\varphi - \gamma)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Haciendo un acomodo a esta ecuación resulta igual a la relación de corte r:

$$r = \frac{V}{V_c} = \frac{\sin\varphi}{\cos(\varphi - \gamma)} \dots\dots\dots (2.6^*)$$



**Figura 2.7.** Diagrama de velocidades en el proceso de corte.

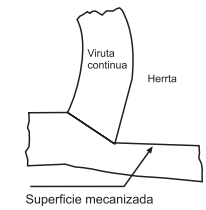
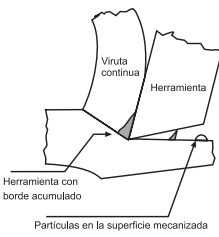
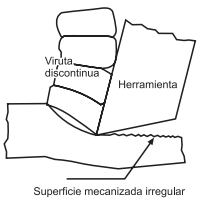
$V_c$ : Velocidad de corte, relativa entre la herramienta y el material de trabajo, debido al movimiento de corte.

$V_s$ : Velocidad de deslizamiento de la viruta respecto al material de trabajo.  
 $V$ : Velocidad de deslizamiento máximo a la que puede fluir la viruta respecto a la herramienta de corte.

## 2.6. FORMACIÓN DE VIRUTA

En el mecanizado del modelo ortogonal hay diferencias con el proceso de maquinado real, ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Tipos de formación de viruta y efectos que produce en la superficie

Nº	Tipos de viruta	Concepción y efectos	Formación de viruta
01	Viruta continua	El maquinado de materiales dúctiles con avances y profundidades pequeñas a velocidades altas, produce buen acabado superficial.	
02	Viruta de borde recredido	El maquinado de materiales dúctiles a velocidades bajas o medias, la fricción entre la herramienta y la viruta causa acumulación de material de trabajo en la cara de ataque de la herramienta, produciendo acabado superficial deficiente.	
03	Viruta discontinua	El maquinado de materiales frágiles a bajas velocidades de corte produce viruta discontinua; afectan el acabado superficial y provocan vibraciones.	

## 2.7. SECCIÓN VIRUTA (A)

Si el modelo de corte es ortogonal, se cumple tanto para el corte en la máquina herramienta cepilladora o cualquiera otra máquina tal como el torno y que el filo de la herramienta de corte esté definida como modelo para corte ortogonal, se cumple lo siguiente:

$$A = h_1 \times b = f \times d \quad \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

Si la posición de la herramienta es inclinada con un ángulo  $X$  en la colocación para el corte esto indica que dicho ángulo está formado por el filo de corte principal y el eje del husillo para el caso del torno y para mecanizados planos, ver Figura 2.8 y debe cumplirse:

$$h_1 = m / \text{sen}X \quad \dots \quad \text{corte ortogonal}$$

$$b = p \times \text{sen}X \quad \dots \quad \text{corte ortogonal}$$

$$f = m / \text{sen}X \quad \dots \quad \text{corte con el torno}$$

$$d = p \times \text{sen}X \quad \dots \quad \text{corte con torno}$$

Donde:

$f, h_1$  = Avance

$d, b$  = Profundidad de pasada

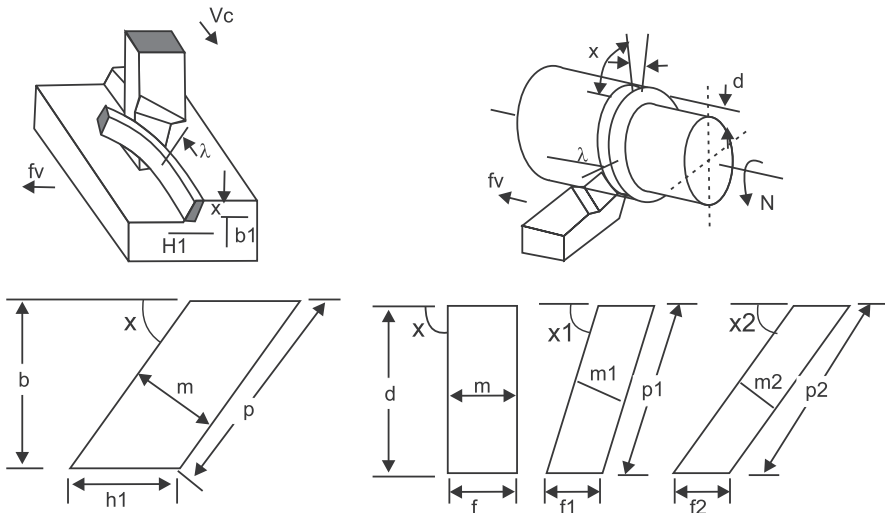


Figura 2.8. Sección de viruta en corte inclinado.

