

# AAU

AMERICAN ANDRAGOGY  
UNIVERSITY





# PROCESOS DE MANUFACTURA

## **En ingeniería industrial**

..se transformen elementos fundamentales materia, energía e información y que a partir de la relación de estos, en mayor proporción de materia y energía, origine un producto tangible...

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
UNIDAD UNO: INTRODUCCION A LOS PROCESOS DE MANUFACTURA .....	3
CAPITULO PRIMERO: RECONOCIENDO PRE-SABERES.....	3
LECCION 1. PROCESOS Y MANUFACTURA.....	3
LECCION 2. PROCESO ADMINISTRATIVO Y PROCESO DE MANUFACTURA .....	4
1 Planeación .....	5
2 Integración .....	5
3 Organización.....	5
4 Dirección.....	5
5 Control .....	5
LECCION 3. EL PRODUCTO EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA.....	7
1. DISEÑO DE PRODUCTO.....	7
1.1. PRODUCTO .....	7
1.1.1 DISEÑO DE PRODUCTO .....	8
LECCION 4. PROCESOS DE MANUFACTURA .....	9
1.2.1. Procesos .....	9
1.2.1.1 Estructura de un proceso .....	10
1.2.1.2 Representación gráfica de un proceso industrial.....	11
1.3. DEFINICIÓN .....	11
LECCION 5. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA.....	11
CAPÍTULO SEGUNDO: MATERIALES DE FABRICACIÓN .....	14
LECCION 6. NATURALEZA DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN.....	14
1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES .....	14
1.3.1 Metales Ferrosos .....	15
1.3.2 Metales no Ferrosos.....	15
1.3.3 Materiales no Metálicos de origen Orgánico .....	16
1.3.4 Materiales no Metálicos de origen Inorgánico.....	16
LECCION 7. PROPIEDADES DE LOS METALES.....	17
1.3.5 Estructura atómica de los metales .....	17
1.3.6 Grano de las estructuras metálicas.....	18
1.3.7 Solidificación y aleación de los metales, diagrama HHC.....	19
1.3.8 Hierros y aceros .....	21
1.3.9 Propiedades físicas de los metales.....	22
1.3.9.1 La Resistencia a la tensión .....	22
1.3.9.2 La dureza.....	23
LECCION 8. PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO .....	25
1.3.10 El alto horno .....	27
1.3.11 Reducción directa del mineral de hierro.....	28
1.3.12 Procesos de producción de hierro y acero .....	28
1.3.13 Producción de objetos por rolado .....	29
1.3.14 Producción de objetos por colada continua.....	29

1.3.15	Nomenclatura de los aceros .....	30
LECCION 9. METALES NO FERROSOS.....		30
1.3.16	Extracción .....	31
1.3.17	Refinado o concentrado, también conocido como preparación .....	32
1.3.18	Fusión.....	32
1.3.19	Afinado .....	32
LECCION 10. LOS MATERIALES PLÁSTICOS.....		33
1.3.20	Polímeros.....	33
1.3.21	Los Plásticos .....	33
1.3.22	CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS:.....	33
1.3.22.1	Termoestables.....	35
1.3.22.2	Termoplásticos .....	35
CAPÍTULO TERCERO: CORTE DE MATERIALES Y FUNDAMENTOS DE MAQUINAS HERRAMIENTAS.....		37
LECCION 11. REMOCIÓN DE MATERIAL Y TEORÍA DE CORTE.....		37
3.1.1	PARÁMETROS DE TRABAJO .....	38
3.1.2	FLUIDOS EN EL CORTE .....	41
3.1.2.1	REFRIGERANTES.....	41
3.1.2.2	Lubricantes .....	42
3.1.2.3	Métodos de aplicación de los fluidos de corte .....	42
LECCION 12. HERRAMIENTAS DE CORTE .....		43
3.1.3	Fuerzas de corte .....	44
3.1.4	Filos de la herramienta.....	47
3.1.5	Vida de la herramienta de corte.....	51
LECCION 13. Propiedades de Materiales Para Herramientas.....		54
3.1.6	Geometría De Las Herramientas De Corte.....	55
LECCION 14. FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS .....		56
3.1.7	PARTES BÁSICAS DE UNA MÁQUINA HERRAMIENTA.....	56
3.1.8	Elementos de sujeción .....	58
3.1.9	Movimientos en las máquinas herramienta .....	59
3.1.9.1	Movimiento principal .....	61
3.1.9.2	Movimiento de avance.....	61
3.1.9.3	Movimiento de penetración .....	61
3.1.10	Dispositivos para el trabajo manual.....	62
LECCION 15. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS.....		63
UNIDAD DOS: PROCESOS DE CONFIGURACIÓN.....		64
CAPÍTULO PRIMERO: PROCESOS DE MAQUINADO DE MATERIALES.....		64
LECCION 16. OPERACIONES DE TORNEADO .....		64
1.1.1	TORNEADO .....	64
1.1.2	Principales Características de los Tornos.....	65
1.1.3	PARÁMETROS DEL TRABAJO DE TORNEADO.....	66
1.1.4	RAPIDEZ DE REMOCIÓN DEL MATERIAL Y TIEMPO DE CORTE.....	67
1.1.5	VELOCIDAD DE CORTE .....	67
1.1.6	OPERACIONES DE TORNEADO.....	70

1.1.7	TIPOS DE TRABAJOS EN TORNO .....	72
1.1.8	TERMINADO DE PIEZAS .....	72
1.1.9	TIPOS DE TORNOS .....	72
1.1.10	PRODUCCIÓN EN TORNO .....	73
1.1.10.1	Plan de Trabajo .....	73
1.1.10.2	Plano de taller.....	74
1.1.10.3	Tiempos de operación.....	74
1.1.10.4	Ejemplo de un Plan de Trabajo.....	75
1.1.10.5	Ejercicio de un plan de trabajo.....	76
1.1.11	TEORÍA DE LA PRODUCTIVIDAD EN TORNEADO .....	77
LECCION 17.	OPERACIONES DE FRESADO .....	78
1.1.12	CLASES DE MÁQUINAS FRESADORAS.....	79
1.1.13	TIPOS DE HERRAMIENTAS FRESA.....	80
1.1.14	TRABAJOS EN MÁQUINAS FRESADORAS .....	80
1.1.15	PRODUCCIÓN EN MÁQUINAS FRESADORAS .....	81
1.1.16	PLAN DE TRABAJO PARA FRESADO .....	84
LECCION 18.	OPERACIONES DE TALADRADO .....	86
1.1.17	DIVERSOS TIPOS DE TALADROS .....	88
1.1.18	PARTES DE UNA BROCA .....	88
1.1.19	TIPOS DE BROCAS ESPECIALES .....	90
1.1.20	TIPOS DE TRABAJOS DE TALADRADO .....	91
1.1.20.1	Barrenado .....	91
1.1.20.2	Avellanado.....	91
1.1.20.3	Escariado.....	91
1.1.21	PROGRAMA DE TRABAJO PARA TALADRADO .....	92
LECCION 19.	OPERACIONES DE CEPILLADO .....	93
1.1.22	PRODUCCIÓN EN UNA CEPILLADORA .....	97
1.1.23	EJERCICIO .....	99
LECCION 20.	OPERACIONES DE ASERRADO .....	99
CAPÍTULO SEGUNDO: PROCESOS POR CONFIGURACIÓN MECÁNICA .....		103
LECCION 21.	EMBUTIDO PROFUNDO.....	103
2.1.1	HERRAMIENTAS DE EMBUTIDO.....	104
2.1.2	PROCESO DE EMBUTICION .....	104
2.1.3	DETERMINACION DE LA PIEZA RECORTADA Y SUCESION DE FASES. ....	105
2.1.4	TIPOS DE HERRAMIENTAS DE EMBUTIDO .....	106
2.1.4.1	Herramienta de Embutido de Acción Simple. ....	106
2.1.4.2	Herramientas de Embutido de Doble Acción .....	107
2.1.4.3	Herramienta de Embutido Telescópico.....	107
2.1.4.4	Herramientas de Embutido Inverso .....	108
2.1.5	Recalcado o Repujado en torno .....	109
2.1.6	Límites del Embutido .....	109
2.1.7	Ejemplo de Aplicación.....	110
2.1.8	Determinación de la fuerza necesaria y numero de etapas de embutido para una copa cilíndrica	111

2.1.8.1	EJEMPLO .....	112
	LECCION 22. LAMINADO.....	113
	LECCION 23. FORJADO .....	116
2.2.1	FORJADO DE HERRERO .....	117
2.2.2	FORJADO CON MARTINETE.....	119
2.2.3	FORJADO POR RECALCADO .....	119
2.2.4	FORJADO EN PRENSA.....	120
	LECCION 24. EXTRUSION .....	120
2.3.1	PRENSA DE EXTRUSIÓN DIRECTA .....	122
2.3.2	PRENSA DE EXTRUSIÓN INVERTIDA .....	122
2.3.3	DADOS DE EXTRUSION.....	123
	LECCION 25. TREFILADO Ó ESTIRADO DE ALAMBRE .....	124
	CAPÍTULO TERCERO: PROCESOS POR CONFIGURACIÓN TÉRMICA Y MATERIALES PLÁSTICOS .....	125
	LECCION 26. PULVIMETALURGIA .....	125
3.1.1	PRODUCCIÓN DE POLVOS METÁLICOS.....	126
3.1.2	MÉTODOS PARA PRODUCIR POLVOS METÁLICOS .....	127
3.1.2.1	POLVOS PRE ALEADOS .....	128
3.1.2.2	POLVOS RECUBIERTOS .....	129
3.1.3	CONFORMACIÓN .....	129
3.1.4	EXTRUSIÓN.....	130
3.1.5	SINTERIZADO .....	130
3.1.6	VENTAJAS .....	131
3.1.7	LIMITACIONES .....	131
	LECCION 27. OPERACIONES POR SOLDADURA.....	132
3.2.1	SOLDADURA BLANDA .....	133
3.2.2	SOLDADURA FUERTE .....	133
3.2.3	SOLDADURA POR ARCO.....	134
3.2.4	Componentes de un evento de soldadura .....	135
3.2.5	Propiedades .....	136
3.2.6	Soldadura TIG.....	138
3.2.7	Soldadura por Electrodo Consumible Protegido .....	140
3.2.8	Soldadura por Arco Sumergido .....	142
3.2.9	SOLDADURA POR FORJA .....	144
3.2.10	SOLDADURA A GAS.....	144
3.2.11	SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	146
3.2.12	Soldadura por puntos.....	146
3.2.13	Soldadura por resaltes.....	147
3.2.14	Soldadura por costura .....	147
3.2.15	Soldadura a tope .....	148
3.2.16	SOLDADURA POR INDUCCIÓN.....	148
	LECCION 28. OPERACIONES CON MATERIALES PLÁSTICOS.....	149
3.3.1	Fabricación de material plástico.....	149
	LECCION 29. PROCESOS TECNOLÓGICOS CON MATERIALES PLÁSTICOS .....	150

3.3.2. MOLDEO POR INYECCIÓN.....	151
3.3.2.1. Principio del moldeo.....	153
3.3.2.2. Partes esenciales de una inyectora.....	153
3.1.7.1 PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	154
3.3.2.3. Extrusores de un usillo .....	154
3.3.2.4. Fusión del polímero.....	155
3.3.2.5. El dado .....	156
3.3.3. PROCESO DE SOPLADO .....	157
3.3.3.1. Extrusión para Soplado .....	157
3.3.3.2. La inyección - soplado .....	158
3.3.3.2.1. Aplicaciones.....	158
3.3.3.2.1.1. Empaquetado .....	159
3.3.3.2.1.2. Construcción.....	159
3.3.3.2.1.3. Otras aplicaciones .....	159
3.3.3.3. Salud y riesgos para el entorno .....	160
LECCION 30. SOLDADURA CON ARCO - MEDIDAS DE SEGURIDAD .....	161
BIBLIOGRAFÍA.....	162

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Criterios con finalidad de orden económico.....	4
Tabla 2 Criterios con finalidad de efectividad productiva.....	5
Tabla 3 Clasificación de los procesos de manufactura.....	12
Tabla 4 Clasificación de los materiales de trabajo.....	14
Tabla 5 Propiedades físicas de metales. ....	25
Tabla 6 Clasificación de los materiales plásticos.....	34
Tabla 7 Factores que influyen en el proceso de corte.....	40
Tabla 8 Ángulos y materiales de herramientas de corte.....	48
Tabla 9 Características y utilización de herramientas dependiendo de su material.....	49
Tabla 10 Algunos buriles y cuchillas.....	51
Tabla 11 Principales partes de una máquina herramienta y sus funciones.....	56
Tabla 12 Dispositivos manuales en las máquinas.....	62
Tabla 13 Resumen de las principales máquinas-herramientas y sus movimientos.....	63
Tabla 14 Principales características de los tornos.....	65
Tabla 15 Velocidades de corte típicas, ángulos de corte y avances recomendados.....	69
Tabla 16 Diferentes tipos de acabado de superficies.....	72
Tabla 17 Relación de las operaciones, herramientas, y tiempos del proceso.....	76
Tabla 18 Clasificación de las máquinas fresadoras.....	80
Tabla 19 Factores de trabajo en procesos de fresado.....	82
Tabla 20 Cantidad de viruta admisible en una fresadora (cm <sup>3</sup> /kw min).....	83
Tabla 21 Factores en procesos de fresado.....	85
Tabla 22 Velocidades de corte y avance recomendados para barrenas con dientes en espiral.....	92
Tabla 23 Velocidades de corte y avance para brocas de acero rápido (SS).....	93
Tabla 24 Para determinar la velocidad de corte (m/min).....	98
Tabla 25 Elección de dobles carreras.....	98
Tabla 26 Manufacturas con materiales plásticos.....	150

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1 Confluencia de proceso administrativo, servicios y transformación en planta. ....	6
Figura 2 Representación gráfica de un proceso industrial.....	11
Figura 3 Estructuras atómicas de algunos metales .....	18
Figura 4 Microscopio para la medición de grano en un metal .....	19
Figura 5 Diagrama hierro – hierro – carbono: HHC .....	20
Figura 6 Técnicas en pruebas de algunas propiedades físicas de los metales. ....	24
Figura 7 Fusión primaria del hierro .....	26
Figura 8 Alto horno.....	27
Figura 9 Diferentes formas de producir hierro y acero .....	29
Figura 10 Procesos de remoción de material .....	37
Figura 11 Componentes de la Fuerza resultante Fr .....	44
Figura 12 Superficies y ángulos de corte .....	46
Figura 13 Superficies y fuerzas de corte.....	46
Figura 14 Oposición y no oposición de la herramienta de corte.....	53
Figura 15 Desgaste de herramientas de corte .....	53
Figura 16 Partes importantes de una herramienta monofilo (buril).....	55
Figura 17 Movimientos en las máquinas herramienta .....	60
Figura 18 Elementos del proceso de torneado .....	64
Figura 19 Partes principales del torno mecánico .....	65
Figura 20 Operaciones de torneado exterior e interior .....	70
Figura 21 Esquema de los tipos de acabados exteriores que se pueden obtener del proceso de torneado .....	71
Figura 22 Relación de costos de herramienta en un proceso de manufactura .....	78
Figura 23 Fresados según cara del corte .....	81
Figura 24 Ranurado .....	82
Figura 25 Plano de Taller .....	84
Figura 26 Broca, herramienta de corte para taladrado .....	89
Figura 27 Partes de la broca .....	89
Figura 28 Brocas avellanadoras.....	91
Figura 29 Brocas escariadoras .....	91
Figura 30 Mecanismo Cepilladora de codo.....	95
Figura 31 Movimientos en la Cepilladora.....	95
Figura 32 Características de las hojas de Sierra de corte .....	101
Figura 33 Modelos de triscado .....	102

Figura 34 Embutido .....	103
Figura 35 Proceso de embutido .....	107
Figura 36 Laminado .....	113
Figura 37 Tipos de molinos laminadores. ....	114
Figura 38 Propuesta de apoyo de Sendzimir .....	115
Figura 39 Martillo para forja por caída libre .....	118
Figura 40 Prensa para Forja .....	120
Figura 41 Métodos de extrusión.....	121
Figura 42 (a)Dado, (b)Resultado de la extrusión .....	123
Figura 43 Proceso de Hooker de impacto para tubos. ....	124
Figura 44 Elementos del Proceso de Trefilado .....	125
Figura 45 Diagrama de una Máquina continua de Trefilado .....	125

## INTRODUCCIÓN

En un esfuerzo por conciliar diferentes enfoques metodológicos como de contenidos, el presente documento presenta de forma simplificada un conjunto de temáticas, de un vasto universo que comprenden los procesos de manufacturas, donde converge la gestión de empresas con los procedimientos industriales de fabricación.

Este curso tiene como propósito general, brindar a los estudiantes del programa de ingeniería industrial, los fundamentos de los procesos de manufactura, generando en ellos la capacidad para seleccionar y aplicar procesos de este tipo con el fin de obtener productos de calidad.

El acercamiento de las diversas expresiones de la educación a distancia ha llevado a introducir en este módulo, la necesidad de explorar en los saberes preliminares con que dispone el estudiante antes de abordar la temática propia del curso. De esta forma, el módulo propone primero una introducción metodológica antes de abordar las dos unidades que le integran, donde se hace una recordación de aquellos elementos con que debería contar el estudiante de antemano; en este aparte, se requerirá de un esfuerzo de análisis y de síntesis, a fin de construir una definición de lo que son propiamente los procesos de manufactura, así como dejar planteado a priori una visión de clasificación de los mismos.

Acorde con la categoría del curso al contener dos créditos académicos, sus contenidos se organizan en dos unidades temáticas. La primera unidad denominada Conceptos Básicos, Materiales y Procesos de Maquinado, inicia con los conceptos básicos de procesos, procesos de manufactura, clasificaciones, máquinas-herramientas, principios de corte y maquinado, y características de operaciones como torneado, fresado, taladrado, entre otros.

Así mismo la segunda unidad denominada Procesos por Deformación Forzada, comprende los procesos de deformación mecánica y de deformación térmica; entre ellos se incluyen operaciones con deformación en frío, la soldadura en sus diferentes técnicas, y la conformación con materiales sintéticos. Se destacan los contenidos de procesos como embutido, trefilado, extrusión, aspectos básicos de soldadura, tipos de soldadura.

En la forma de presentar una cantidad de información compilada mediante el uso de tablas y gráficas, requiere de un especial esfuerzo por parte del estudiante, ya que estos recursos gráficos y en particular los compendios en tablas informativas plantea observaciones y análisis detallados.

Se entregan ejercicios aplicativos al final de algunos temas de interés con el propósito de que el estudiante proyecte aplicaciones de orden práctico, que se derivan y refuercen contenidos apreñados. Es a través de estos componentes prácticos donde el curso es finalmente apropiado y el conocimiento transferido; relacionando los factores fundamentales que intervienen en los procesos de manufactura como materiales, mano de obra, máquinas-herramientas y costos, en el terreno de la proyección de industrias.

## UNIDAD UNO: INTRODUCCION A LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

### CAPITULO PRIMERO: RECONOCIENDO PRE-SABERES

#### LECCION 1. PROCESOS Y MANUFACTURA

Empecemos definiendo los dos principales términos, para luego ver como se relacionan entre sí para formar un nuevo concepto:

**PROCESO** "Proceso es el conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado". En la ingeniería industrial el concepto de proceso adquiere gran importancia, debido la práctica en esta carrera, que requiere: PLANEAR, INTEGRAR, ORGANIZAR, DIRIGIR Y CONTROLAR. Estas actividades permiten al Ingeniero Industrial lograr sus objetivos en el ejercicio de su profesión.

El ingeniero industrial debe considerar a los procesos de producción como una herramienta para:

- El diseño y definición de planes, programas y proyectos
- El diseño, integración, organización, dirección y control de sistemas
- La optimización del trabajo
- La evaluación de resultados Establecimiento de normas de calidad
- El aumento y control de la eficiencia.

**MANUFACTURA:** "Obra hecha a mano o con el auxilio de máquina.// 2. Lugar donde se fabrica" (diccionario de la lengua española de la real academia de la lengua).