### 2.7.1. Formación real de viruta

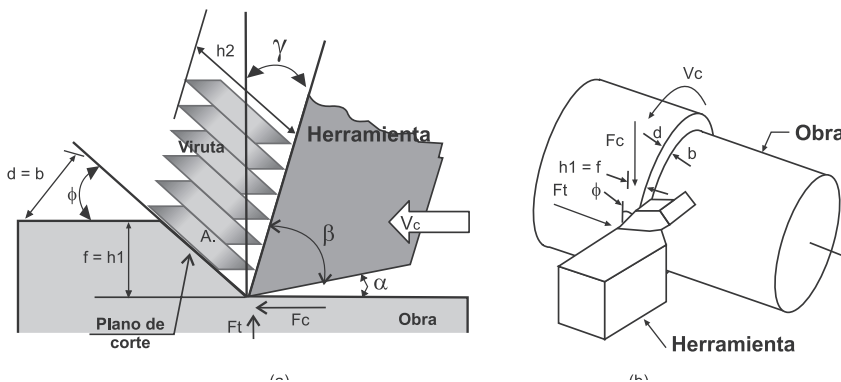
El material y la forma de la herramienta en el proceso de corte, producen diferentes formas de virutas. Los materiales dúctiles, como el cobre, el plomo, los aceros suaves dan virutas continuas largas más o menos rizadas; en cambio, la fundición de bronce, el latón con mucho cinc y, en general, los materiales quebradizos, originan virutas discontinuas, ver Tabla 2.4.

**Tabla 2.4. Tipos de virutas, teniendo en cuenta los materiales mecanizados**

Materiales	Virutas
Aceros suaves	
Aceros semiduros	
Aceros extraduros	
Fundición de bronce	
Aleación de aluminio	

## 2.8. SEMEJANZA DEL TORNEADO AL CORTE ORTOGONAL

La Figura 2.9 muestra la comparación y semejanza de una operación de torneado con el modelo de corte ortogonal, en este último el espesor de la viruta antes del corte está determinada por ( $h_1$ ) y la denominación en el torneado en el avance por vuelta ( $f$ ). El ancho de corte con el modelo ortogonal se conoce como ( $b$ ), en el torneado se le denomina profundidad ( $d$ ) de corte. La fuerza de empuje que se presenta en el modelo ortogonal y torneado se llama ( $F_t$ ), la velocidad de corte ( $V_c$ ) y fuerza de corte ( $F_c$ ) tienen igual denominación tanto en el modelo de corte ortogonal y torneado, respectivamente.



**Figura 2.9.** (a) modelo de corte ortogonal; (b) torneado.

## 2.9. PROBLEMAS RESUELTOS

**PROBLEMA 2.9.1.** El acero AISI4340, endurecido térmicamente, se torneá con herramienta de acero de alta velocidad (HSS). Con un ángulo de ataque igual a  $-6^\circ$ . El espesor de la viruta sin deformar es de 0.3 mm, la profundidad de corte es de 1.5 mm y la velocidad de corte es de 0.6 m/s. La viruta tiene forma helicoidal continua, una viruta de 1 m de longitud pesa 5.7 g; el ancho de la viruta permanece sin cambiar en 1.5 mm. Para estas condiciones se pide:

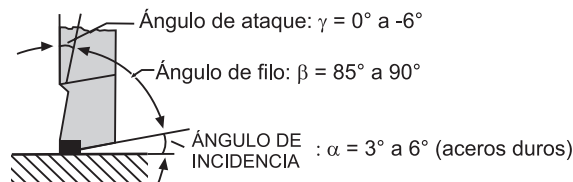
- 2.9.1.1 Representar en un esquema simple colocando toda la información correspondiente a la herramienta para el caso del modelo ortogonal y la operación del torneado.
- 2.9.1.2 Determine la razón del espesor de la viruta.
- 2.9.1.3 Si en el corte del acero la viruta forma un ángulo recto con la superficie mecanizada, una repetición de los cálculos demuestra que  $r_c=0.5$  ¿Cuál es el nuevo ángulo del plano de corte?
- 2.9.1.4 Para el caso de la pregunta (2.9.1.3), calcular la velocidad de la viruta.

### Solución:

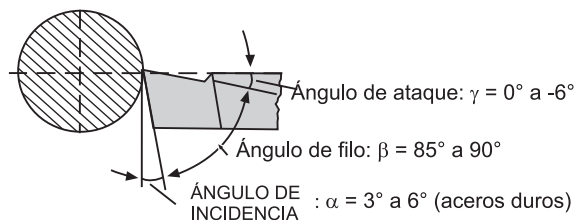
**Solución 2.9.1.1:** Esquema simple colocando toda la información, solo de la herramienta de corte para el modelo ortogonal y la operación de torneado. Para resolver se debe hacer uso del siguiente concepto (ec. 2.1):

$$\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ$$

Con lo que resulta la siguiente información:



(a) Corte ortogonal



(b) Torneado



**Solución 2.9.1.2:** La razón del espesor o grueso de la viruta:

El concepto está dado por (ec. 2.2):  $r = h_1/h_2$  y utilizar la Figura 2.6 (b).

También:

Densidad = Masa/Volumen

Densidad del acero es:  $d_{\text{acero}} = 7.9 \text{ g/cm}^3$

$m = 7.11 \text{ g. (dato)}$

Luego:

$$\text{Vol} = 7.11/7.9 = 0.90 \text{ cm}^3$$

Ahora:  $\text{Vol} = h_c(100 \text{ cm})(0.15 \text{ cm})$

$$\rightarrow h_c(15 \text{ cm}^2) = 0.90 \text{ cm}^3 \rightarrow h_c = 0.06 \text{ cm} = 0.60 \text{ mm}$$

Por lo tanto tendremos:

$$r = h/h_c = 0.30/0.60 = 0.5$$

**Solución 2.9.1.3:** Si en el corte del acero la viruta forma un ángulo recto con la superficie mecanizada, una repetición de los cálculos demuestra que  $r=0.6$  ¿Cuál es el nuevo ángulo del plano de corte?

Cálculo de los ángulos de corte:

Para  $r = 0.60$

Sabemos que (ec. 2.3):  $\tan\varphi = (r \cdot \cos\gamma)/(1 - r \cdot \text{sen}\gamma)$

Cuando:  $\gamma = -6^\circ$

Entonces tendríamos:  $\tan\varphi = (0.50 \times \cos -6^\circ)/(1 - 0.50 \times \text{sen} -6^\circ) = 0.473 \rightarrow \varphi = 25.294^\circ$

Ahora para  $r = 0.6$

Si la viruta forma un ángulo recto con la superficie mecanizada, entonces el ángulo de ataque  $\gamma = 0^\circ$

$$\tan\Phi = (0.6 \times \cos 0^\circ)/(1 - 0.5 \times \text{sen} 0^\circ) = 0.6 \rightarrow \varphi = 30.964^\circ$$

**Solución 2.9.1.4:** Calcular la velocidad de la viruta de la pregunta (2.1.3). Utilizando el concepto y teniendo en cuenta dos posiciones del ángulo del plano de corte:

$$r = V/V_c = \text{sen}\varphi / \cos(\varphi - \gamma)$$

Velocidad de corte:  $V_c = 0.6$  m/s ..... (dato)

$V = 0.5 \times 0.6 = 0.30$  m/s ..... para el primer caso

$V = 0.6 \times 0.6 = 0.36$  m/s ..... para el segundo caso

El cambio de las dimensiones de la viruta es acompañada por disminución en la velocidad de la viruta.

**PROBLEMA 2.9.2.** Una operación de corte aproximado al modelo ortogonal se realiza a un material metálico suave, usando un ángulo de ataque igual a  $15^\circ$ , el espesor de la viruta antes del corte es de 0.012 pul y ancho de corte 0.1 pul. La relación de espesor de la viruta medida después del corte es de 0.55. Realice lo siguiente:

2.9.2.1 Muestre un esquema con los elementos y valores que conforman el modelo.

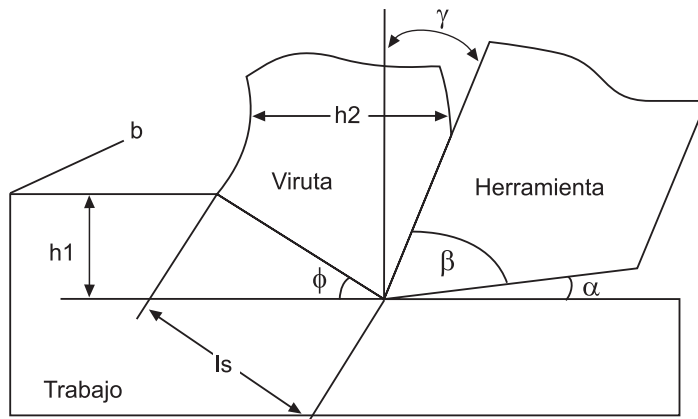
2.9.2.2 Determine el espesor de la viruta después del corte.

2.9.2.3 Determine el ángulo del plano de corte.

2.9.2.4 Determine la deformación cortante.

### Solución

**Solución 2.9.2.1:** Esquema con los elementos y valores que conforman el modelo aproximado al corte ortogonal.



- Ángulo de ataque:  $\gamma = 8^\circ$  a  $20^\circ$
- Ángulo del filo de la herramienta:  $\beta = 60^\circ$  a  $76^\circ$ .
- Ángulo del claro o de incidencia:  $\alpha = 8^\circ$  a  $12^\circ$  (materiales blandos en los que el rozamiento es mayor).

- Longitud del plano de corte:  $l_s$
- Ángulo del plano de corte:  $\emptyset$ .
- Espesor de la viruta antes del corte:  $h_1 = 0.012$  pul.
- Espesor de la viruta después del corte:  $h_2$
- Ancho de la viruta:  $b = 0.1$  pul

En este modelo se cumple la ecuación (2.1)

$$\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ$$

**Solución 2.9.2.2:** El espesor de la viruta después del corte ( $h_2$ ), está dado por la ecuación (2.2)  $r = h_1/h_2$ , a esta ecuación también se le conoce como factor de recalcado:

$$0.55 = 0.012/h_2$$

$$h_2 = 0.0218 \text{ pul.} \quad \dots\dots\dots \text{ (Respuesta)}$$

**Solución 2.9.2.3:** Determine el ángulo del plano de corte:

El ángulo del plano de corte está dado por la ecuación (2.3):

$$\tan\Phi = (r \cdot \cos\gamma)/(1 - r \cdot \text{sen}\gamma)$$

Reemplazando datos:

$$\gamma = 15^\circ$$

$$r = 0.55$$

$$\tan\Phi = (55 \times \text{Cos}15^\circ)/(1 - 0.55 \times \text{sen}15^\circ) = 0.61944$$

$$\varphi = 31.78^\circ \quad \dots\dots\dots \text{ (Respuesta)}$$

**Solución 2.9.2.4:** Determine la deformación cortante.

La deformación cortante está definida por la ecuación (2.5)

$$\gamma' = \tan(\varphi - \gamma) + \cot\varphi$$

Reemplazando datos:

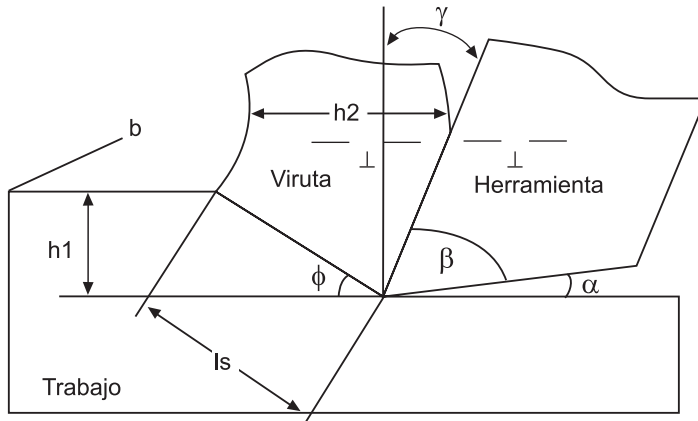
$$\gamma' = \tan(31.78^\circ - 15^\circ) + \cot31.78$$