El ingeniero industrial observa a la 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. Conjugando, definimos como: Conjunto de

actividades organizadas y programadas para la transformación de materiales, objetos o servicios en artículos o servicios útiles para la sociedad.

En ingeniería industrial, es necesario delimitar la definición de proceso industrial al evento que sucede siempre que existan y se transformen elementos fundamentales<sup>1</sup> materia, energía e información y que a partir de la relación de estos, en mayor proporción de materia y energía, origine un producto tangible y no un servicio; esto implica que los procesos industriales se dan en las empresas de manufactura y no en las de servicio.

## LECCION 2. PROCESO ADMINISTRATIVO Y PROCESO DE MANUFACTURA

Las dos tablas siguientes resumen conceptos y definiciones a tenerse en cuenta; obsérvelos y analice extractando las relaciones allí planteadas.

### **Criterios para la producción económica con finalidad de beneficio económico.**

La tabla 1 resume los criterios que deben cumplir los factores productivos: costos, rentabilidad y calidad:

Tabla 1 Criterios con finalidad de orden económico

<b>Costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceptables</li> <li>• Competitivos</li> </ul>
<b>Rentabilidad</b>	Ganancias superiores a las que proporciona el banco
<b>Calidad</b>	Sólo la necesaria (no inversiones que no sean necesarias)

Los costos de producción deben ser los más bajos posibles tal que, sin afectar la calidad requerida, permitan competir en el mercado. Los precios de venta en los

<sup>1</sup> Altung, Leo. Procesos para ingeniería de manufactura. Editorial Alfaomega. 1990. 369pp.

mercados conquistados deben ser lo suficientemente favorables como para que arrojen una rentabilidad tal que deje ganancias suponiendo que las inversiones de operación se hacen con capital prestado en los bancos.

### **Criterios de la producción con fines de la efectividad**

La tabla 2 resume los criterios que deben cumplir los factores productivos: Proyecto, materiales procesos de manufactura, factor humano y proceso administrativo:

**Tabla 2 Criterios con finalidad de efectividad productiva**

Proyecto	Diseños funcionales que permitan la manufactura calculada y controlada.
Materiales	Selección de los materiales adecuados y económicamente aceptables.
Procesos de manufactura	Sistemas para la transformación de los materiales con la calidad adecuada, considerando las necesidades del cliente, de manera eficiente y económica.
Factor humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivación</li> <li>• Trato</li> <li>• Facilidad</li> <li>• Capacitación</li> <li>• Seguridad</li> </ul>
Proceso administrativo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Planeación</li> <li>2 Integración</li> <li>3 Organización</li> <li>4 Dirección</li> <li>5 Control</li> </ol>

Las definiciones de proyecto, materiales y procesos de manufactura en este contexto son precisas; los criterios referentes al factor humano realzan la necesidad de mantener motivado al personal, estableciendo el mejor de los tratamientos, creando condiciones apropiadas a facilitar la vida de trabajo, , promoviendo socialmente a las personas apoyando su formación en el trabajo, a la vez que se proporcionan todas las condiciones que garanticen la seguridad industrial de empresa; y los criterios vinculados al proceso administrativo, conforman un conjunto de manejo universal.

Para mostrar una estructura, relación y secuencia de las acciones que dan como resultado unos productos o servicios de una organización se recurre a la representación sintética de las actividades de producción o de organización por medio de diagramas. Así, un diagrama de proceso es la representación gráfica de las acciones necesarias para lograr la operación de un proceso.

Esta es la oportunidad para, una vez claros los objetivos, aplicar de manera efectiva la gestión en industria pertinente, que incluye el proceso administrativo.

**Figura 1** Confluencia de proceso administrativo, servicios y transformación en planta.



Vemos en el gráfico, como los procesos administrativos básicos se conjugan en sus fases con los procesos propios de taller – manufactura, apoyándose en el conjunto de los servicios de la empresa.

Una vez claro el diagrama general del proceso en la empresa - industria, se inicia formulando el plan de trabajo. Este puede plantearse de manera elemental registrando cada actividad del proceso, asignando a cada una de ellas ya sea una maquinaria, herramienta o equipo adecuado, en conjunto en correspondencia con

el plano de taller, para una óptima secuencia fluida de los trabajos. Con el plano de taller se elabora el plan de trabajo.

Interesa conocer para un proceso definido, por ejemplo, además de la forma en que opera una máquina herramienta, su capacidad de producción, debido a que su objetivo es la programación y el rendimiento

PARA RECORDAR: Los procesos de manufactura entregan Productos mas no servicios.

### **LECCION 3. EL PRODUCTO EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA**

#### **1. DISEÑO DE PRODUCTO**

##### **1.1. PRODUCTO**

Dependiendo de cuál de las diferentes áreas del conocimiento y de la economía, existen múltiples acepciones del concepto producto, sin embargo existen elementos que pueden ayudar a delimitar la definición de producto, dentro de la ingeniería industrial, siendo algunos de ellos:

Un producto existe para satisfacer una necesidad.

Un producto puede ser un bien, un servicio, una idea, una persona, un lugar, un proyecto.<sup>2</sup>

Un producto se define o se identifica a través de atributos, especificaciones o condiciones;<sup>3</sup> algunas de ellas son geometría, dimensiones como tamaño, peso, materiales y acabado.

---

<sup>2</sup> <http://www.promonegocios.net/producto/concepto-producto.html>

<sup>3</sup> Fundamentos de mercadotecnia / Philip Kotler, Gary Armstrong ; traducción Guadalupe Meza Staines de Garate, 4a Edición, Mexico, Editorial, Prentice-Hall, 1998, 585pp.

### 1.1.1 DISEÑO DE PRODUCTO<sup>4</sup>

El diseño de producto es un conjunto de actividades que se llevan a cabo antes de producirlo, en donde se determinan sus atributos, especificaciones y condiciones. Este proceso inicia cuando se han logrado interpretar las necesidades de un consumidor a partir de una investigación de mercados y termina cuando se han definido las especificaciones del producto y se logran transformar en procesos de manufactura.

En un proceso de diseño de producto pueden participar diversas profesiones y áreas de una organización, sin embargo la responsabilidad de la función de diseño se ha situado entre las áreas de mercados y producción.<sup>5</sup>

Las etapas del diseño de producto pueden ser en resumen:

**Concepción de producto:** cuando se prepara el proyecto de especificaciones.

**Aceptación:** cuando se demuestra que las especificaciones son alcanzadas por medio de cálculos matemáticos, bocetos, modelos experimentales, maquetas o pruebas de laboratorio.

**Ejecución:** cuando se preparan varios modelos a partir del trabajo de la etapa anterior o se construyen plantas piloto como continuación de los experimentos de laboratorio.

**Adecuación:** etapa en la cual el proyecto adquiere una forma que permite integrarlo a la organización y ajustarlo a las especificaciones definitivas.

---

<sup>4</sup> Manual de ingeniería de la producción industrial / compilador Harold B. Maynard, Barcelona, Editorial Reverté, 1975. Volumen 2, Página 7-123.

Manual de diseño de producto para manufactura : guía practica para producción a bajo costo / Editor James G. Bralla ; traducción Francisco G. Noriega, Juan Sanchez Herzberger, José Antonio Morales García, México, McGraw-Hill, 1993. Volumen 2. Diseño para maquinado lineamientos generales, páginas 4-4, 4-5, 4-6.

<sup>5</sup> La producción industrial y su administración. Keith Locker. Editorial Alfaomega, 1995, México. 584pp. Páginas 87 y 88.

## LECCION 4. PROCESOS DE MANUFACTURA

En las preliminares de este módulo se acometieron los pre – saberes relacionados con los contextos de los términos PROCESO y MANUFACTURA. Reafirmemos ampliando ahora estas nociones. .

### 1.2.1. Procesos

Existen un sin número de definiciones y conceptos del término proceso, de acuerdo con la disciplina que se esté estudiando.

Algunas de estas definiciones son:

- Conjunto de fases sucesivas de un fenómeno de una serie de fenómenos.¶
- Cualquier operación o serie de operaciones que provoca un cambio físico o químico en un material o mezcla de materiales.¶
- Conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado.¶

Para el proceso industrial se hace referencia al evento que sucede siempre que existan y se transformen los elementos fundamentales<sup>6</sup> materia, energía e información y que a partir de la relación de estos, en mayor proporción de materia y energía, se origine un producto tangible y no un servicio; esto implica que los procesos industriales se dan en las empresas de manufactura y no en las de servicio.

El concepto de operación suele estar asociado al concepto de proceso que se da en las empresas de servicios. Estas son algunas palabras o conceptos asociados a la palabra proceso en forma general: cambio, innovación, transformación, conversión, transición, metamorfosis, alteración, variación, modificación, evolución.

---

<sup>6</sup> Alting, Leo. Procesos para ingeniería de manufactura. Editorial Alfaomega. 1990. 369pp.

### **1.2.1.1 Estructura de un proceso**

Como se dijo anteriormente, los elementos fundamentales de un proceso son la materia, la energía y la información.

El elemento materia, que en ingeniería industrial es el material, o materia prima o insumo conforma el producto. Los productos se constituyen de materiales con dimensión, peso, geometría y acabado. Cada material posee propiedades que ayudan a que sea transformado de acuerdo con los requerimientos y especificaciones del cliente y por lo tanto con la funcionalidad que prestará durante su uso o servicio.

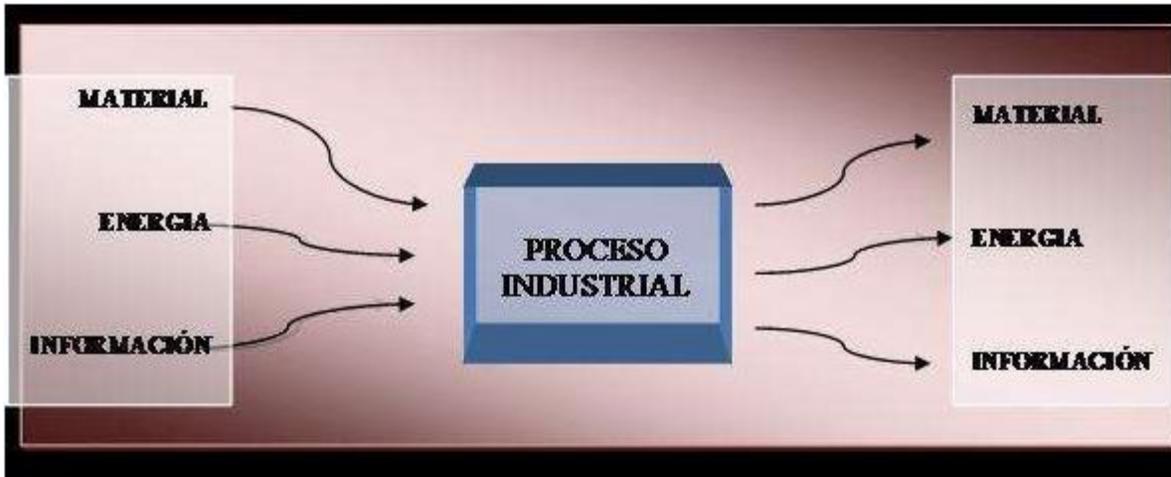
La energía, sea eléctrica, mecánica, hidráulica, química, térmica, entre otras, considerada como el factor industrial utilizado en el funcionamiento de herramientas, máquinas o equipos, ayuda a que el proceso se ejecute, a través de su generación, transformación y movimiento de elementos. La energía total gastada en un proceso se distribuye entre la invertida en la modificación física del material y los gastos y pérdidas al interior de los equipos (eficiencia).

La información como último elemento fundamental, define los parámetros o rangos en que las variables de proceso se deben comportar; aparecen en los registros o formatos de su comportamiento; variables de proceso como presión, temperatura, posiciones espaciales, niveles y velocidades y también las condiciones o atributos del producto terminado.

### 1.2.1.2 Representación gráfica de un proceso industrial

Recurriendo a un diagrama de caja negra, se representa un proceso, así:

Figura 2 Representación gráfica de un proceso industrial



Este diagrama conforma el modelo básico de proceso, en donde los elementos de entrada son transformados en una unidad de proceso para obtener otros elementos de salida con las especificaciones requeridas.

### 1.3. DEFINICIÓN

Los procesos de manufactura son actividades y operaciones relacionadas, ordenadas y consecutivas, a través del uso de máquinas-herramientas o equipos, con el fin de transformar materiales para la obtención de un producto industrial.

Del mismo modo, así como existe diversidad de definiciones de proceso, existe diversidad de tipos, clasificaciones o categorías de procesos de manufactura; a continuación se presenta una propuesta general de clasificación.

### LECCION 5. CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

La siguiente tabla esquematiza la organización de los procesos en categorías.

Tabla 3 Clasificación de los procesos de manufactura

		1ª categoría	2ª categoría	Proceso
		P R O C E S O S  D E  M A N U F A C T U R A	CONFORMACIÓN POR DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	MAQUINADO
CONFORMACIÓN FORZADA	CONFORMACIÓN PLÁSTICA MECÁNICA PULVIMETALURGIA CONFORMACIÓN TÉRMICA MATERIALES SINTÉTICOS		ENBUTIDO PROF LAMINADO FORJADO EXTRUSIÓN TREFILADO ALEAC. ESPECIALES FUNDICIÓN SOLDADURA EXTRUSIÓN SOPLADO	
COMPLEMENTARIOS	DUREZA ACABADOS ENSAMBLES		TRATAMIENTOS TÉRMICOS SUPERFICIES ARMADOS	

Fuente: Propuesta del autor.

Los fundamentos en los que se apoya esta propuesta de clasificación se dan, en primera instancia, primera categoría de clasificación, en relación a la integridad del material original, básicamente debida bien sea a la pérdida de masa, o bien debida a su conformación en modo de deformación. Se presentan así, dos grandes grupos principales; uno por la conformación por desprendimiento de material (viruta), y un segundo gran grupo, por la conformación de toda la masa, forzada desde afuera con deformación mediante equipos.

En segundo término, en una segunda categoría, en cuanto a la naturaleza de las fuerzas externas actuantes en el momento de la transformación del material base; esto es, uno por maquinado; dos, de conformación mecánica de acción deformante de tipo plástico (no reversible); tres, la conformación forzada de polvos metálicos (Pulvimetalurgia); cuatro, la conformación propiamente dicha por acción

del calor sobre los estados fases de los materiales para acondicionarse a nuevas formas; cinco, entran aquí los materiales sintéticos o conocidos como plásticos, que también se adaptan a nuevas formas por acción del calor transmitido por temperaturas superiores. Estos últimos serán tratados en este módulo de manera independiente de los metales, que figuran como materiales principales.

A cada uno de los anteriores criterios y tipos de clases, corresponden diversos equipos, maquinarias y procedimientos. Detallar cada uno a qué corresponde.

En una clasificación paralela, los procesos Complementarios se definen por criterios de utilidad relacionada con la dureza, calidad de superficies y presentación final del objeto. En este campo se encuentran los procesos de tratamientos térmicos, tratamientos o acabados de superficies, y los de armado o ensambles de productos complejos.

Antes de entrar a describir las diversas operaciones de manufactura, se hará una revisión de los aspectos de mayor interés relacionados con los materiales a ser utilizados en estos procesos.

## CAPÍTULO SEGUNDO: MATERIALES DE FABRICACIÓN

### LECCION 6. NATURALEZA DE LOS MATERIALES DE FABRICACIÓN

#### 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Tabla 4 Clasificación de los materiales de trabajo

M A T E R I A L E S	D E T R A B A J O	1ª categoría	2ª categoría	Material	
		METÁLICOS	FERROSOS	FUNDICIÓN GRIS (DE HIERRO)	FERROSOS
HIERRO MALEABLE	HIERRO MALEABLE				
ACEROS	ACEROS				
FUNDICIÓN BLANCA (DE HIERRO)	FUNDICIÓN BLANCA (DE HIERRO)				
NO FERROSOS	ALUMINIO		NO FERROSOS	ALUMINIO	
	COBRE			COBRE	
	MAGNESIO			MAGNESIO	
	NÍQUEL			NÍQUEL	
	PLOMO			PLOMO	
	TITANIO			TITANIO	
NO METÁLICOS	ORGÁNICOS		ZINC	ORGÁNICOS	PLÁSTICOS
			PLÁSTICOS		PRODUCTOS DEL PETRÓLEO
			PRODUCTOS DEL PETRÓLEO		MADERA
			MADERA		PAPEL
		PAPEL	HULE		
		HULE	PIEL		
	NO ORGÁNICOS	NO ORGÁNICOS	MINERALES	NO ORGÁNICOS	MINERALES
			CEMENTO		CEMENTO
			CERÁMICA		CERÁMICA
			VIDRIO		VIDRIO
		GRAFÍTO		GRAFÍTO	

Fuente: Consolidado por el autor

La clasificación más general de los materiales de trabajo se registra en la tabla 2; de esta se presentan descripciones más abajo, el estudiante debe extraer por su cuenta además, la correspondencia de cada uno de los materiales a esas categorías.

### **1.3.1 Metales Ferrosos**

Los metales ferrosos como su nombre lo indica su principal componente es el fierro (hierro), sus principales características son su gran resistencia a la tensión y dureza. Las principales aleaciones se logran con el estaño, plata, platino, manganeso, vanadio y titanio.

Su temperatura de fusión va desde los 1360°C hasta los 1425°C y uno de sus principales problemas es la corrosión.

### **1.3.2 Metales no Ferrosos**

Por lo regular tienen menor resistencia a la tensión y dureza que los metales ferrosos, sin embargo su resistencia a la corrosión es superior. Su costo es alto en comparación a los materiales ferrosos pero con el aumento de su demanda y las nuevas técnicas de extracción y refinamiento se han logrado abatir considerablemente los costos, con lo que su competitividad ha crecido notablemente en los últimos años.

Los metales no ferrosos son utilizados en la manufactura como elementos complementarios de los metales ferrosos, también son muy útiles como materiales puros o aleados los que por sus propiedades físicas y de ingeniería cubren determinadas exigencias o condiciones de trabajo, por ejemplo el bronce (cobre, plomo, estaño) y el latón (cobre zinc).

### **1.3.3 Materiales no Metálicos de origen Orgánico**

Son así considerados cuando contienen células de vegetales o animales. Estos materiales pueden usualmente disolverse en líquidos orgánicos como el alcohol o los tetracloruros, no se disuelven en el agua y no soportan altas temperaturas. Uno de sus principales representantes es el plástico.

### **1.3.4 Materiales no Metálicos de origen Inorgánico**

Son todos aquellos que no proceden de células animales o vegetales o relacionados con el carbón. Por lo regular se pueden disolver en el agua y en general resisten el calor mejor que las sustancias orgánicas. Observar en la tabla cuáles son los materiales inorgánicos más utilizados en la manufactura.

Los materiales sean metálicos o no metálicos, orgánicos o inorgánicos casi nunca se encuentran en el estado en el que van a ser utilizados, por lo regular estos deben ser sometidos a un conjunto de procesos para lograr las características requeridas en tareas específicas. Estos procesos han requerido del desarrollo de técnicas especiales muy elaboradas que han dado el refinamiento necesario para cumplir con requerimientos prácticos. También estos procesos aumentan notablemente el costo de los materiales, tanto que esto puede significar varias veces el costo original del material por lo que su estudio y perfeccionamiento repercutirán directamente en el costo de los materiales y los artículos que integrarán.

Los procesos de manufactura implicados en la conversión de los materiales originales en materiales útiles para el hombre requieren de estudios especiales para lograr su mejor aplicación, desarrollo y disminución de costo. En la ingeniería la transformación de los materiales y sus propiedades tienen un espacio especial, ya que en casi todos los casos de ello dependerá el éxito o fracaso del uso de un material.

Dentro del gran universo de los materiales, adquieren especial importancia para los procesos industriales de manufactura los metales y en segundo lugar los plásticos. Dentro del grupo de los metales se destacan aquellos derivados del hierro llamados ferrosos. En las páginas siguientes se tratarán con más detalle.

## **LECCION 7. PROPIEDADES DE LOS METALES**

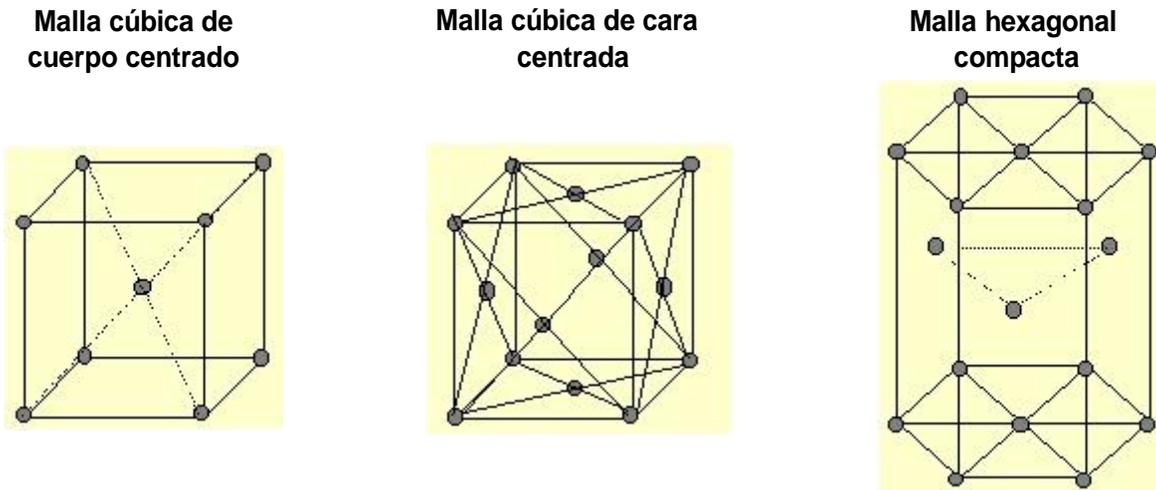
### **1.3.5 Estructura atómica de los metales**

Todos los materiales están integrados por átomos los que se organizan de diferentes maneras, dependiendo del material que se trate y el estado en el que se encuentra. Cuando un material se encuentra en forma de gas, sus átomos están más dispersos o desordenados (a una mayor distancia uno de otro) en comparación con los átomos de ese mismo material pero en estado líquido o sólido. Existen materiales en los que sus átomos siempre están en desorden o desalineados aún en su estado sólido, a estos materiales se les llama materiales amorfos, un ejemplo es el vidrio, al que se considera como un líquido solidificado.

En el caso de los metales, cuando estos están en su estado sólido, sus átomos se alinean de manera regular en forma de mallas tridimensionales. Estas mallas pueden ser identificadas fácilmente por sus propiedades químicas, físicas o por medio de los rayos X. Cuando un material cambia de tipo de malla al modificar su temperatura, se dice que es un material polimorfo o alotrópico.

Cada tipo de malla en los metales da diferentes propiedades, no obstante que se trata del mismo material, así por ejemplo en el caso del hierro aleado con el carbono, se pueden encontrar tres diferentes tipos de mallas: la malla cúbica de cuerpo centrado, la malla cúbica de cara centrada y la malla hexagonal compacta. Cada una de estas estructuras atómicas tiene diferentes números de átomos, como se puede ver en las siguientes figuras:

Figura 3 Estructuras atómicas de algunos metales



Modificar a una malla de un metal permite la participación de más átomos en una sola molécula, estos átomos pueden ser de un material aleado como el carbón en el caso del hierro, lo que implica que se puede diluir más carbón en un átomo de hierro. Si se tiene en cuenta que el carbón es el que, en ciertas proporciones, da la dureza al hierro, entonces lo que se hace al cambiar la estructura del hierro es permitir que se diluya más carbón, con lo que se modifican sus propiedades.

Otra de las características de los metales que influye notablemente en sus propiedades es el tamaño de grano, el cual depende de la velocidad de enfriamiento en la solidificación del metal, la extensión y la naturaleza del calentamiento que sufrió el metal al ser calentado.

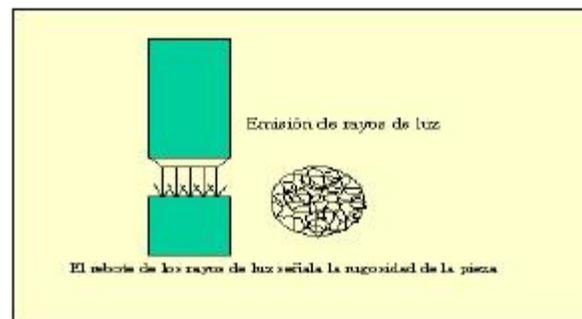
### 1.3.6 Grano de las estructuras metálicas

Cuando un metal en su estado líquido se enfría sus cristales se van solidificando formando estructuras dendríticas, las que crecen uniformes hasta que se encuentran con otra estructura que también ha estado creciendo, en ese lugar de encuentro de las dos estructuras se forman los límites de los granos de los materiales. Entre más lento el enfriamiento de un material, mayor uniformidad en el crecimiento de los granos, o sea estos serán de menor tamaño.

Un material con granos pequeños será más duro que uno con granos grandes, debido a que los granos grandes tienden a fracturarse y deslizarse uno sobre el otro, lo que no sucede con los granos pequeños.

La mejor forma de determinar el tamaño de grano de un material es por medio de microscopio metalúrgico, el que actúa por medio de un rayo de luz que se lanza sobre una superficie pulida al espejo y limpiada con una mezcla de 3% de ácido nítrico y 97% de alcohol, para eliminar lo que se conoce como metal untado.

**Figura 4 Microscopio para la medición de grano en un metal**



### 1.3.7 Solidificación y aleación de los metales, diagrama HHC

Los metales al ser calentados pueden modificar su estado físico pasando por varias etapas, las que van desde la alteración de algunas de sus propiedades hasta el cambio de su estado sólido al líquido. El qué tan rápido o con qué tanta energía se logra un cambio de estado en un metal dependerá de los materiales que lo integran. Se debe recordar que casi nunca se utilizan metales puros. A la combinación química de dos o más metales se le llama aleación y las propiedades de las aleaciones dependen también de los metales que la integran.

Algunas de las aleaciones más utilizadas en los procesos de manufactura son:

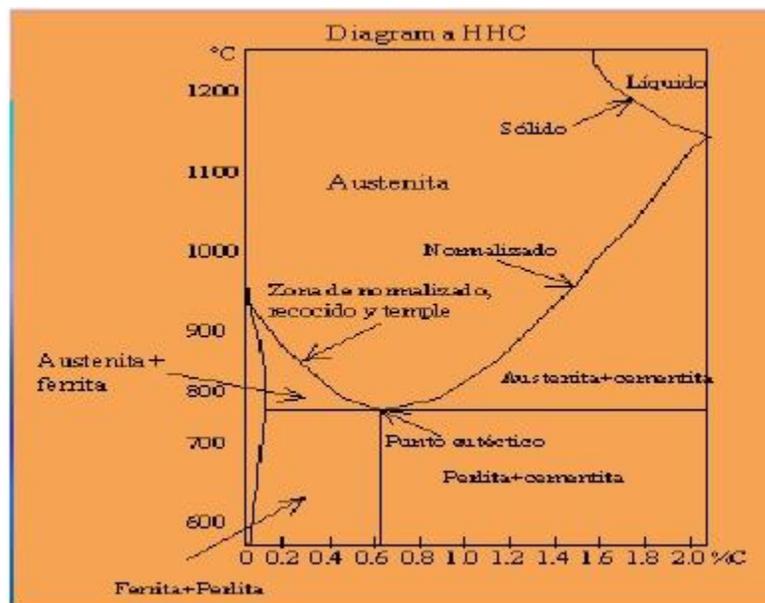
- Latón rojo o amarillo (cobre zinc)
- Bronce (cobre, estaño, zinc, plomo)
- Aluminio, cobre, magnesio, silicio y zinc
- Hierro, carbón, cobalto, tungsteno, vanadio, etc.

- Cobre, oro, plata

Existen tablas y normas internacionales que especifican la nomenclatura y los componentes específicos de cada una de las diferentes aleaciones. Las aleaciones antes señaladas son sólo algunas de las más usadas, entre las cientos que existen.

Una de las herramientas que nos permiten conocer de manera sencilla y rápida algunas de las características de las aleaciones son los diagramas de las aleaciones. Uno de los diagramas de aleaciones más conocido y utilizado del Hierro y el carbono. También conocido como diagrama hierro, hierro, carbono (HHC). Con este diagrama se pueden obtener las temperaturas de cambio de sus estructuras cristalinas; también se pueden conocer las temperaturas a las que se da el cambio de fase de un hierro. En función a la cantidad de carbón que contiene el metal se puede estimar la temperatura a la que se derretirá y a la que se volverá pastoso.

Figura 5 Diagrama hierro – hierro – carbono: HHC



En el eje horizontal del diagrama de Hierro, hierro, carbono se ubica el porcentaje de carbono que puede estar diluido en el hierro y en el eje vertical se señalan las temperaturas a las que van sucediendo los cambios señalados en el cuerpo de la gráfica.

Al conocer la cantidad de carbono que tiene un hierro se pueden estimar la temperatura a la que se debe elevar para que se den los diferentes cambios de estructura o de estado. Por ejemplo si se tiene un hierro con 0.4% de carbón, se deberá elevar su temperatura hasta los 723°C para que el hierro alfa y la perlita empiecen a convertirse en austenita y ferrita. Aproximadamente a los 800°C ese mismo hierro cambiará su estructura a hierro gamma, en donde su componente principal es la austenita, a los 1480°C empieza a fundirse y arriba de los 1520°C se ha fundido todo.

A los hierros que están debajo de 0.8% de carbón se les llama hipoeutectoides y a aquellos que tienen más de 0.8% de carbón se llaman hipereutectoides. El punto eutéctico es aquel en el que se logra la máxima dilución de carbón posible en un hierro a la menor temperatura. En caso de los hierros con carbón el punto eutéctico se da con 0.8% de carbón y a 723°C.

Cada vez que se rebasa una zona en la gráfica de HHC, se está cambiando de estructura en el hierro que se está tratando.

### 1.3.8 Hierros y aceros

De acuerdo al diagrama de hierro, hierro, carbono el hierro puede aceptar determinadas cantidades de carbón diluidas, estas cantidades nunca son superiores al 4%. En los casos en los que se rebasa el 4% de carbón el hierro es de muy baja calidad. Los hierros más utilizados en los procesos de manufactura son los siguientes:

Hierro dulce	C < 0.01
Aceros	C entre 0.1 y 0.2 %
Hierro fundido	C > 2.0% pero < 4.0%

Algunos ejemplos de los materiales producidos con los diferentes hierros:

- Fierro "puro". Por lo regular es utilizado para la generación de aleaciones especiales.
- Hierro forjado. Lámina negra o material para la formación de objetos por medio de laminado o forja.
- Acero. Materiales con requerimientos especiales de resistencia a la tracción, fricción y tenacidad.
- Hierro fundido. Artículos sin acabado pero con gran dureza y muy frágiles.

### **1.3.9 Propiedades físicas de los metales**

Las principales propiedades de los materiales incluyen densidad, presión de vapor, expansión térmica, conductividad térmica, propiedades eléctricas y magnéticas, así como las propiedades de ingeniería.

En los procesos de manufactura son de gran importancia las propiedades de ingeniería, de las que destacan las siguientes:

- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la torsión
- Ductilidad
- Prueba al impacto o de durabilidad
- Dureza

Cada una de las propiedades antes señaladas requiere de un análisis específico y detallado, se adentra en áreas como la de ciencia de materiales y resistencia de materiales. A continuación sólo se presentan algunas de sus principales características.

#### **1.3.9.1 La Resistencia a la tensión**

Se determina por el estirado de los dos extremos de una probeta con dimensiones perfectamente determinadas y con marcas previamente hechas.

Al aplicar fuerza en los dos extremos se mide la deformación relacionándola con la fuerza aplicada hasta que la probeta rebasa su límite de deformación elástica y se deforma permanentemente o se rompe.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la tensión se plasman en series de curvas que describen el comportamiento de los materiales al ser estirados.

Varias de las características de ingeniería se proporcionan con relación a la resistencia a la tensión. Así en algunas ocasiones se tienen referencias como las siguientes:

- La resistencia al corte de un material es generalmente el 50% del esfuerzo a la tensión.
- La resistencia a la torsión es alrededor del 75% de la resistencia a la tensión.
- La resistencia a la compresión de materiales relativamente frágiles es de tres o cuatro veces la resistencia a la tensión.

### **1.3.9.2 La dureza**

Por lo regular se obtiene por medio del método denominado resistencia a la penetración, la cual consiste en medir la marca producida por un penetrador con características perfectamente definidas y una carga también definida; entre más profunda es la marca generada por el penetrador de menor dureza es el material.

Existen varias escalas de dureza, estas dependen del tipo de penetradores que se utilizan y las normas que se apliquen. Las principales pruebas de dureza son Rockwell, Brinell y Vickers.

Las dos primeras utilizan penetradores con cargas para generar marcas en los metales a probar, posteriormente se mide la profundidad de las marcas. En algunas publicaciones se considera a la prueba Rockwell como la prueba del

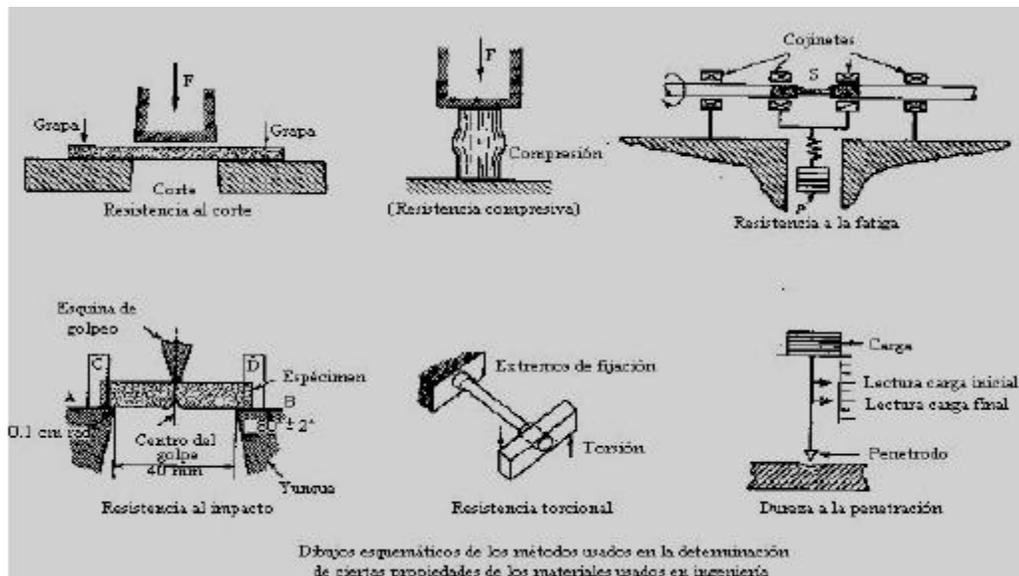
sistema inglés y a la Brinell (en grados Brinell) como la del sistema métrico. (Observe las tablas de relación de durezas)

La dureza Vickers se logra por medio de una prueba denominada el método Escleroscópico Shore en el que consiste en dejar caer un martinete de diamante de 2,3 g, sobre el material a probar y medir la altura del rebote. A mayor rebote mayor será su dureza.

En la tabla 5 se muestran algunas de las propiedades de los metales. En esta se aprecian algunas de las principales diferencias entre metales ferrosos y los que no lo son. Las unidades de los esfuerzos se dan en  $N/mm^2$ . Se recomienda practicar observaciones comparativas y clasificatorias al interior de la tabla

En los siguientes diagramas se muestran algunos de los procedimientos comunes para aplicar las pruebas de resistencia al corte, la compresión, la fatiga o durabilidad, el impacto, la torsión y de dureza.

Figura 6 Técnicas en pruebas de algunas propiedades físicas de los metales.



Referencia "Procesos básicos de manufactura", Begeman

Tabla 5 Propiedades físicas de metales.

<b>Metal</b>	<b>Resistencia a la tensión MPa (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura de fusión °C</b>	<b>Dureza Brinell</b>	<b>Densidad en kg/m<sup>3</sup></b>
Aluminio	83-310	660	30-100	2,643
Latón	120-180	870	40-80	8,570
Bronce	130-200	1040	70-130	8,314
Cobre	345-689	1080	50-100	8,906
Hierro	276-345	1360	100-145	7,689
Fundición gris	110-207	1370	100-150	7,209
Acero	276-2070	1425	110-500	7,769
Plomo	18-23	325	3.2-4.5	11,309
Magnesio	83-345	650	30-60	1,746
Níquel	414-1103	1450	90-250	8,730
Zinc	48-90	785	80-100	7,144
Estaño	19-25	390	5-12	7,208
Titanio	552-1034	1800	158-266	4,517

## LECCION 8. PRODUCCIÓN DE HIERRO Y ACERO

Entre 80 y 90% de todos los metales fabricados a escala mundial son en hierro y acero. Procesos para la obtención de hierro se conocen desde el año 1200 A.C.

El diagrama general de la fusión primaria del hierro integra a casi todas las actividades que se desarrollan en la producción de hierro, como lo muestra el siguiente diagrama de flujo.

Figura 7 Fusión primaria del hierro



Para la producción de hierro y acero son necesarios cuatro elementos fundamentales:

1. Mineral de hierro
2. Coque
3. Piedra caliza
4. Aire

Los tres primeros se extraen de minas y son transportados y prepararlos antes de que se introduzcan al sistema en el que se producirá el arrabio.

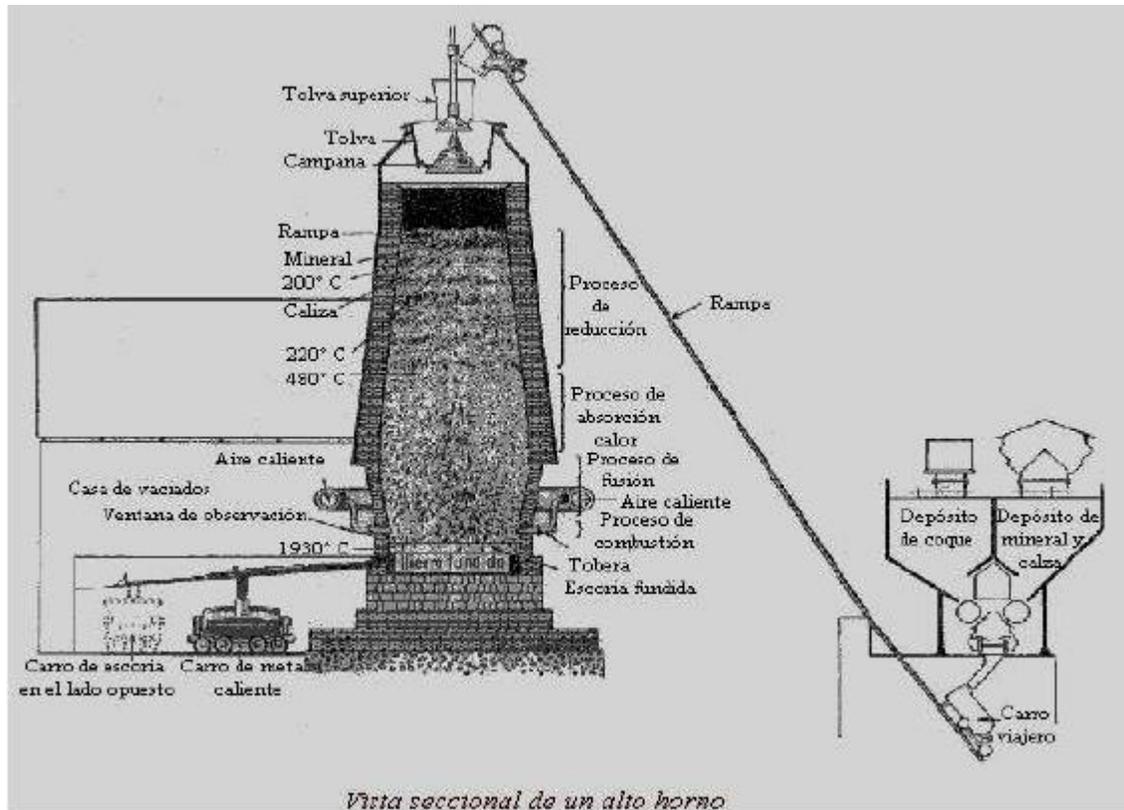
El arrabio es un hierro de poca calidad, su contenido de carbón no está controlado y la cantidad de azufre rebasa los mínimos permitidos en los hierros comerciales. Sin embargo es el producto de un proceso conocido como la fusión primaria del hierro y del cual todos los hierros y aceros comerciales proceden.