$$\gamma' = 1.97 \dots\dots\dots \text{ (Respuesta)}$$

**PROBLEMA 2.9.3.** Demuestre las fórmulas del corte ortogonal.

**2.9.3.1: Relación del grueso de la viruta:**

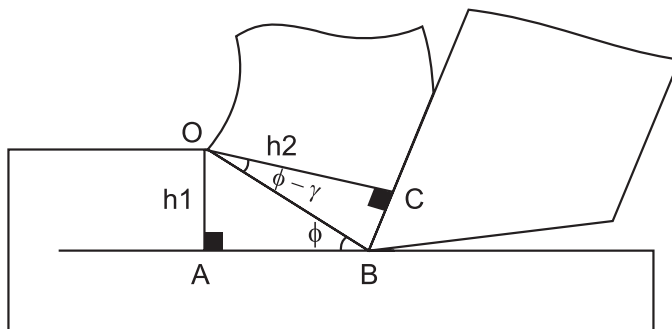
Hagamos el esquema del corte ortogonal:



Donde:

- $h_1$ : Espesor de la viruta antes del corte
- $h_2$ : Espesor de la viruta después de su formación
- $ls$ : Longitud del plano de corte
- $\gamma$ : Ángulo de ataque de la herramienta
- $\varphi$ : Ángulo del plano de corte
- $r$ : Relación del grueso de viruta

En la figura adjunta, de O trazamos  $\overline{OA} \perp \overline{AB}$  y  $\overline{OC} \perp \overline{BC}$



Completamos ángulos y observamos que:

$$\overline{OA} = h_1 = l_s \cdot \text{sen}\varphi$$

$$\overline{OC} = h_2 = l_s \cdot \text{cos}(\varphi - \gamma)$$

Por definición:

$$r = h_1 / h_2 = (l_s \times \text{sen}\varphi) / (l_s \times \text{cos}(\varphi - \gamma)) = \text{sen}\varphi / \text{cos}(\varphi - \gamma)$$

$$r = \text{sen}\varphi / \text{cos}(\varphi - \gamma) \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Respuesta})$$

### 2.9.3.2 Ángulo del plano de corte

De la relación anterior y resolviendo la ecuación trigonométrica:

$$r = \text{sen}\vartheta / \text{cos}(\vartheta - \gamma) = \text{sen}\vartheta / (\text{cos}\vartheta \cdot \text{cos}\gamma + \text{sen}\vartheta \cdot \text{sen}\gamma)$$

Luego:

$$r = (\text{sen}\vartheta / \text{cos}\vartheta) / (\text{cos}\gamma + (\text{sen}\vartheta \cdot \text{sen}\gamma / \text{cos}\vartheta))$$

Resultando:

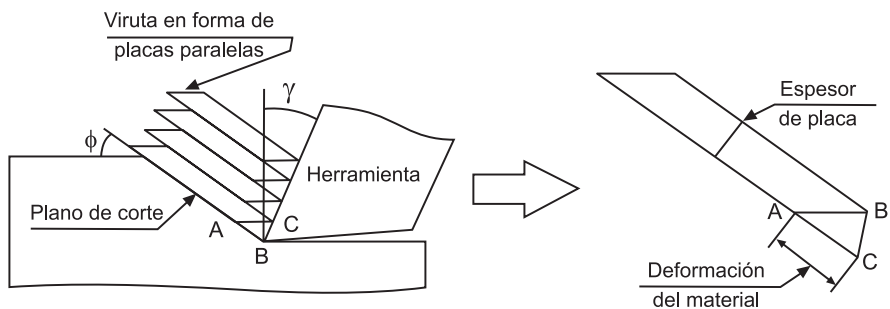
$$r \cdot \text{cos}\gamma + r \cdot \text{tan}\vartheta \cdot \text{sen}\gamma = \text{tan}\vartheta$$

Ordenando:

$$\text{Tan}\vartheta = r \cdot \text{cos}\gamma / (1 - r \cdot \text{sen}\gamma) \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Respuesta})$$

### 2.9.3.3 Problema (deformación cortante):

Para demostrar la expresión matemática de la deformación cortante consideramos la formación de viruta representada como una serie de placas deslizándose una con respecto a la otra. Se toma una placa aislada para ilustrar el triángulo de deformación cortante, el cual se usa para demostrar la expresión.