A la caliza, el coque y el mineral de hierro se les prepara antes de introducirse al alto horno para que tengan la calidad, el tamaño y la temperatura adecuada, esto se logra por medio del lavado, triturado y cribado de los tres materiales.

### 1.3.10 El alto horno

En general los altos hornos tienen un diámetro mayor a 8 m y llegan a tener una altura superior de los 60 m. Están revestidos de refractario de alta calidad.

Figura 8 Alto horno



Los altos hornos pueden producir entre 800 y 1600 toneladas de arrabio cada 24 h. La caliza, el coque y el mineral de hierro se introducen por la parte superior del horno por medio de vagones que son volteados en una tolva. Para producir 1000 toneladas de arrabio, se necesitan 2000 toneladas de mineral de hierro, 800 toneladas de coque, 500 toneladas de piedra caliza y 4000 toneladas de aire caliente.

Con la inyección de aire caliente a 550°C, se reduce el consumo de coque en un 70%. Los sangrados del horno se hacen cada 5 o 6 horas, y por cada tonelada de hierro se produce 1/2 de escoria.

### **1.3.11 Reducción directa del mineral de hierro**

Para la producción del hierro también se puede utilizar el método de reducción directa, el que emplea agentes reactivos reductores como gas natural, coque, aceite combustible, monóxido de carbono, hidrógeno o grafito. El procedimiento consiste en triturar la mena de hierro y pasarla por un reactor con los agentes reductores, con lo que algunos elementos no convenientes para la fusión del hierro son eliminados. El producto del sistema de reducción directa es el hierro esponja que consiste en unos pellets de mineral de hierro los que pueden ser utilizados directamente para la producción de hierro con características controladas.

En el método de reducción directa para procesar 1000 toneladas de mineral de hierro, se requieren 491,000 metros cúbicos de metano y con ello se obtienen 630 toneladas de hierro esponja.

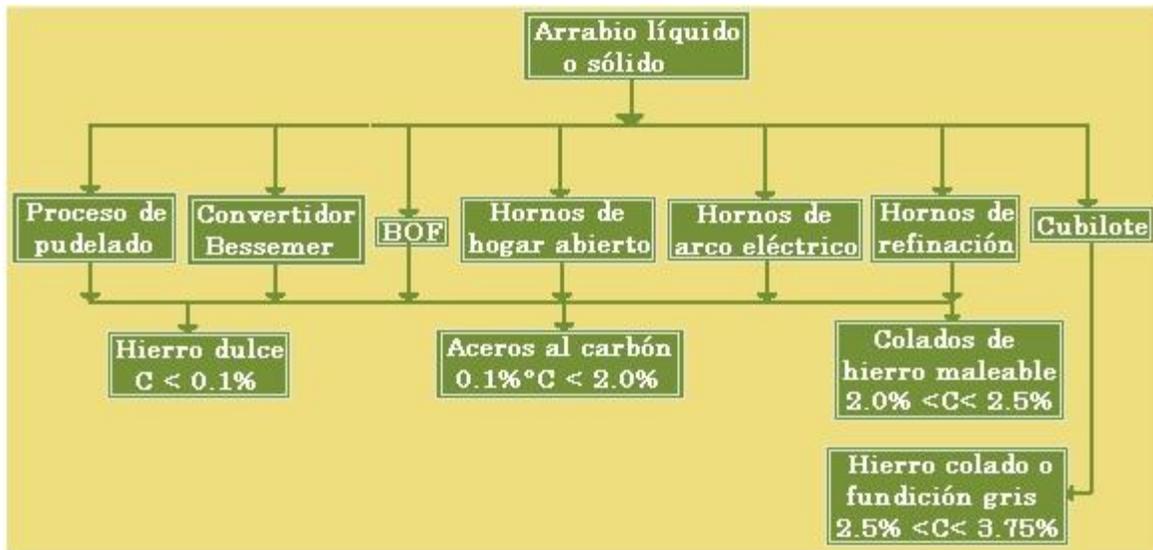
### **1.3.12 Procesos de producción de hierro y acero**

Una vez obtenido el arrabio o el hierro esponja es necesario refinar al hierro para que se transforme en material útil para diferentes objetos o artefactos, o sea en hierro o acero comercial. A continuación se presentan los principales procesos de fabricación de los hierros y aceros comerciales.

El hierro dulce se produce por proceso de pudelado, convertidor Bessemer y Básico de Oxígeno BOF; este último más moderno y eficiente que los dos primeros les ha ido sustituyendo.

El acero se obtiene preferiblemente en hornos de hogar abierto y en proporción menor en hornos de arco eléctrico.

Figura 9 Diferentes formas de producir hierro y acero



En hornos de refinación, los que pueden trabajar mediante inducción eléctrica o de crisol de aire, se producen colados de hierro maleable.

Mediante cubilotes, sistema económico, se obtiene fundición gris de hierro colado.

### 1.3.13 Producción de objetos por rolado

Para fabricar los diferentes objetos útiles en la industria metal metálica, es necesario que el hierro se presente en barras, láminas, alambres, placas, tubos o perfiles estructurales, los que se obtienen de los procesos de rolado. El proceso de rolado consiste en pasar a un material por unos rodillos con una forma determinada, para que al aplicar presión el material metálico adquiera la forma que se necesita. El material metálico que se alimenta a los rodillos debe tener una forma determinada, esta forma se obtiene al colar en moldes el metal fundido que será procesado, a estos productos se les llama lingotes o lupias y pueden ser secciones rectangulares, cuadradas o redondas.

### 1.3.14 Producción de objetos por colada continua

Cuando se requiere un material de sección constante y en grandes cantidades se puede utilizar el método de la colada continua, el cual consiste en colocar un

molde con la forma que se requiere debajo de un crisol, el que con una válvula puede ir dosificando material fundido al molde. Por gravedad el material fundido pasa por el molde, el que está enfriado por un sistema de agua, al pasar el material fundido por el molde frío se convierte en pastoso y adquiere la forma del molde. Posteriormente el material es conformado con una serie de rodillos que al mismo tiempo lo arrastran hacia la parte exterior del sistema. Una vez conformado el material con la forma necesaria y con la longitud adecuada el material se corta y almacena. Por este medio se pueden fabricar perfiles, varillas y barras de diferentes secciones y láminas o placas de varios calibres y longitudes. La colada continua es un proceso muy eficaz y efectivo para la fabricación de varios tipos de materiales de uso comercial.

### 1.3.15 Nomenclatura de los aceros

Para designar aceros en el mercado internacional, se identifican mediante una nomenclatura, así:

<b>AYZXX</b>
--------------

A= Proceso de fabricación, tipo de horno.

YZ = Tipo de acero; Y: elemento predominante (1= carbón, 2= níquel, 3=níquel cromo, 4=molibdeno, 5=cromo, 6=cromo vanadio, 8=triple aleación, 9 silicio magnesio). Z: % del elemento predominante.

X X= % de contenido de carbono en centésimas.

Así por ejemplo, un acero **A2540** es uno básico de hogar abierto, con 5% de níquel y 4% de carbón.

## LECCION 9. METALES NO FERROSOS

De todos los metales utilizados para la industria entre el 10 y el 20% son no ferrosos; estos en diferentes aleaciones cubren los requerimientos de ingeniería y las propiedades químicas necesarias para fabricar artículos útiles para la industria

y la sociedad. Las características fundamentales de las aleaciones no ferrosas son la resistencia a la *tensión, corrosión, conductividad eléctrica y maquinabilidad*.

La selección de una aleación determinada dependerá de los resultados de diferentes pruebas mecánicas, el volumen de producción, el costo de producción y las propiedades estéticas del producto (remitirse a tabla 5).

La mayoría de los metales no ferrosos son más resistentes a la corrosión o a la humedad, pueden utilizarse en exteriores sin pinturas o recubrimientos. Sin embargo se debe tener especial cuidado con el manejo de los metales no ferrosos ya que cada uno responde de manera particular a los efectos de la naturaleza; por ejemplo el magnesio resiste muy bien la atmósfera ordinaria, pero se corroe rápidamente con el agua de mar.

Para la producción de los metales no ferrosos se establecen como base los siguientes procesos.

1. Extracción
2. Refinado o concentrado
3. Fusión
4. Afinado

Cada uno de estos procesos se da de diferentes maneras en la producción de los metales no ferrosos, incluso en la producción algunos no se dan todos.

#### **1.3.16 Extracción**

Los metales no ferrosos provienen de minerales que se pueden encontrar en la superficie de la tierra o bien en yacimientos bajo la superficie. En ambos casos se deben seguir técnicas de explotación eficiente y rentable.

### **1.3.17 Refinado o concentrado, también conocido como preparación**

Los minerales de los que se obtienen los metales no ferrosos nunca se encuentran en estado puro y en cantidades comerciales, por lo que se deben separar y preparar.

Entre los procesos de preparación más utilizados está el pulverizar al mineral y luego mezclarlo con agua y un aceite, para que al aplicar una acción violenta se forme espuma en la que los elementos metálicos quedan suspendidos. Posteriormente se retira la espuma y con ella los minerales necesarios para la producción de los metales no ferrosos.

### **1.3.18 Fusión**

Los hornos más utilizados para la fusión de los minerales de metales no ferrosos son los altos hornos (de menor tamaño que los de arrabio) y los hornos de reverbero (aquellos en los que la flama ilumina a la carga). Aunque no todos los metales no ferrosos necesitan ser fundidos primero para ser procesados.

En los hornos para la producción de los metales no ferrosos siempre existen equipos para el control de las emisiones de polvo. Más que una medida de control de la contaminación ambiental es una necesidad, ya que los polvos son valiosos porque tienen el mineral que se está procesando o porque de esos polvos se pueden obtener otros materiales con un valor representativo o rentable.

### **1.3.19 Afinado**

Para lograr las características de calidad y pureza necesarias en los metales no ferrosos se pueden utilizar diferentes procesos como las tinas electrolíticas con las que el mineral adquiere niveles de calidad muy altos.

## LECCION 10. LOS MATERIALES PLÁSTICOS

### 1.3.20 Polímeros

Constituyen los materiales de base de los plásticos y los elastómeros. Su importancia es cada vez mayor en la sociedad tecnológica, y su aplicación en las maquinas y aparatos crece día a día.

Los polímeros se componen de largas cadenas de átomos de carbono(c) combinadas con otros pocos elementos: hidrogeno (H), oxígeno(O), nitrógeno (N), cloro (Cl) y flúor (F), dando lugar a unas 50 familias de materiales con millares de variantes. Los materiales basados en una cadena análoga de átomos de silicio (Si) toman nombre de siliconas.

Los polímeros se forman a partir de moléculas orgánicas simples (o monómeros) que se enlazan durante una reacción de polimerización formando cadenas mucho más largas y complejas.

### 1.3.21 Los Plásticos

Son agregados de macromoléculas orgánicas y un bajo tanto por ciento de materias lubricantes. Se pueden obtener sintéticamente, o bien por transformación de productos naturales. Los plásticos son polímeros de consistencia rígida si se comparan con los elastómeros, y su nombre proviene del hecho que en algún momento de su proceso de conformación adquiere consistencia plástica.

### 1.3.22 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS:

Se clasifican según su proceso de elaboración (1ª categoría) o según sus características (2ª categoría). (Véase la tabla 6).

Tabla 6 Clasificación de los materiales plásticos

		1ª categoría	2ª categoría	Material
M A T E R I A L E S	P L Á S T I C O S	NATURALES	TERMOESTABLES	RAYON
			TERMOPLÁSTICOS	ARCILLA
				CERAS
				BETUNES
				(OTROS)
		SINTÉTICOS	TERMOESTABLES	UREA FORMOL
				MELANINA FORMOL
				POLIÉSTERES
				SILICONA
				RESINAS EPÓXIDO
			TERMOPLÁSTICOS	POLIETILENO (HDPE – LDPE)
				POLIESTIRENO – PS
				CLORURO DE POLIVINILO -PVC
				ACETATO DE CELULOSA CA - CAB
				POLIPROPILENO
				PMMA (TEFLON)
				ABS
				NITROCELULOSA
PC y POM				

Fuente: Consolidado por el autor

Los plásticos poseen gran resistencia al ataque de los ácidos, bases y agentes atmosféricos y buenas propiedades mecánicas, como resistencia a la rotura y desgaste. Encuentran múltiples aplicaciones gracias a sus interesantes propiedades, como su baja densidad, el ser aislantes del calor y de la electricidad, su facilidad de conformación y su precio económico.

Tienen los plásticos limitaciones de uso a temperaturas entre 60 y 150°C, con excepción del PTFE (Politetrafluoreno de etileno) y dificultades por la poca resistencia y rigidez (de 10 a 50 veces inferior a la de los metales).

### **1.3.22.1 Termoestables**

Son polímeros tridimensionales, los cuales, una vez adquirida la rigidez por moldeo a una temperatura determinada, no pueden volverse a trabajar, como la urea formol, melanina formol, fenol formol, poliésteres, silicona y resinas epóxido.

En las formulaciones de plásticos para su formación comercial, se añaden plastificantes que dan fluidez al material; estabilizadores, para evitar efectos destructivos de la luz; cargas (maderas, algodón, fibra de vidrio), para modificar las propiedades del moldeo, y colorantes.

### **1.3.22.2 Termoplásticos**

Formados por polímeros lineales que se reblandecen por el calor, pueden fundir sin descomponerse y entonces se moldean, como el polietileno, poliestireno, cloruro de polivinilo, acetato de celulosa y nitrocelulosa. El proceso de fusión y moldeo es reversible, el material no se descompone y puede usarse para una nueva fabricación. Las macromoléculas lineales pueden unirse añadiendo un plástico termo - endurecible o una sustancia que pueda constituir una red tridimensional, como en la formación de poliésteres reticulados y en la vulcanización del caucho.

Los llamados plásticos de consumo, de propiedades modernas, son los más utilizados gracias a su precio económico. Las principales familias son: Los polietilenos (HDPE, polietileno de alta densidad; LDPE, de baja densidad), de gran resistencia química, costo muy bajo y utilización muy extendida (bolsas transparentes, juguetería y tuberías de gas); polipropileno (PP), de características mecánicas y temperaturas de uso mayor que en el polietileno, y utilización también muy extendida (objetos que deben resistir agua hirviendo, piezas de plástico que deben doblarse); el poliestireno (PS) muy rígido, transparente y frágil (carcasas de televisión, bolígrafos); cloruro de polivinilo (PVC), rígido y muy resistente a la intemperie (bajantes exteriores, marcos de ventanas), aunque su uso está en

entredicho porque su combustión contamina la atmósfera; existe una variante de PVC plastificado que se utiliza para la fabricación de piel artificial.

Los plásticos especiales poseen alguna propiedad destacada, como la extraordinaria transferencia y resistencia a la intemperie del poli - metacrilato de metilo (PMMA), o la baja fricción y la resistencia a la temperatura (hasta 260°C) del PTFE, más conocido con el nombre de teflón cuyo costo es sin embargo, de los más altos entre los plásticos.

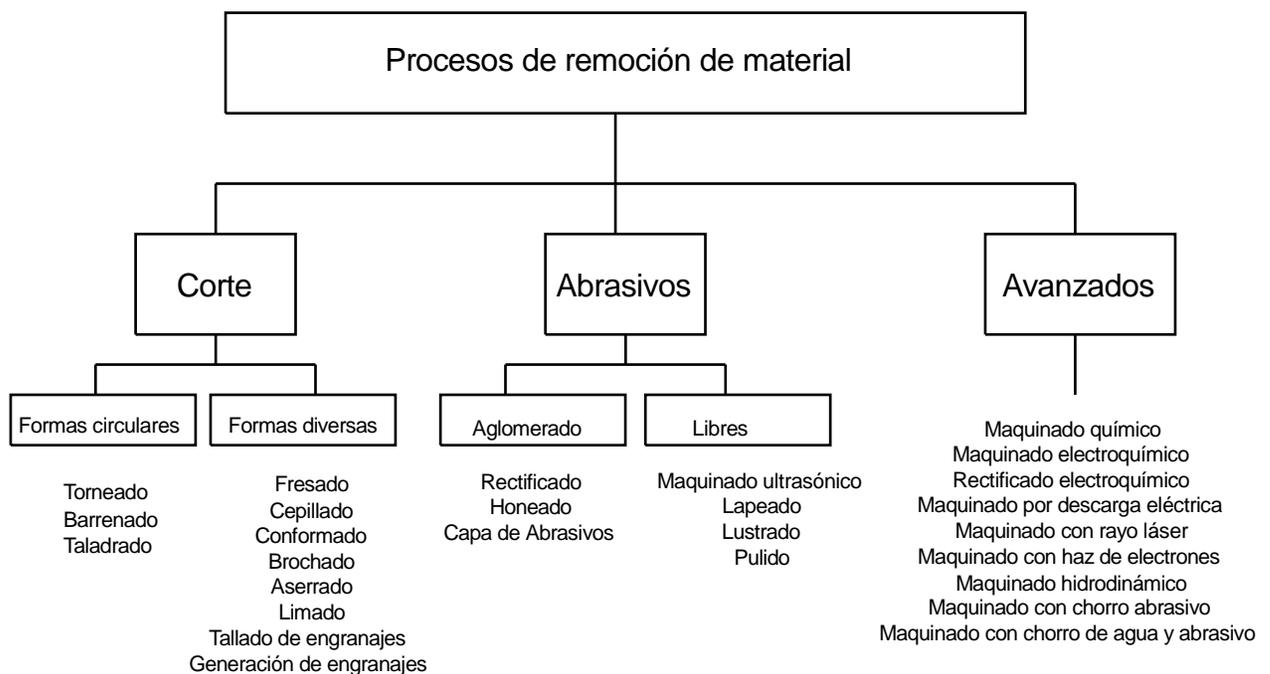
Los plásticos técnicos de costo elevado, tienen propiedades mecánicas (resistencia, rigidez, tenacidad) y térmicas (temperatura de uso) elevadas entre los plásticos. Entre ellos se destacan: el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), de buenas propiedades mecánicas, pero que se inflama fácilmente en contacto con el fuego; las poliacetales (POM), de excelente rigidez (usados para resortes de plástico), y el policarbono (PC) de gran tenacidad y buen comportamiento al fuego.

## CAPÍTULO TERCERO: CORTE DE MATERIALES Y FUNDAMENTOS DE MAQUINAS HERRAMIENTAS

### LECCION 11. REMOCIÓN DE MATERIAL Y TEORÍA DE CORTE

Uno de los métodos de mayor importancia para modificar la forma de un material metálico (y en algunos casos el plástico), es el de remoción de material practicado mediante variadas técnicas, como se representa en la siguiente figura:

Figura 10 Procesos de remoción de material



Corte: implica herramientas de corte de una o varias puntas.

Proceso abrasivo, consiste en el desprendimiento de partículas o desgaste forzado.

Procesos avanzados de maquinado: se usan métodos eléctricos, químicos, térmicos e hidrodinámicos.

Para realizar una operación de maquinado se requieren movimientos de la herramienta y la pieza de trabajo; estos movimientos pueden traducirse como parámetros de trabajo, los cuales definirán las dimensiones o magnitudes de algunos factores.

### 3.1.1 PARÁMETROS DE TRABAJO<sup>7</sup>

- **Velocidad de corte:  $V_c$**

Es la distancia que recorre el "filo de corte de la herramienta al pasar en dirección del movimiento principal (Movimiento de Corte) respecto a la superficie que se trabaja: El movimiento que se origina, la velocidad de corte puede ser rotativo o alternativo; en el primer caso, la velocidad de, corte o velocidad lineal relativa entre pieza y herramienta corresponde a la velocidad tangencial en la zona que se está efectuando el desprendimiento de la viruta, es decir, donde entran en contacto herramienta y, pieza y debe irse en el punto desfavorable. En el segundo caso, la velocidad relativa en un instante dado es la misma en cualquier punto de la pieza o la herramienta.

En el caso de máquinas con movimiento giratorio (Tomo, Taladro, Fresadora, etc.), la velocidad de corte está dada por:

$$V_c = \pi D n \quad (m/min; ft/min)$$

D = diámetro correspondiente al punto más desfavorable (m).

n = número de revoluciones por minuto a que gira la pieza o la herramienta.

---

<sup>7</sup>

[http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_mecanica/arranquedeviruta/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/arranquedeviruta/)

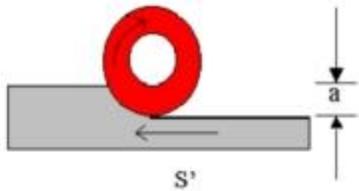
Para máquinas con movimiento alternativo (Cepillos, Escoplos, Brochadoras, etc.), la velocidad de corte corresponde a la velocidad media y esta dada por la expresión:

$$V_c = \frac{L}{T}$$

L = distancia recorrida por la herramienta o la pieza (m).

T = tiempo necesario para recorrer la distancia L (min).

Figura 9. Movimientos de profundidad y avance



S' = avance

a = penetración

Mp = movimiento principal

- **Avance: S (ó f)**

Se entiende por avance al movimiento de la herramienta respecto a la pieza o de esta última respecto a la herramienta en un periodo de tiempo determinado. El Avance se designa generalmente por la letra "s" y se mide en milímetros por una revolución del eje del cabezal o porta-herramienta, y en algunos casos en milímetros por minuto.

- **Profundidad de corte (o penetración): t (ó a)**

Se denomina profundidad de corte a la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta; generalmente se designa con la letra "t" Y se mide en milímetros en sentido perpendicular.

En las maquinas donde el movimiento de la pieza es giratorio (Torneado y Rectificado), la profundidad de corte se determina según la fórmula:

$$t = \frac{D_f - D_i}{2}$$

Di= Diámetro inicial de la pieza (mm).

Df= Diámetro final de la pieza (mm).

En el caso de trabajar superficies planas (Fresado, Cepillado y Rectificado de superficies planas), la profundidad de corte se obtiene de la siguiente forma:

$$T = E - e \text{ (mm)}$$

E = espesor inicial de la pieza

e = espesor final de la pieza (mm)

Dado que los procesos de maquinado se generan a partir del corte de parte del material que conforma la pieza de trabajo, en donde intervienen máquinas, herramientas y piezas de trabajo, es necesario revisar, los factores que influyen en él. En la tabla siguiente se resumen estos aspectos:

**Tabla 7 Factores que influyen en el proceso de corte<sup>8</sup>**

<b>Parámetro</b>	<b>Influencia e interrelaciones</b>
Velocidad y profundidad de corte, avance, fluidos de corte	Fuerzas, potencia, aumento de temperatura, vida de la herramienta, tipo de viruta, acabado superficial.
Ángulos de la herramienta	Fuerzas, potencia, aumento de temperatura, vida de la herramienta, tipo de viruta, acabado superficial; influencia sobre dirección de flujo de viruta; resistencia de la herramienta al desportillamiento.
Viruta continua	Buen acabado superficial; fuerzas estables de corte; indeseable maquinado automatizado.
Viruta de borde acumulado	Mal acabado superficial; si el borde acumulado es delgado, puede promover las superficies de la herramienta.
Viruta discontinua	Preferible para facilidad al desecho de viruta; fuerzas fluctuantes de corte; puede afectar el acabado superficial y causar vibración y traqueteo.
Aumento de temperatura	Influye sobre la vida de la herramienta, en especial sobre el desgaste de cráter, y la exactitud de la pieza; puede causar daños térmicos a la superficie de la pieza.
Desgaste de la herramienta	Influye sobre el acabado superficial, la exactitud dimensional, aumento de temperatura, fuerzas y potencia.
Maquinabilidad	Se relaciona con la vida de la herramienta, el acabado superficial, las fuerzas y la potencia.

<sup>8</sup> Manufactura: ingeniería y tecnología. Serowe Kalpakjian y Steven R. Smith. Cuarta edición. Prentice Hall. México. 2002. 1152pp. Páginas 536.

### 3.1.2 FLUIDOS EN EL CORTE<sup>9</sup>

Un fluido para corte es un líquido o gas que se aplica directamente a la operación de maquinado para mejorar el desempeño del corte. Los problemas principales que atienden los fluidos para corte son:

- Generación de calor en las zonas de corte y fricción.
- Fricción en las interfases herramienta-viruta y herramienta-pieza de trabajo.
- Remoción de viruta

Además de la remoción del calor y reducción de la fricción, los fluidos para corte brindan beneficios adicionales como: remover virutas, reducir la temperatura de la pieza de trabajo para un manejo más fácil, disminuir las fuerzas de corte y los requerimientos de potencia, mejorar la estabilidad dimensional de la parte de trabajo y optimizar el acabado superficial.

**Tipos de fluidos de corte:** De acuerdo con la generación de calor y fricción hay dos categorías generales de fluidos de corte: los refrigerantes y los lubricantes.

#### 3.1.2.1 REFRIGERANTES

Los refrigerantes son fluidos para corte diseñados para reducir los efectos del calor en las operaciones de maquinado. Tiene efecto limitado sobre la magnitud de energía calorífica generada durante el corte; pero extraen el calor que se genera, de esta manera se reduce la temperatura de la herramienta y de la pieza de trabajo, y ayuda a prolongar la vida de la herramienta de corte. La capacidad de un fluido para corte de reducir la temperatura del maquinado depende de sus propiedades térmicas, como el calor específico y la conductividad térmica. El agua se utiliza como refrigerante.

---

<sup>9</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas. Mikell P. Groover. Prentice Hall. 1997. Pág. 588.

Los fluidos para corte tipo refrigerante parecen ser más efectivos a velocidades de corte relativamente altas, donde la generación de calor y las altas temperaturas son un problema. Por lo general los refrigerantes son soluciones o emulsiones en agua debido a que ésta tiene propiedades térmicas ideales para estos fluidos para corte y son utilizados sobretodo en procesos de maquinado como el torneado y el fresado.

### **3.1.2.2 Lubricantes**

Los lubricantes son fluidos basados generalmente en aceite, formulados para reducir la fricción en las interfaces herramienta-viruta y herramienta-pieza de trabajo. Los fluidos lubricantes de corte operan por lubricación de presión extrema, una forma de lubricación en el límite que involucra la formación de una capa delgada de sales sólidas sobre la superficie caliente y limpia del metal a través de reacciones químicas con el lubricante. Los compuestos de azufre, cloro y fósforo del lubricante causan la formación de estas capas superficiales, que actúan para separar las dos superficies metálicas (de la viruta y de la herramienta).

Los fluidos para procesos de corte tipo lubricante son más efectivos a velocidades bajas de corte; tienden a perder su efectividad a altas velocidades, arriba de 400 pies/min debido a que el movimiento de la viruta a estas velocidades previene que el fluido para corte alcance la interface herramienta-viruta. Las operaciones de maquinado como el taladrado y el roscado se benefician por lo general de los lubricantes, los cuales pueden tratarse con sistemas de recirculación para máquinas-herramientas individuales o instalaciones integradas muy grandes para una planta completa. En cualquier caso, la calidad del lubricante se debe monitorear cuidadosamente, así como mantener una cantidad adecuada.

### **3.1.2.3 Métodos de aplicación de los fluidos de corte**

Para que un fluido de corte cumpla su función para reducir temperatura y fricción, existen métodos de aplicación. El método más común es la inundación, llamada

algunas veces enfriamiento por inundación, debido a que se usa generalmente con fluidos de enfriamiento. En este método, se dirige una corriente constante del fluido hacia la interface herramienta-trabajo o herramienta-viruta de la operación de maquinado.

Un segundo método, consiste en la aplicación de niebla, usada principalmente para fluidos de corte basados en agua. En este método se dirige el fluido hacia la operación en forma de niebla acarreada por una corriente de aire presurizado.

Por último, se usa la aplicación manual del fluido por medio de una aceitera o brocha para aplicar lubricantes. Este método de aplicación no es recomendado debido a la variabilidad en las dosificaciones del fluido.

## LECCION 12. HERRAMIENTAS DE CORTE<sup>10</sup>

Los procesos de maquinado se realizan usando herramientas de corte. Las altas fuerzas y temperaturas durante el maquinado crean un ambiente muy agresivo para la herramienta. Las fuerzas de corte demasiado grandes fracturan la herramienta. Si la temperatura de corte se eleva demasiado, el material de la herramienta se ablanda y falla; con respecto a la temperatura, en el proceso de maquinado con herramientas tradicionales la temperatura presenta un comportamiento del tipo:

$$T^{\circ}_{\text{herramienta}} > T^{\circ}_{\text{pieza}} > T^{\circ}_{\text{viruta}}$$

En cambio con las herramientas avanzadas se ha logrado concentrar la temperatura en la viruta.<sup>11</sup>

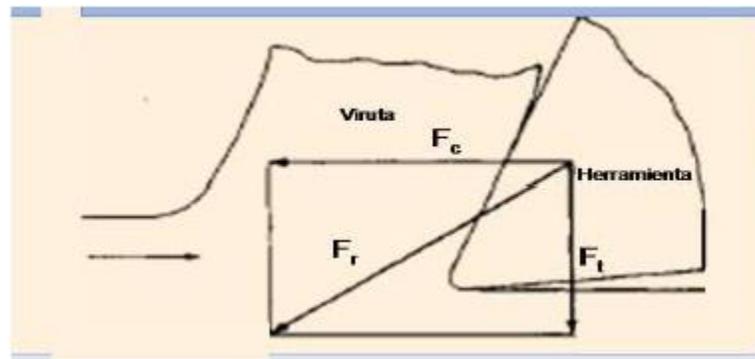
<sup>10</sup> [http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2\\_III\\_3.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2_III_3.html)

<sup>11</sup> <http://www2.ing.puc.cl/icmcursos/procesos/apuntes/Capitulo%202.pdf>

### 3.1.3 Fuerzas de corte

Las fuerzas que actúan sobre la herramienta de corte son la fuerza de corte  $F_c$ , la cual actúa en la dirección de la velocidad de corte  $V$ , y suministra la energía necesaria para cortar. La fuerza de empuje,  $F_t$ , actúa en una dirección normal a la velocidad de corte, esto es, perpendicular a la pieza. Estas dos fuerzas producen la fuerza resultante  $R$ .

Figura 11 Componentes de la Fuerza resultante  $F_r$ <sup>12</sup>



En los procesos de maquinado con formación de viruta, la fuerza resultante  $F_r$  aplicada a la viruta por la herramienta, actúa en un plano que es perpendicular al filo de la herramienta Ver Figura. Componentes de la Fuerza resultante  $F_r$ . Esta fuerza se determina usualmente, en trabajo experimental, a partir de la medición de dos componentes ortogonales: una en la dirección de corte conocida como la fuerza de corte  $F_c$ , que generalmente es vertical y., la otra normal a la dirección de corte, conocida como la fuerza de empuje  $F_t$ .

–El corte de materiales se logra por medio de herramientas con la forma adecuada. Una herramienta sin filos o ángulos bien seleccionados ocasionará gastos excesivos y pérdidas de tiempo.

<sup>12</sup> <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/92712145-150.pdf>

En casi todas las herramientas existen de manera definida: superficies, ángulos filos.

Las superficies son:

- Superficie de ataque. Parte por la que la viruta sale de la herramienta.
- Superficie de incidencia. Es la cara del útil que se dirige en contra de la superficie de corte de la pieza.

Los ángulos son:

- Ángulo de incidencia  $\alpha$  (alfa). Es el que se forma con la tangente de la pieza y la superficie de incidencia del útil. Sirve para disminuir la fricción entre la pieza y la herramienta.
- Ángulo de filo  $\beta$  (beta). Es el que se forma con las superficies de incidencia y ataque del útil. Establece qué tan punzante es la herramienta y al mismo tiempo que tan débil es.
- Ángulo de ataque  $\gamma$  (gama). Es el ángulo que se forma entre la línea radial de la pieza y la superficie de ataque del útil. Sirve para el desalajo de la viruta, por lo que también disminuye la fricción de esta con la herramienta.

Es importante, tener en cuenta que la suma de los ángulos alfa, beta y gama siempre es igual a  $90^\circ$

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

- Ángulo de corte  $\delta$  (delta). Es el formado por la tangente de la pieza y la superficie de ataque del útil. Define el ángulo de la fuerza resultante que actúa sobre el buril.

Figura 12 Superficies y ángulos de corte

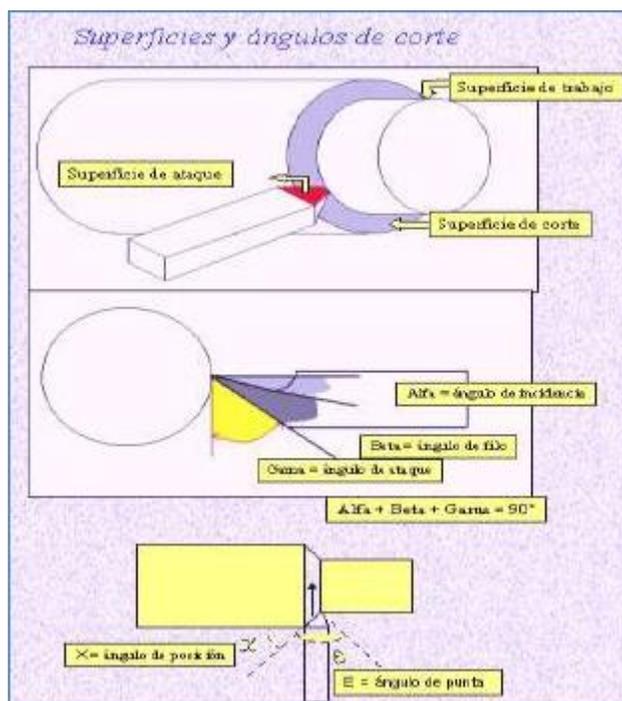
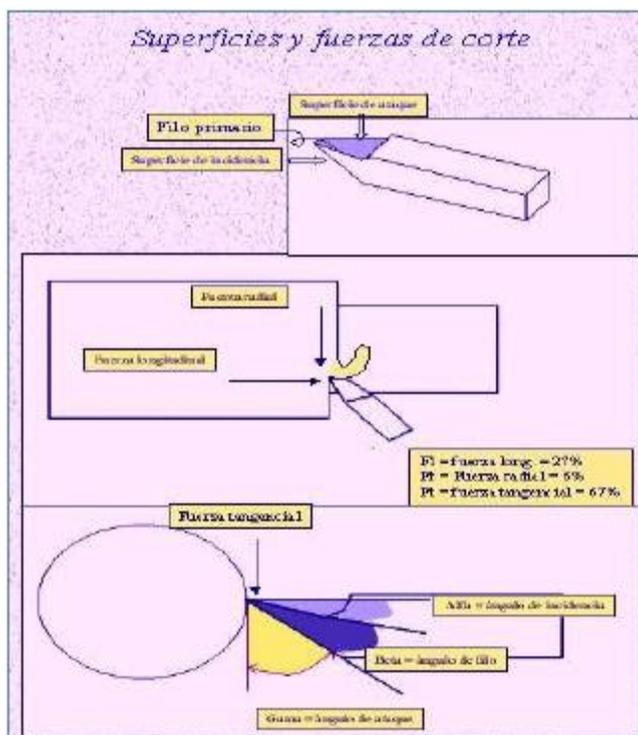


Figura 13 Superficies y fuerzas de corte



- Ángulo de punta  $\epsilon$  (épsilon). Se forma en la punta del útil por lo regular por el filo primario y el secundario. Permite definir el ancho de la viruta obtenida.
- Ángulo de posición  $\chi$  (xi). Se obtiene por el filo principal de la herramienta y el eje de simetría de la pieza. Aumenta o disminuye la acción del filo principal de la herramienta.
- Ángulo de posición  $\lambda$  (lambda). Es el que se forma con el eje de la herramienta y la radial de la pieza. Permite dar inclinación a la herramienta con respecto de la pieza.

### 3.1.4 Filos de la herramienta

Filo principal. Es el que se encuentra en contacto con la superficie desbastada y trabajada.

Filo secundario. Por lo regular se encuentra junto al filo primario y se utiliza para evitar la fricción de la herramienta con la pieza.

De manera simplificada se puede decir que actúan en una herramienta tres fuerzas:

- Fuerza radial,  $F_r$ . Se origina por la acción de la penetración de la herramienta para generar el corte y como su nombre lo señala actúa en el eje radial de la pieza.
- Fuerza longitudinal,  $F_l$ . Es la que se produce por el avance de la herramienta y su actuación es sobre el eje longitudinal de la pieza.
- Fuerza tangencial,  $F_t$ . Es la fuerza más importante en el corte y se produce por la acción de la pieza sobre la herramienta en la tangente de la pieza.

La contribución de las tres fuerzas como componentes de la resultante total es:

$$F_r = 6\% \quad F_l = 27\% \quad F_t = 67\%$$

Producto de acción de las tres fuerzas de corte se tiene una resultante que es la que deberá soportar la herramienta. Se debe tener en consideración que como las fuerzas son cantidades vectoriales es muy importante su magnitud, dirección, posición y punto de apoyo.

Para la definición de los valores de los ángulos se han establecido tablas producto de la experimentación. A continuación se muestra una tabla de los ángulos alfa, beta y gama. Es recomendable hacer observaciones comparativas entre los diferentes materiales a trabajar y la relación correspondiente entre los ángulos.

Del mismo modo, la tecnología de las herramientas de corte tiene dos aspectos principales: el material de la herramienta y la geometría de la herramienta.