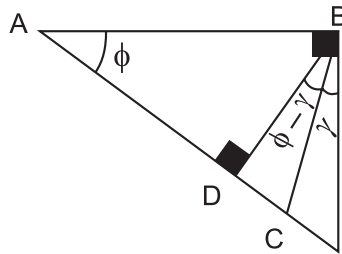
Donde:

$\varphi$ : Ángulo del plano de corte

$\gamma$ : Ángulo de ataque de la herramienta

$\gamma'$ : Deformación cortante

Por definición:



Por semejanza de triángulos:

$$\gamma' = AC/BD = (AD + DC)/BD = AD/BD + DC/BD$$

Utilizando las funciones trigonométricas

$$\gamma' = \tan(\varphi - \gamma) + \cot\varphi \quad \dots\dots\dots \text{(Respuesta)}$$

**PROBLEMA 2.9.4.** Se va a mecanizar con un torno mecánico a un eje de 100 mm de diámetro en toda su longitud, utilizando la aproximación al corte ortogonal, bajando la medida del diámetro en una pasada a 95 mm, la longitud media de la viruta es de 98 mm, el ángulo de ataque es de  $12^\circ$ , para el proceso de corte se utiliza un avance por vuelta de 0.25 mm. Para estas condiciones se pide desarrollar lo siguiente:

- 2.9.4.1 Representar en un esquema o esquemas simples colocando toda la información correspondiente a la herramienta para el caso del modelo ortogonal, comparando la operación del torneado con aproximación al corte ortogonal.
- 2.9.4.2 Determinar la razón del espesor de la viruta o recalcado.
- 2.9.4.3 Calcular el ángulo del plano de corte.
- 2.9.4.4 Determinar la deformación cortante.

### Solución

**Solución 2.9.4.1.** Los esquemas simples de la Figura 2.10 muestran las informaciones de la operación de torneado y el proceso de mecanizado para el modelo de corte ortogonal.

**Solución 2.9.4.2.** El concepto de relación de viruta o recalcado está dado por la ecuación:

$$r = h_1/h_2 = l_2/l_1$$

Donde:

Espesor de viruta antes del corte:  $h_1 = 0.25$

Espesor de viruta después del corte:  $h_2$

Longitud media de la viruta después del corte:  $l_2 = 98$

Longitud media de la viruta antes del corte:  $l_1 = \pi D_m = \pi \times (100+95)/2 = 97.5 \times \pi$

$$h_2 = (97.5 \times \pi / 98) \times 0.25 = 0.78$$

Reemplazando en la ecuación:

$$r = 0.25 / 0.78 = 0.32 \quad \dots \dots \dots \text{(Respuesta)}$$

**Solución 2.9.4.3.** El ángulo del plano de corte está dado por:

$$\text{Tan}\varnothing = r \cdot \cos\gamma / (1 - r \cdot \text{sen}\gamma)$$

Donde:

Razón de corte:  $r = 0.32$

Ángulo de ataque:  $\gamma = 12^\circ$

$$\text{tan}\varnothing = (0.32 \times \cos 12^\circ) / (1 - 0.32 \times \text{sen} 12^\circ) = 0.335$$

$$\varnothing = 18.54^\circ \quad \dots \dots \dots \text{(Respuesta)}$$

**Solución 2.9.4.4.** La deformación cortante está dada por:

$$\gamma' = \tan(\varphi - \gamma) + \cot\varphi$$

$$\gamma' = \tan(18.54^\circ - 12^\circ) + \cot 18.54^\circ = 3.096 \quad \dots \dots \text{(Respuesta)}$$

## 2.10 PROBLEMAS PROPUESTOS

**PROBLEMA 2.10.1.** Demostrar que para el mismo ángulo del plano de corte, hay dos ángulos de ataque que dan la misma relación de corte.

**PROBLEMA 2.10.2.** Realice ensayos de formación de viruta en una barra de jabón, utilizando un cuchillo afilado, mantenga constante la profundidad del corte y sostenga el cuchillo a distintos ángulos que le permita simular el ángulo de

ataque de la herramienta de corte. Haciendo la diferenciación entre el modelo ortogonal y el corte oblicuo. Para estas condiciones se pide enumerar las diferencias del tipo de virutas producidas y qué efectos se da en el cuchillo.

**PROBLEMA 2.10.11.** Realice esquemas de corte ortogonal considerando: ángulo de ataque positivo, ángulo de ataque igual a cero (sin ángulo de ataque) y ángulo de ataque negativo. Para estas condiciones, en cada esquema identifique los ángulos de corte y los espesores de viruta. Discuta las diferencias existentes.