**Tabla 8 Angulos y materiales de herramientas de corte**

<b>Aceros rápidos (SS)</b>			<b>Materiales a trabajar</b>	<b>Metales duros (WS)</b>		
<b>Alfa</b>	<b>Beta</b>	<b>Gama</b>	<b>Material</b>	<b>Alfa</b>	<b>Beta</b>	<b>Gama</b>
8	68	14	Acero sin alear hasta 70 kg/mm <sup>2</sup>	5	75	10
8	72	10	Acero moldeado 50 kg/mm <sup>2</sup>	5	79	6
8	68	14	Acero aleado hasta 85 kg/mm <sup>2</sup>	5	75	10
8	72	10	Acero aleado hasta 100 kg/mm <sup>2</sup>	5	77	8
8	72	10	Fundición maleable	5	75	10
8	82	0	Fundición gris	5	85	0
8	64	18	Cobre	6	64	18
8	82	0	Latón ordinario, latón rojo, fundición de bronce	5	79	6
12	48	30	Aluminio puro	12	48	30
12	64	14	Aleaciones de aluminio para fundir y forjar	12	60	18
8	76	6	Aleaciones de magnesio	5	79	6
12	64	14	Materiales prensados aislantes (novotex baquelita)	12	64	14
12	68	10	Goma dura, papel duro	12	68	10
			Porcelana	5	85	0

WS: metales duros;

SS: aceros rápidos

HS: acero de herramienta

El primer aspecto se refiere al desarrollo de materiales que puedan soportar las fuerzas, las temperaturas y la acción de desgaste en el proceso de maquinado. En la tabla que aparece a continuación, se presentan algunas características y utilización de las herramientas de corte dependiendo del material en el que sean fabricadas:

**Tabla 9 Características y utilización de herramientas dependiendo de su material**

Herramienta	Características	Utilización
Aceros al Carbono	<p>Son el tipo de acero más antiguo en herramientas de corte. Son muy baratos.</p> <p>Tienen buena resistencia al impacto.</p> <p>Se pueden someter fácilmente a tratamientos térmicos como el templado, lográndose un amplio rango de durezas.</p> <p>Se forman y rectifican con facilidad.</p> <p>Mantienen su borde filoso cuando no están sometidos a abrasión intensa o a altas temperaturas.</p> <p>Han sido sustituidos por otros materiales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Brocas que trabajan a velocidades relativamente bajas.</li> <li>· Machuelos.</li> <li>· Escariadores y brochas.</li> </ul>
Aceros de Alta Velocidad	<p>Son el grupo con mayor contenido de aleaciones de los aceros.</p> <p>Conservan la dureza, resistencia mecánica y filo de los aceros.</p> <p>Empleando los equipos adecuados pueden ser templadas por completo con poco riesgo de distorsión o agrietamiento.</p> <p>Se templean al aceite.</p>	<p>Taladrar.</p> <p>Escariar.</p> <p>Fresar.</p> <p>Brochar.</p> <p>Machuelar.</p> <p>Máquinas para fabricar tornillos.</p>
Aleaciones Fundidas	<p>Mantienen su elevada dureza a altas temperaturas.</p> <p>Tienen buena resistencia al desgaste.</p> <p>No se necesitan fluidos de corte</p>	<p>Se recomiendan para operaciones de desbaste profundo con velocidades y avances relativamente altos</p> <p>Sólo se emplean para obtener un acabado superficial especial.</p>
<p>Carburos Cementados</p> <p>Carburo de Tungsteno Aglutinado con Cobalto</p> <p>Carburo de Tungsteno Aglutinado con Cobalto + Solución Sólida de WC-TiCTaC-NbC</p> <p>Carburo de Titanio con Aglutinante de Níquel y Molibdeno</p>	<p>Tienen carburos metálicos.</p> <p>Se fabrican con técnicas de metalurgia de polvos.</p> <p>Tienen alta dureza en un amplio rango de temperaturas.</p> <p>Elevado módulo elástico, dos o tres veces el del acero.</p> <p>No representan flujo plástico.</p> <p>Baja expansión térmica.</p> <p>Alta conductividad térmica.</p> <p>Se emplean como insertos o puntas que se sueldan o sujetan a un vástago de acero. Se encuentran en diferentes formas, circulares, triangulares, cuadrados y otras formas.</p> <p>W: Tungsteno C: Carbono Ti: Titanio Ta: Tantalio Nb: Niobio</p> <p>Opera a altas temperaturas debido a las altas velocidades de corte.</p> <p>Trabaja piezas de materiales con alta resistencia mecánica.</p>	<p>Se emplean para mecanizar hierros fundidos y metales abrasivos no ferrosos.</p> <p>Mecanizar aceros.</p> <p>Cortar.</p>
<b>Carburos Revestidos</b>	<p>Son insertos normales de carburo revestidos con una capa delgada de carburo de titanio, nitruro de titanio u óxido de aluminio.</p>	<p>Se utilizan en máquinas de herramientas rígidas, de mayor velocidad y más</p>

	<p>Con el revestimiento se obtiene una resistencia superior al desgaste, a la vez que se mantiene la resistencia mecánica y la tenacidad.</p> <p>No se necesitan fluidos de corte, si se aplica debe ser en forma continua y en grandes cantidades, para evitar calentamiento y templado.</p> <p>Los avances suaves, las bajas velocidades y el traqueteo son dañinos.</p>	potentes.
<b>Cerámicas u Oxidos</b>	<p>Se constituyen de granos finos de aluminio ligados entre sí. Con adiciones de otros elementos se logran propiedades óptimas.</p> <p>Resistencia muy alta a la abrasión.</p> <p>Son más duras que los carburos cementados.</p> <p>Tienen menor o nula tendencia a soldarse con los metales durante el corte.</p> <p>Carecen de resistencia al impacto.</p> <p>Puede ocurrir una falla prematura por desportilladura o rotura.</p>	Son eficaces para operaciones de torneado ininterrumpido a alta velocidad.
<b>Diamantes Policristalinos</b>	<p>Tienen dureza extrema.</p> <p>Baja expansión térmica.</p> <p>Alta conductividad térmica.</p> <p>Coefficiente de fricción muy bajo.</p> <p>Se liga a un sustrato de carburo.</p>	Son empleados cuando se requiere un buen acabado superficial, en particular en materiales blandos y no ferrosos, difíciles de mecanizar. Se emplea como abrasivo en operaciones de rectificado.
<b>CBN Nitruro Cúbico de Boro Cúbico</b>	<p>Es el material más duro que hay en la actualidad.</p> <p>Se liga a un sustrato de carburo.</p> <p>La capa de CBN produce una gran resistencia al desgaste.</p> <p>Gran resistencia mecánica de los bordes.</p> <p>Es químicamente inerte al hierro y al níquel a altas temperaturas.</p>	Es adecuado para trabajar aleaciones de altas temperaturas y diversas aleaciones ferrosas. Se emplea como abrasivo en operaciones de rectificado.

El segundo aspecto, se ocupa de optimizar la geometría de la herramienta de corte para el material de la herramienta y para una operación dada.

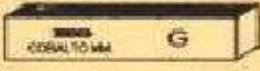
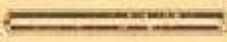
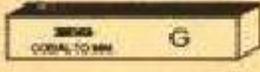
Así mismo existen criterios de selección de la herramienta, los cuales dependen directamente de: el material de la herramienta de corte, área de trabajo y material de la pieza de trabajo.

En la tabla 10 se presentan algunos de los buriles y cuchilla más comerciales.

### 3.1.5 Vida de la herramienta de corte

La vida de la herramienta se define como la longitud de tiempo de corte en el cual se puede usar la herramienta.

Tabla 10 Algunos buriles y cuchillas

INDICE			
BURILES Y CUCHILLAS			
DESCRIPCIÓN	FIGURA	SERIE	PAG
DE ACERO ALTA VELOCIDAD		905	4
DE ACERO DE COBALTO		906	5
REDONDOS TIPO GORTON		911	6
PARA INTERIORES		912	7
MILIMÉTRICOS DE ACERO AL COBALTO		922	8
DE ACERO ALTA VELOCIDAD		961	9
DE ACERO AL COBALTO		962	10

- Una herramienta puede perder capacidad de corte por varias razones y por lo tanto su vida útil también, a saber:<sup>13</sup>
- **Temperatura:** la dureza y resistencia de los metales disminuyen con la temperatura. Si la temperatura de corte es demasiado elevada para la

<sup>13</sup>

<http://isa.umh.es/asignaturas/tfm/Tema%2012%20Vida%20de%20las%20Herramientas.pdf>

herramienta, se pierde la dureza y por lo tanto la capacidad de corte. Se manifiesta de forma instantánea y generalmente es consecuencia de exceso de velocidad.

- **Rotura:** como consecuencia del alto grado de dureza, las herramientas suelen ser frágiles. Cuando las fuerzas de corte superan un determinado umbral empiezan a desprenderse partículas de la arista de corte o a veces un trozo importante de la herramienta. Las elevadas fuerzas que producen este tipo de rotura no corresponden a régimen permanente, sino a variaciones transitorias como por ejemplo vibraciones.

Los dos mecanismos de desgaste anteriores suelen producir daños en la superficie mecanizada y son indeseables.

- **Desgaste progresivo:** ocurre cuando la herramienta se utiliza adecuadamente; se produce una pérdida de forma de la herramienta y reducción de su eficiencia de corte. A partir de un determinado instante se produce un desgaste acelerado y la falla total de la herramienta.

Del mismo modo, de acuerdo con estudios realizados, en la alta velocidad hay coincidencia en la preferencia de corte en oposición, especialmente en la mecanización de materiales duros. Está comprobado experimentalmente que la vida de la herramienta es mucho más larga si se trabaja en oposición en estos tipos de materiales.

Figura 14 Oposición y no oposición de la herramienta de corte<sup>14</sup>

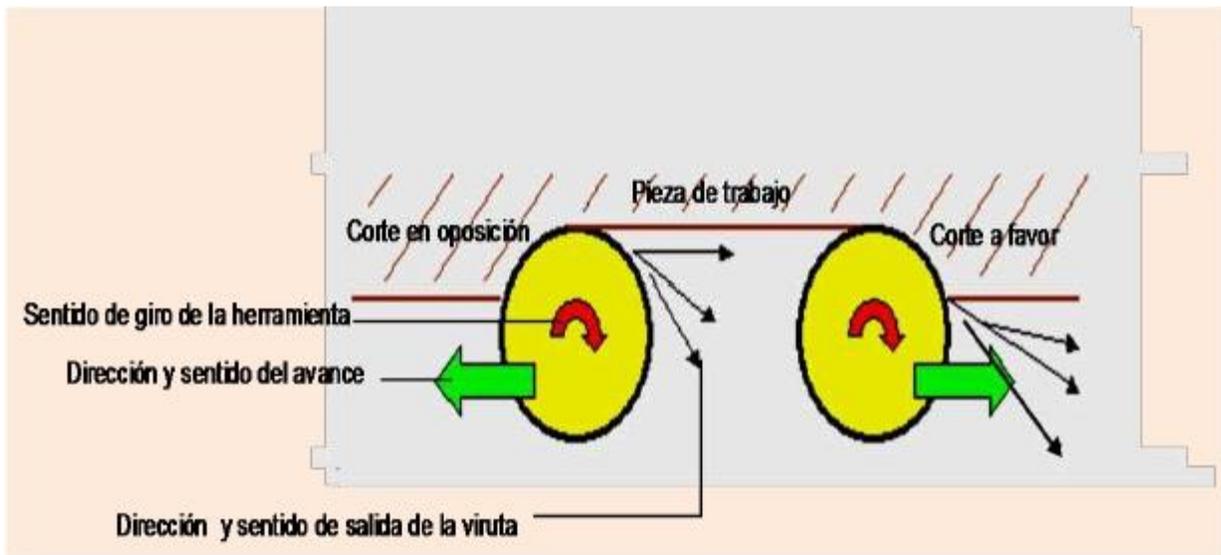


Figura 15 Desgaste de herramientas de corte



<sup>14</sup> <http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/juanmartin/jmparametros corte.htm>

### LECCION 13. Propiedades de Materiales Para Herramientas<sup>15</sup>

Las herramientas de corte deben ser fabricadas con materiales que posean propiedades tales como:

**Tenacidad:** el material de la herramienta debe tener alta tenacidad para evitar las fallas por fractura. La tenacidad es la capacidad de absorber energía sin que falle el material. Se caracteriza generalmente por una combinación de resistencia y ductilidad del material.

**Dureza en caliente:** es la capacidad del material para retener su dureza a altas temperaturas; esta es necesaria debido al ambiente de altas temperaturas en que opera la herramienta.

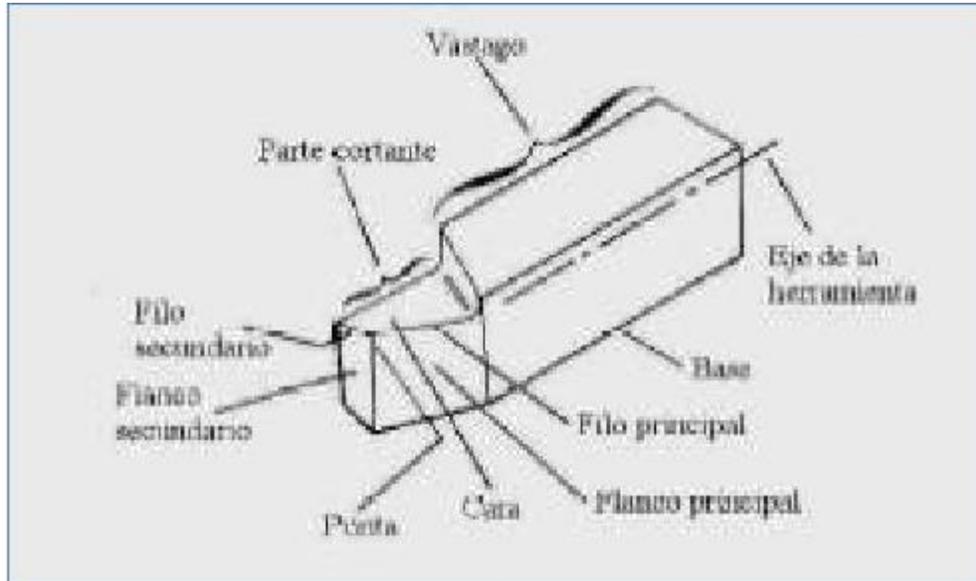
**Resistencia al desgaste:** la dureza es la propiedad más importante que se necesita para resistir el desgaste abrasivo. Todos los materiales para herramientas de corte deben ser duros. Sin embargo, la resistencia al desgaste en el corte de metales no solamente depende de la dureza de la herramienta, sino también de otros mecanismos de desgaste. El acabado superficial de la herramienta (superficie más lisa significa coeficiente de fricción más bajo), la composición química de la herramienta y de los materiales de trabajo, y el uso de fluido para corte son otras características que afectan la resistencia al desgaste.

---

<sup>15</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas. Mikell P. Groover. Prentice Hall. 1997.

### 3.1.6 Geometría De Las Herramientas De Corte

Figura 16 Partes importantes de una herramienta monofilo (buril)



La herramienta de corte debe tener una forma apropiada para las aplicaciones de maquinado. Una forma importante de clasificar las herramientas de corte es atendiendo a los procesos de maquinado

Las herramientas de corte, según su geometría, se pueden clasificar de las siguientes formas:

- Por su número de filos:

- Un filo (buril).
- Doble filo en hélice (broca).
- Filos múltiples (fresas y seguetas).
- Filos indefinidos (esmeril).

- Por su aplicación

- Monofilo: para procesos de torneado.
- Multifilos: para procesos de fresado y taladrado.
- Abrasivas: para procesos de rectificado.

## LECCION 14. FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS

### 3.1.7 PARTES BÁSICAS DE UNA MÁQUINA HERRAMIENTA

Todas las máquinas herramienta tienen un conjunto de partes, actividades y principios que las distinguen y caracterizan.

**Tabla 11 Principales partes de una máquina herramienta y sus funciones**

Parte	Función
Base	<p>Sostiene y fija a la máquina sobre el piso, una mesa o su propia estructura. Existen tres tipos fundamentales de bases:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Anclada al piso o cimentada</li> <li>b. Soporte sobre mesa o banco</li> <li>c. Integrada al cuerpo de la máquina</li> </ul>
Bancada o soporte	<p>Soporta las piezas de la máquina, en algunas máquinas sirve para el deslizamiento de las herramientas y en otras para la fijación de las piezas que se van a trabajar, por lo regular sobre la bancada o soporte se ubica el cabezal fijo de las máquinas.</p>
Tren motriz	<p>Dota de movimiento a las diferentes partes de las máquinas, por lo regular se compone de las siguientes partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Motor o motores</li> <li>b. Bandas</li> <li>c. Poleas</li> <li>d. Engranajes o cajas de velocidades</li> <li>e. Tornillos sinfín</li> <li>f. Manijas o manivelas de conexión</li> </ul>
Cabezal fijo y husillo principal	<p>En el cabezal fijo se ubican todas las partes móviles que generan el movimiento del husillo principal. El husillo principal es el aditamento en el que se colocan los sistemas de sujeción de las piezas a trabajar.</p>
Sujeción de piezas de trabajo	<p>Fija a las piezas que se van a trabajar, tanto a las piezas que giran como a las fijas, así se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Chucks o mandriles</li> <li>b. Fijadores de arrastre</li> <li>c. Prensas</li> <li>d. Conos de fijación</li> <li>e. Ranuras de fijación</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>f. Mordazas de uno o varios dientes</li> <li>g. Platos volteadores</li> </ul>
Sujeción de herramientas	<p>Fijan a las herramientas que desprenden las virutas y dan forma, las principales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Torres</li> <li>b. Porta buriles</li> <li>c. Fijadores de una o varias uñas</li> <li>d. Barras porta fresas</li> <li>e. Broqueros</li> <li>f. Soportadores manuales</li> </ul>
Enfriamiento	<p>Dotan de líquidos o fluidos para el enfriamiento de las herramientas y las piezas de corte. Por lo regular están dotados de un sistema de bombeo y de conducción y recolección de líquidos.</p>
Mecanismos de avance y/o penetración	<p>Permiten o dotan de movimiento a las herramientas para lograr el desprendimiento continuo de virutas, los principales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Carros porta herramientas</li> <li>b. Brazos porta buriles o fresas</li> <li>c. Husillos de casco o de deslizamientos (taladro)</li> </ul>
Mecanismo de control semi automáticos o automáticos	<p>Inician o interrumpen una acción de movimiento de una o varias partes de las máquinas, estas pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Tornillos sinfín conectados a engranes y partes de las máquinas</li> <li>b. Topes de señal para micro interruptores</li> <li>c. Motores de paso a paso</li> <li>d. Unidades lectoras de cinta</li> <li>e. Unidades receptoras de señales digitalizadas de computadoras CAM</li> <li>f. Sistemas de alimentación de material</li> <li>g. Sistemas de alimentación de herramientas</li> <li>h. Sistemas de inspección automáticos</li> </ul>

### **3.1.8 Elementos de sujeción**

Los elementos de sujeción en las máquinas herramienta requieren un análisis especial.

#### **Mandriles (ó Chucks)**

También son conocidos como mordazas de sujeción, en el caso específico del torno existen dos tipos de chucks.

- Chuk universal: Se caracteriza porque sus tres mordazas se mueven con una sola llave
- Chuck Independiente: Cada mordaza es ajustada con una entrada de llave independiente.

Broquero: Dentro de los mandriles para sujeción se pueden ubicar a los broqueros con mango cónico los que tienen la función de sujetar a la broca y su funcionamiento es similar a chuck universal

#### **Fijadores de arrastre**

Los fijadores más conocidos y utilizados son los de plato, los que pueden ser cerrados o abiertos. Todos siempre utilizaran a un arrastrador conocido como perro.

Por lo regular son utilizados para el trabajo en torno de puntas o los sistemas divisores de las fresas.

#### **Prensas**

Son sistemas de sujeción de las piezas de trabajo muy seguros, se fijan a las mesas de trabajo. Uno de los ejemplos tradicionales son las prensas utilizadas para la fijación de piezas en el barrenado o en el fresado.

### **Conos de fijación**

Es un elemento muy utilizado en la mayoría de los sistemas en los que la pieza a sujetar tiene un eje de giro. Consiste en una superficie cónica que se inserta en otra superficie cónica, entre estas piezas la fuerza de trabajo ajusta a las superficies impidiendo su separación, la fricción impide el giro y además da gran sujeción.

La mayoría de estos elementos de sujeción son los broqueros o las brocas con mango cónico.

### **Ranuras de fijación**

Por lo regular se ubican en las mesas de trabajo de las máquinas herramienta, en ellas se insertan tornillos que con su cabeza se fijan a la mesa y con placas o uñas se presiona a las piezas a fijar.

### **Cabezal divisor.**

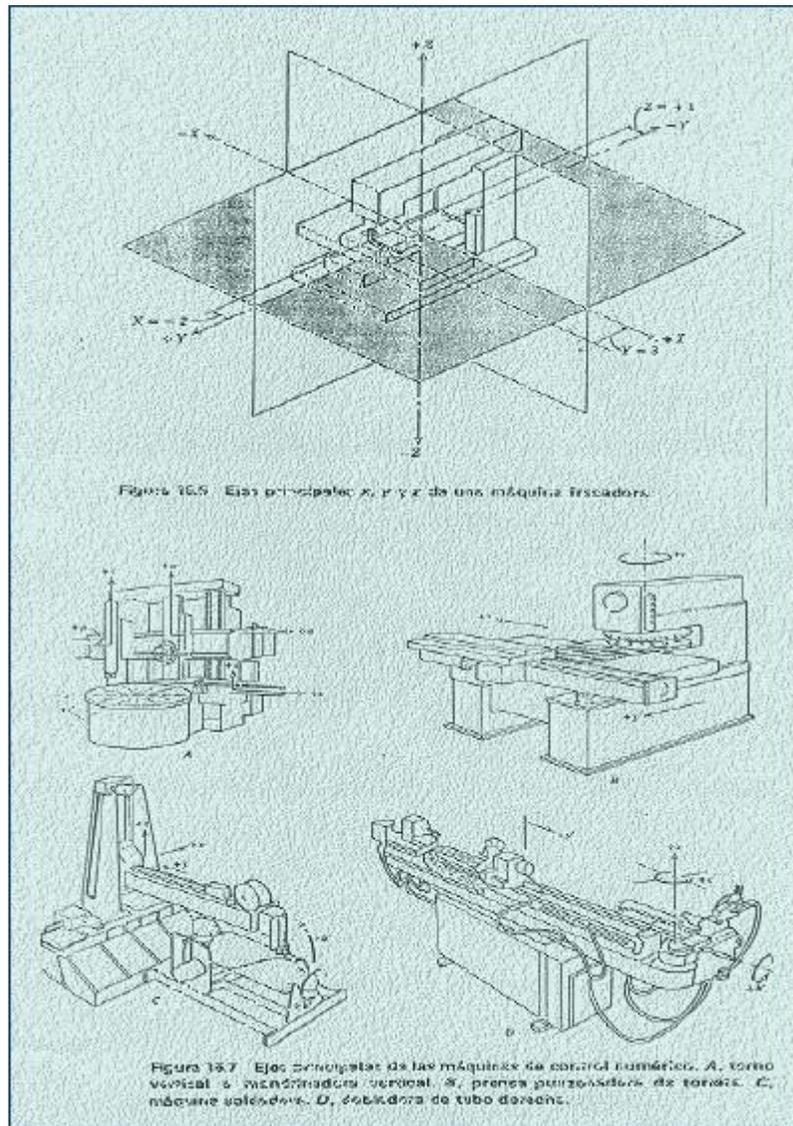
Aún cuando el fin de estos dispositivos no es la fijación, son considerados como elementos para evitar que las piezas se muevan de los sitios en las que se van a trabajar. Estos dispositivos sujetan por medio de un chuck o un plato de arrastre a una pieza y con una manivela al liberarlos de las fuerzas de fijación pueden girar la pieza un número de grados específico.

### **3.1.9 Movimientos en las máquinas herramienta**

En todas las máquinas herramienta se consideran tres ejes sobre cada uno de los cuales se pueden desarrollar dos tipos de movimiento:

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. ROTATORIO</li><li>2. LINEAL</li></ol> |
|--|

Figura 17 Movimientos en las máquinas herramienta



Por lo regular los ejes son identificados con las letras "Z", "Y" y "X"

El eje "Z" es el eje sobre el cual la herramienta o la pieza gira, así si una fresa tiene a su herramienta girando verticalmente su eje "Z" será vertical y la fresa se conoce como una fresa vertical. Si en un torno la pieza gira en el eje horizontal el torno será horizontal y el eje "Z" será horizontal.

Los ejes "Y" y "X" se ubican de diferentes maneras según los fabricantes de las máquinas herramienta, observe las siguientes máquinas y sus ejes trabajo.

Los movimientos rotatorios se logran por medio de motores conectados a engranes o tornillos sinfín que permiten graduar las velocidades y potencias.

Los movimientos lineales se logran por medio de los motores de paso a paso conectados a cremalleras que permiten el avance o retroceso lineal de las piezas o partes

En la operación de las máquinas herramienta los tres movimientos que son considerados como el alma de las máquinas:

#### **3.1.9.1 Movimiento principal**

Es el movimiento que tiene la pieza o la herramienta para que se logre el desprendimiento de la viruta. Por ejemplo en un torno el movimiento principal es el que ejecuta la pieza y en una fresa es el que se da en la herramienta.

#### **3.1.9.2 Movimiento de avance**

Es el que permite a la herramienta desprender material de manera permanente y controlada. En el caso de un torno es el movimiento del buril que hace que se desprenda viruta y en la fresa es el movimiento de la mesa.

#### **3.1.9.3 Movimiento de penetración**

Es el que da la profundidad o espesor del material desprendido. Tanto en la fresa como en el torno es qué tanto se entierra la herramienta.

### 3.1.10 Dispositivos para el trabajo manual

En la mayoría de las máquinas herramienta se cuenta con dispositivos para el trabajo y ajuste manual. Con estos dispositivos se puede analizar la forma en la que se realizará el trabajo o ajustar los inicios o términos de las acciones de una máquina.

Los dispositivos de trabajo manual varían de acuerdo con el tipo y marca de la máquina que se esté utilizando, sin embargo existen siempre un conjunto de dispositivos que pueden generalizarse en todas las máquinas herramienta, como los que a continuación se presentan:

**Tabla 12 Dispositivos manuales en las máquinas**

<b>Dispositivo</b>	<b>Función</b>
Manivela de avance	En la mayoría de las máquinas existe una manivela que permite dar avance a la herramienta o a la pieza de manera manual, con la acción de este sistema, el que por lo regular está conectado a tornillos sin fin, cremalleras y engranes se logra la alimentación de material para el corte en cada revolución de las máquinas.
Manivela de penetración	Para lograr que en cada pasada las máquinas herramienta desprendan más material, por lo regular existe una manivela que da profundidad o entierra a la herramienta en la pieza a desbastar.
Ajuste de alturas o posición	En las máquinas herramienta por lo regular se requiere subir o bajar las herramientas o las piezas a trabajar, esto se logra con el movimiento de las mesas de trabajo o los sujetadores de las herramientas. Lo anterior se observa desde el ajuste en la cuña de una torre con su buril, hasta el movimiento de la base de un taladro o fresa.
Ajuste de velocidades	Con los intercambios de poleas o engranes en las máquinas herramienta se logra el funcionamiento a diferentes velocidades, las velocidades que son modificadas son las velocidades de corte y avance.
Ajuste de avance automático	Con el ajuste de las diferentes velocidades de una máquina se puede obtener el movimiento del tornillo sinfín del torno, este conectado a un engrane logrará movimientos regulares de las diferentes partes de las máquinas.

## LECCION 15. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS

Tabla 13 Resumen de las principales máquinas-herramientas y sus movimientos

Movimiento de trabajo	Máquina	Movimiento de corte realizado por	Movimiento de avance realizado por
Rotatorio continuo	Torno Paralelo Torno Revólver Torno Automático Torno Copiado Torno Vertical	Pieza	Herramienta
Rotatorio continuo	Taladro de: Columna Radial Múltiple	Herramienta	Herramienta
Rotatorio continuo	Mandrinadora	Herramienta	Herramienta o pieza
Rectilíneo alternativo	Limadora Cepilladora Escopleadora	Herramienta Pieza Herramienta	Pieza Herramienta Pieza
Rectilíneo intermitente	Brochadora	Herramienta	Incremento de dientes
Rotatorio continuo	Fresadora: Horizontal Vertical Universal	Herramienta	Pieza
Rotatorio continuo	Sierra disco	Herramienta	Herramienta
Rectilíneo continuo	Sierra cinta	Herramienta	Herramienta
Rotatorio continuo	Rectificadora: Universal Vertical Sin centros Frontal	Herramienta	Herramienta y Pieza
Rotatorio alternado	Roscadora	Herramienta	Herramienta
Rectilíneo alternado	Generadora de engranajes con Sistema Pfauther	Herramienta	Pieza

Las máquinas-herramienta se distinguen principalmente por las funciones que desempeñan, así como el tipo de piezas que pueden producir y en general se pueden dividir tomando en consideración los movimientos que efectúan durante el maquinado de las piezas. En la tabla anterior se presenta un resumen de las principales máquinas-herramientas y los movimientos que realizan, movimiento de trabajo (principal ó de corte) y de alimentación, (secundario o de corte) asumidos por la herramienta o la pieza.

## UNIDAD DOS: PROCESOS DE CONFIGURACIÓN

### CAPÍTULO PRIMERO: PROCESOS DE MAQUINADO DE MATERIALES

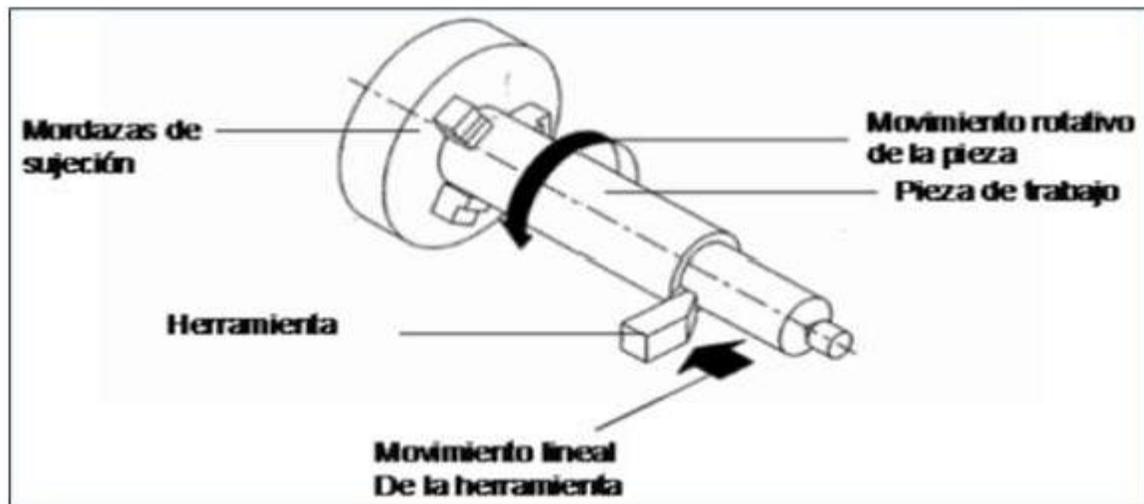
#### LECCION 16. OPERACIONES DE TORNEADO

##### 1.1.1 TORNEADO

El torneado es una operación con arranque de viruta que permite la elaboración de piezas de revolución (cilíndrica, cónica y esférica), mediante el movimiento uniforme de rotación alrededor del eje fijo de la pieza.<sup>16</sup>

Este proceso usa una herramienta de corte con un borde cortante simple destinado a remover material de una pieza de trabajo giratoria para dar forma a un cilindro, como lo ilustra la figura 18. La figura 19 señala las partes que componen un torno básico.

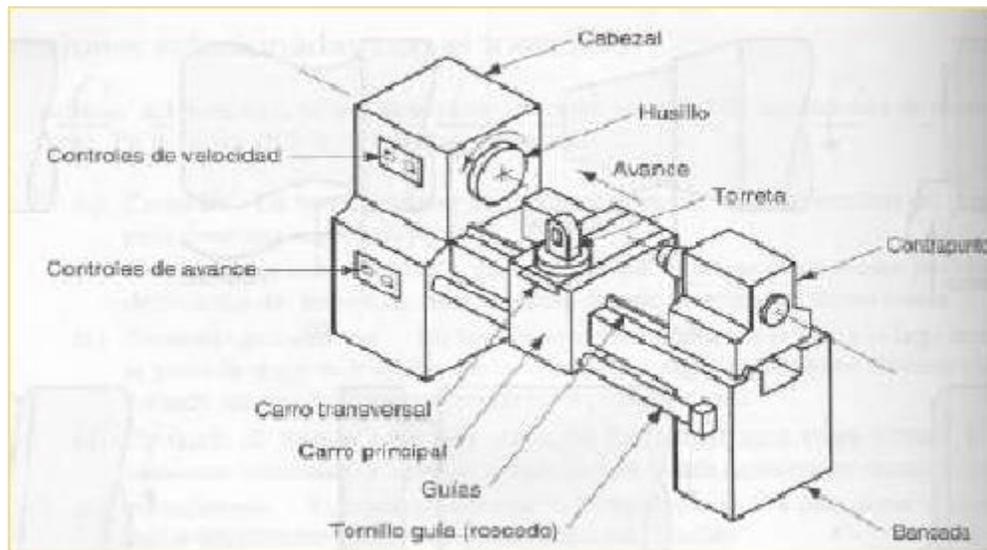
Figura 18 Elementos del proceso de torneado



<sup>16</sup>

<http://www.ilustrados.com/documentos/fabricacionnan.doc>

Figura 19 Partes principales del torno mecánico<sup>17</sup>



### 1.1.2 Principales Características de los Tornos

Se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 14 Principales características de los tornos

Característica	Descripción
Potencia	Representada por la capacidad del motor en HP.
Distancia entre puntos	Es la longitud que existe entre el husillo principal y la máxima distancia al cabezal móvil.
Peso neto	Peso de toda la máquina
Volteo sobre la bancada	Es el máximo diámetro que una pieza puede tener. Se considera como el doble de la distancia que existe entre el centro del husillo principal y la bancada. (radio máximo de trabajo de una pieza)
Volteo sobre el escote	Distancia del centro del husillo a la parte baja de la bancada, no siempre se especifica porque depende si la bancada se puede desarmar.
Volteo sobre el	Distancia del centro del husillo al carro porta

<sup>17</sup> <http://isa.umh.es/asignaturas/fac/2006/Tema3.pdf>

carro	herramientas.
Paso de la barra	Diámetro máximo de una barra de trabajo que puede pasar por el husillo principal.
Número de velocidades	Cantidad de velocidades regulares que se pueden obtener con la caja de velocidades.
Rango de velocidades en RPM	El número de revoluciones menor y mayor que se pueden lograr con la transmisión del torno.

### 1.1.3 PARÁMETROS DEL TRABAJO DE TORNEADO

Los movimientos de trabajo en el torneado son:

**Movimiento de corte:** por lo general se imparte a la pieza que gira rotacionalmente sobre su eje principal. Este movimiento lo imprime un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal mediante un sistema de poleas o engranajes. El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción (platos de garras, pinzas, mandrinos auxiliares u otros), los cuales sujetan la pieza a mecanizar.

**Movimiento de avance:** es debido al movimiento de la herramienta de corte en la dirección del eje de la pieza que se está trabajando. En combinación con el giro impartido al husillo, determina el espacio recorrido por la herramienta por cada vuelta que da la pieza. Este movimiento también puede no ser paralelo al eje, produciéndose así conos. En ese caso se gira el carro de debajo del transversal ajustando en una escala graduada el ángulo requerido, que será la mitad de la conicidad deseada.

**Profundidad de pasada:** movimiento de la herramienta de corte que determina la profundidad de material arrancado en cada pasada. La cantidad de material factible de ser arrancada depende del perfil del útil de corte usado, el tipo de material mecanizado, la velocidad de corte, etc.

### 1.1.4 RAPIDEZ DE REMOCIÓN DEL MATERIAL Y TIEMPO DE CORTE

$RRM = \pi D_{prom} d f N$	$D_{prom} = \frac{D_o + D_i}{2}$	$D_{prom}$ : diámetro promedio $D_o$ : diámetro exterior $D_i$ : diámetro interior $N$ : velocidad de rotación de la pieza $f$ : avance $d$ : profundidad de corte
----------------------------	----------------------------------	---

$t = \frac{l}{f N}$	$v = f N$	$V = \pi D_o N$ (velocidad máxima) $V = \pi D_{prom} N$ (velocidad media) $l$ : distancia recorrida
---------------------	-----------	---

### 1.1.5 VELOCIDAD DE CORTE

En la mayoría de las máquinas herramienta la velocidad de corte se obtiene de tablas, las que se han elaborado por expertos en el trabajo de metales y el uso de diferentes herramientas.

Como se vio al comienzo del capítulo, se puede calcular la velocidad de corte en función de las rpm y del diámetro de la pieza; esto lo retomamos con el fin de estimar cantidades de trabajo invertido, expresado en tiempo.

El establecimiento adecuado de la velocidad de corte permite fácilmente la determinación del número de revoluciones a la que debe operar la máquina. Cuando no se establece el número adecuado de revoluciones puede generar:

- Poco aprovechamiento de las capacidades de las máquinas
- Baja calidad en las piezas fabricadas
- Daño a las herramientas o máquinas
- baja efectividad en la planeación y programación del trabajo

La fórmula general para el cálculo de la velocidad de corte es la siguiente:

$$V_c = (\pi d n)/1000$$

$V_c$ = velocidad de corte en m/min;  
 $n$  = revoluciones por minuto

$d$ = diámetro de la pieza en mm;

En esta fórmula por lo regular se conoce todo excepto el número de revoluciones, las que a su vez son las que se pueden variar en las máquinas.

La fórmula queda así:

$$n = (1000V_c)/(PI d)$$

Conociendo el tipo de acero o aluminio que se va a trabajar, y definiendo que herramienta se usará, podemos establecer la velocidad de corte  $V_c$ , el avance y la profundidad (penetración), tanto para operaciones de desbastado o de afinado, en tablas obtenidas de la experimentación, como la que se presenta, tabla 15.

Para usar esta tabla se ha de conocer la resistencia a la tensión (tracción) del material a trabajar (p.e. acero sT 5030 está entre 50 y 70  $\text{Kg/mm}^2$ ; SAE 1045 tiene 68.7  $\text{Kg/mm}^2$ ), igual que decidir con qué tipo de herramienta o útil se trabajará (ver tabla 8), notando que los aceros más duros requieren un ángulo beta mayor (tipo HS); para aceros medianos se optaría por tipo SS. Una vez definido el útil para el tipo de acero, se determinan los valores de velocidad de corte, penetración y avance correspondientes ( $V_c$ ;  $s$ ;  $a$ ), con los que se calcularán los parámetros del programa de trabajo.

Tabla 15 Velocidades de corte típicas, ángulos de corte y avances recomendados

Material	Útil	Ángulos de corte			Desbastado			Afinado		
		alfa	beta	gama	Vc	s	a	Vc	s	a
Acero menos de 50 kg/mm <sup>2</sup>	WS	8°	62°	20°	14	0.5	0.5	20	0.2	0.1
	SS	6°	65°	19°	22	1	1	30	0.5	0.1
	HS	5°	67°	18°	150	2.5	2	250	0.25	0.15
Acero 50-70 kg/mm <sup>2</sup>	WS	8°	68°	14°	10	0.5	0.5	15	0.2	0.1
	SS	6°	70°	14°	20	1	1	24	0.5	0.1
	HS	5°	71°	14°	120	2.5	2	200	0.25	0.15
Acero 70-85 kg/mm <sup>2</sup>	WS	8°	74°	8°	8	0.5	0.5	12	0.2	0.1
	SS	6°	72°	12°	15	1	1	20	0.5	0.1
	HS	5°	71°	14°	80	2.5	2	140	0.25	0.15
Acero de herramientas	WS	6°	81°	3°	6	0.5	0.3	8	0.2	0.1
	SS	6°	82°	2°	12	1	0.8	16	0.5	0.1
	HS	5°	83°	2°	30	0.6	0.5	30	0.15	0.1
Aluminio	WS									
	SS	10°	65°	25°	60	4	3	120	0.5	0.1
	HS									

S: met  
ale  
s d  
uro  
s;  
S  
S:  
ace  
ros  
rápi  
dos  
H  
S:  
ace

W

ro de herramienta

Al conocer las diferentes velocidades ( $n$ : rpm) que puede desarrollar una máquina se podrá programar, de acuerdo a las recomendaciones de la velocidad de corte que se tiene en las tablas.

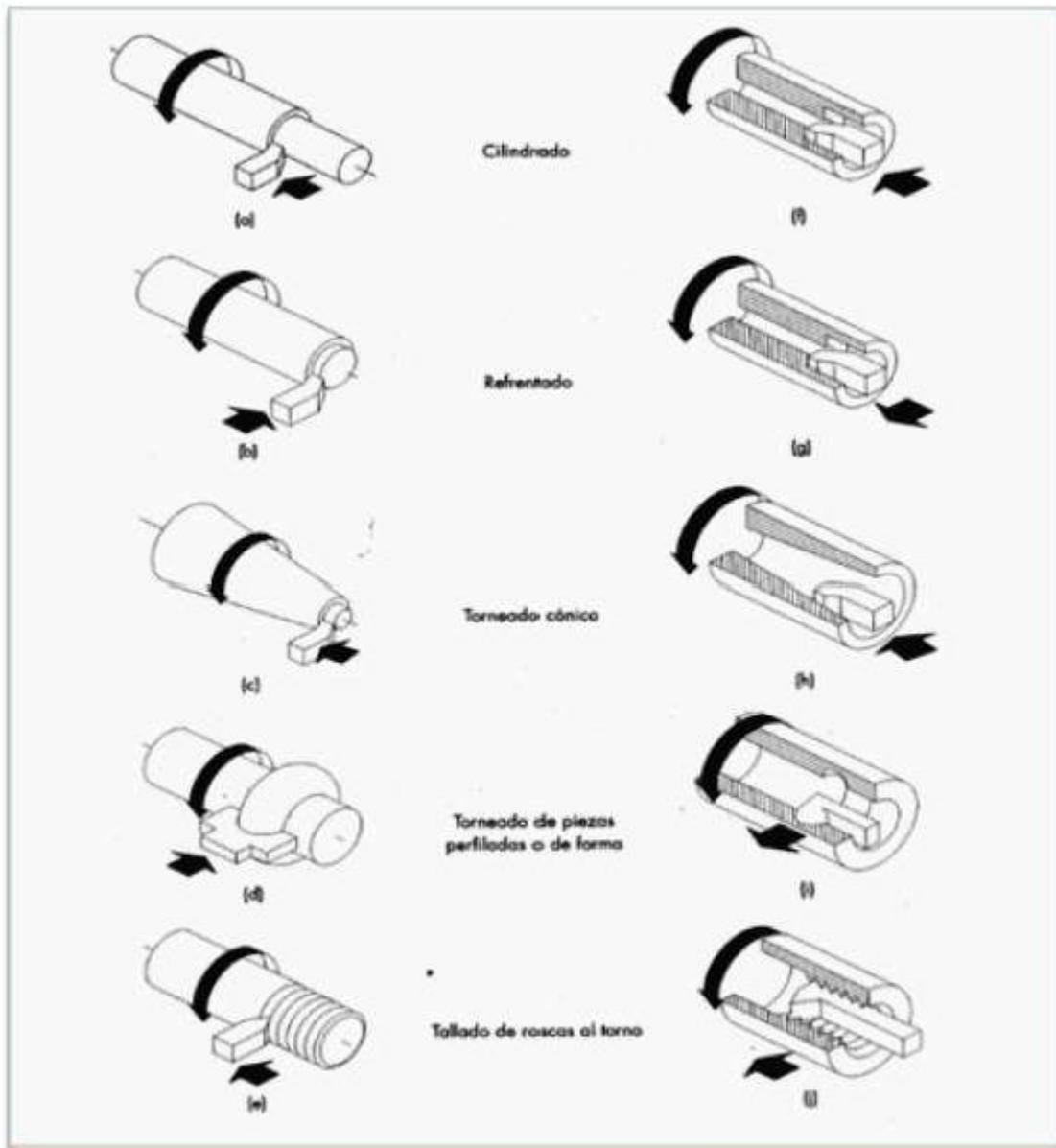
$$n = (1000V_c)/(\pi d)$$

$V_c$  está en m/min;  $d$  = en mm;  $n$  = rpm

### 1.1.6 OPERACIONES DE TORNEADO

Se muestran a continuación algunas operaciones que se pueden realizar en torno.

Figura 20 Operaciones de torneado exterior e interior<sup>18</sup>

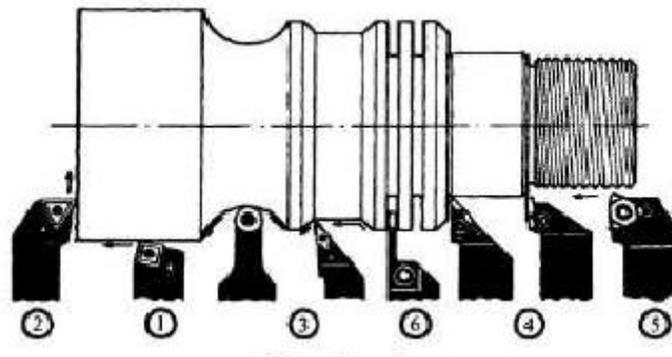


<sup>18</sup> <http://www.cps.unizar.es/~altemir/descargas/Dise%F1o%20Mecanico/>

Las imágenes hablan junto a sus títulos; cilindrado, refrentado, cónico, perfilado o de forma y roscado en torno. Se pueden realizar además, trabajos especiales como: Realización de barrenos (agujeros ciegos), de escariado (ampliación de agujeros), maleteado (grabado) de superficies, corte o tronzado y careado.

La siguiente figura detalla aun más algunas de estas tareas

Figura 21 Esquema de los tipos de acabados exteriores que se pueden obtener del proceso de torneado<sup>19</sup>



Tipos en la gráfica: 1. Cilindrado 2. Refrentado 3. Copiado Hacia fuera Hacia dentro 4. Cortes perfilados 5. Roscado 6. Tronzado

Foto 1. Mecanizado Exterior



Foto 2 Mecanizado Interior del torneado<sup>20</sup>



<sup>19</sup> [http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado\(2\).pdf](http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado(2).pdf)

<sup>20</sup> <http://www.coromant.sandvik.com/sandvik/3200/Internet/Coromant/>

### 1.1.7 TIPOS DE TRABAJOS EN TORNO

En el torno de manera regular se pueden realizar trabajos de desbastado o acabado de las siguientes superficies:

- Cilíndricas (exteriores e interiores)
- Cónicas (exteriores e interiores)
- Curvas o semiesféricas
- Irregulares (pero de acuerdo a un centro de rotación)

### 1.1.8 TERMINADO DE PIEZAS

Con el torno se logra la producción en serie o individual de piezas de alta calidad. El terminado de la piezas producto de un torno puede ser de desbaste, afinado, afinado fino o súper refinado. A continuación se observa una tabla de la clasificación de terminados:

Tabla 16 Diferentes tipos de acabado de superficies.

Actividad	Herramienta	Símbolo	Descripción de calidad
Desbaste	Buril de desbaste	^^	Las marcas que deja la herramienta son de más de 125 micras
Afinado	Buril de afinado	^^	Las marcas que deja la herramienta son de más de 124 a 60 micras
Afinado fino	Lija piedra especial de acabado	^^^	Las marcas que deja la herramienta son de menos de 35 micras
Súper afinado	Lapeador, material fibroso	^^^^	Las marcas que deja la herramienta son de menos de 5 micras.

### 1.1.9 TIPOS DE TORNOS

Existen varios tipos de tornos:

- Tornos paralelos: El eje de volteo es paralelo a la bancada.

- Tornos universales: Adopta la relación pieza herramienta posiciones de 360°
- Tornos verticales: Diseñado para mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras u otros operadores, y que por sus dimensiones o peso harían difícil su fijación en un torno horizontal.
- Tornos de copiar: Replica indefinidamente una pieza.
- Tornos Revolver: Para producir grandes cantidades de piezas iguales; tienen un solo usillo varias herramientas, hasta 20 diferentes, que actúan una por una o varias a la vez.
- Tornos automáticos: Realiza secuencia de operaciones sincronizadas mediante controles automáticos (eléctricos, mecánicos, hidráulicos, neumáticos)
- Tornos CNC: Comandados por un cerebro programable, control numérico. Equipos que se controlan por medio de cintas magnéticas o consolas de computadora. Pueden tornejar ejes de casi cualquier tamaño y forma, hacen trabajos con varias herramientas al mismo tiempo, existen tornos CN que pueden tener una torre revolver con 60 herramientas.

#### **1.1.10 PRODUCCIÓN EN TORNO**

A fin de adelantar una producción en un torno se debe alistar los siguientes documentos:

##### **1.1.10.1 Plan de Trabajo**

Que incluya los siguientes puntos:

- Número de operación
- Nombre de la operación
- Herramienta utilizada
- Velocidad de corte (consulte tablas en velocidades de corte y transmisión)
- Número de revoluciones
- Longitud de trabajo (incluyendo la  $l_a$ ,  $l_u$ )
- Tiempo principal
- Número de vueltas
- Tiempo total

- Observaciones

### 1.1.10.2 Plano de taller

Es el dibujo y las características de la pieza necesarias para la fabricación de la misma. Estos siempre deben tener un pie en el que se incluya lo siguiente:

- Nombre de lo que se va a fabricar
- Número de catálogo (cuando existe)
- Número de piezas que se van a fabricar
- Material en el que se debe construir la pieza
- Medidas en bruto del material a procesar
- Escala y acotaciones
- Responsables de diseño y de fabricación

### 1.1.10.3 Tiempos de operación

En el torno existen cuatro tiempos de operación:

- Tiempo principal. Este es el que utiliza la máquina para desprender la viruta y con ello se adquiere la forma requerida.
- Tiempo a prorratear. Tiempo que el operario requiere para hacer que la máquina funcione incluyendo armado de la máquina, marcado de la pieza, lectura de planos, volteo de las piezas, cambio de herramientas, etc..
- Tiempo accesorio o secundario. Utilizado para llevar y traer o preparar la herramienta o materiales necesarios para desarrollar el proceso. Por ejemplo el traer el equipo y material para que opere la máquina.
- Tiempo imprevisto. El tiempo que se pierde sin ningún beneficio para la producción, como el utilizado para afilar una herramienta que se rompió o el tiempo que los operadores toman para su distracción, descanso o necesidades.

El tiempo total de operación es la suma de los cuatro tiempos. De manera empírica se ha definido lo siguiente:

$$\frac{T_p}{T_{\text{total}}} = 20\% \quad \frac{T_a}{T_{\text{total}}} = 60\% \quad \frac{T_{\text{inp}}}{T_{\text{total}}} = 10\%$$

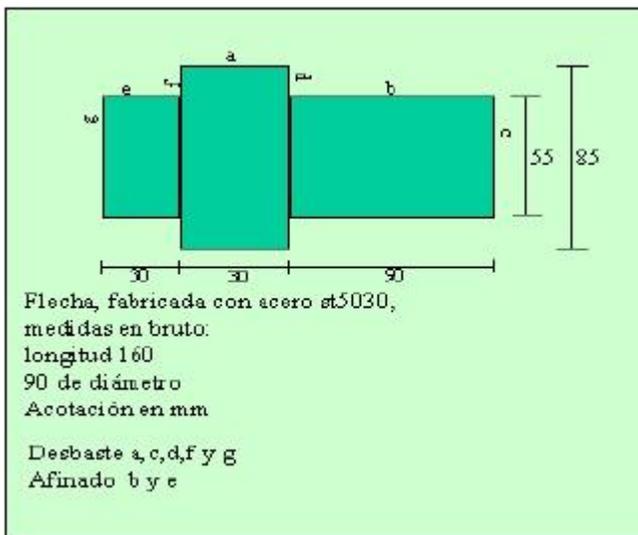
El tiempo principal se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_p = L / (S \times N)$$

En donde: L: es la longitud total incluyendo la longitud anterior ( $l_a$ ) y ulterior ( $l_u$ ), en mm. S: es el avance de la herramienta en mm/rev. N: es el número de revoluciones.

#### 1.1.10.4 Ejemplo de un Plan de Trabajo

Se va a adelantar una producción, como lo señala la ficha siguiente:



Partiendo de la longitud original, se estima una porción anterior ( $l_a$ : 5) y otra ulterior ( $l_u$ : 1), que habrán de rebajarse a lo largo, para dar la longitud final de la pieza (150 mm). La velocidad de corte, avance y profundidad se encuentran en tablas como la 15, en correspondencia al tipo de acero y la herramienta; a una velocidad de

giro  $n$  (ó  $N$ ) determinada. Aplicando las ecuaciones, se tiene:

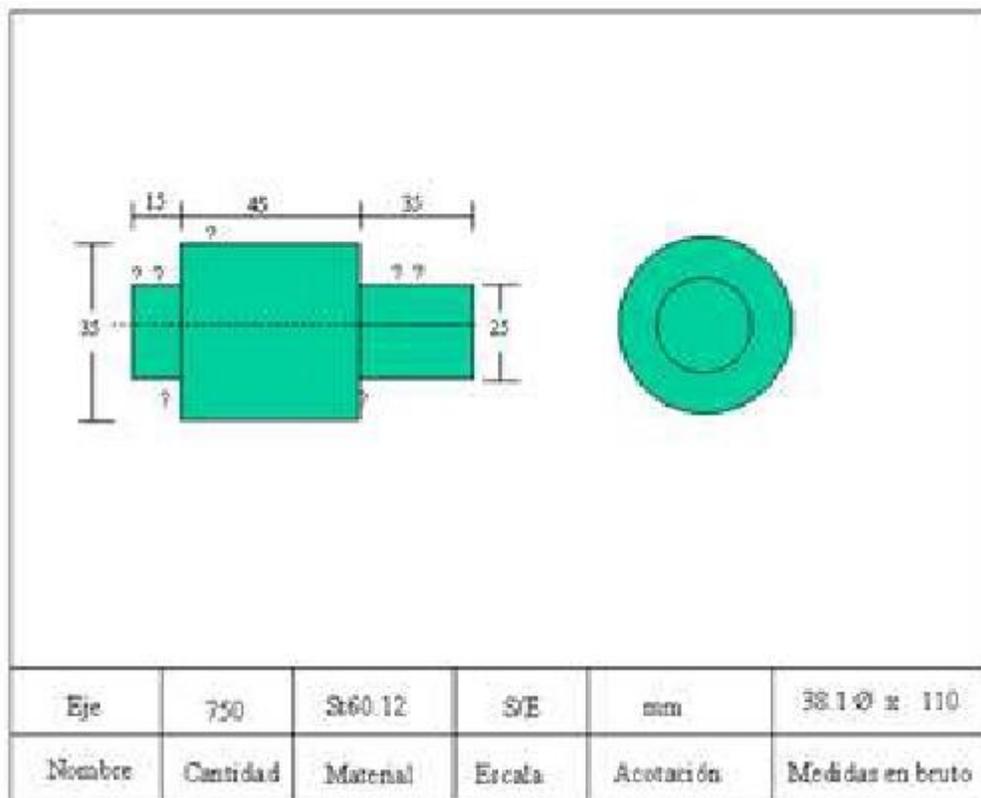
**Tabla 17 Relación de las operaciones, herramientas, y tiempos del proceso.**

n°	Operación	Herramienta	Vc	n	s	a	la	lu	I	L	Nv	tp
1	Desbaste "a"	Buril de desbaste	20	74	1	1	5	1	150	156	3	6.33
2	Careo "c"	Buril derecho	20	74	1	1	5	1	42.5	47.5	1	0.64
3	Desbaste "d"	Buril de desbaste	20	74	1	1/0.5	5	0	89	94	15	19.05
4	Careo "d"	Buril derecho	20	74	1	1	5	0	14.5	19.5	1	0.26
5	Afinado "b"	Útil de afino	24	105	0.5	0.1	5	0	90	95	1	1.8
6	Volteo	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7	Desbaste "e"	Buril de desbaste	20	74	1	1/0.5	5	0	29	34	15	6.89
8	Desbaste "f"	Buril de desbaste	20	74	1	1	5	0	14.5	19.5	1	0.26
9	Afinado "e"	Útil de afino	24	105	0.5	0.1	5	0	30	35	1	0.66
10	Careo "g"	Buril derecho	20	74	1	1	5	0	27.5	32.5	10	4.39
	TOTAL											40.28

El tiempo principal de la máquina es de 40.28 minutos, pero como este tiempo es sólo el 60% del tiempo total, se tiene que el tiempo total, para hacer esta pieza es de 67.13 minutos.

#### **1.1.10.5 Ejercicio de un plan de trabajo**

A continuación se presenta un plano de taller con las características de un eje de acero. Elabore un plan de trabajo y calcule el tiempo que tardará, con un torno horizontal, en la fabricación de los ejes solicitados. Cambie el material a un acero SAE 1045 con resistencia  $68.7 \text{ Kg/mm}^2$ , usando herramienta con ángulos SS.



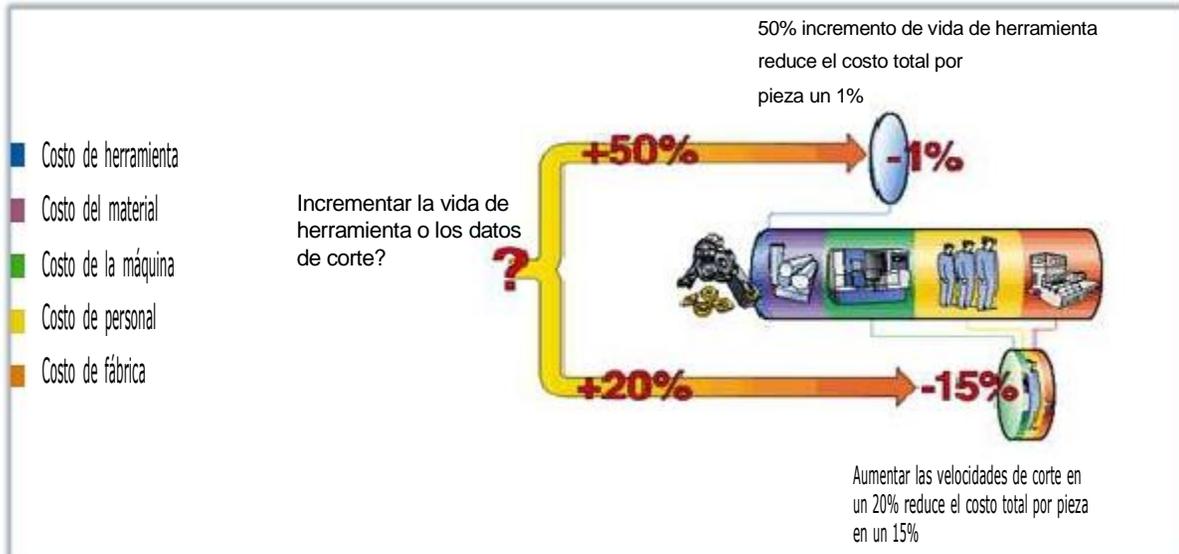
### 1.1.11 TEORÍA DE LA PRODUCTIVIDAD EN TORNEADO<sup>21</sup>

Las herramientas de corte representan una pequeña parte del costo total de la producción, aproximadamente un 3%. Por ello no sería comprensible que los clientes tendieran a descuidar éstas en sus esfuerzos por ahorrar costos. En realidad nada podría ser más erróneo! Aplicando correctamente las herramientas de corte se reducirán significativamente los costos de producción. Con geometrías específicas y calidades de alto rendimiento para aplicaciones de torneado los fabricantes de herramientas pueden ayudar a los clientes a alcanzar mayores ahorros en el costo.

<sup>21</sup><http://www.coromant.sandvik.com/sandvik/3200/Internet/Coromant/es02001.nsf/GenerateTopFrameset?ReadForm&menu=&view=http%3A//www.coromant.sandvik.com/>

La siguiente figura ilustra una relación económica entre los costos que implica la vida de la herramienta sobre los costos totales por pieza producida, para procesos de maquinado en general.

**Figura 22 Relación de costos de herramienta en un proceso de manufactura**



## LECCION 17. OPERACIONES DE FRESADO<sup>22</sup>

El fresado es una operación de maquinado en la cual se hace pasar una parte de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes. El eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular al a dirección de avance. La orientación entre el eje de la herramienta y la dirección del avance es la característica que distingue al fresado del taladrado.

El fresado es una operación de corte interrumpido; los dientes de la fresa entran y salen del trabajo durante cada revolución. Esto interrumpe la acción de corte y sujeta los dientes a un ciclo de fuerzas de impacto y choque térmico en cada

<sup>22</sup> Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas. Mikell P. Groover. Prentice Hall. 1997. Página 611.

rotación. El material de la herramienta y la geometría del cortador deben añadirse para soportar estas condiciones.

Difiere del taladrado en el que la herramienta de corte avanza en dirección paralela a su eje de rotación.

La forma geométrica creada por el fresado es una superficie plana. Se pueden crear otras formas mediante la trayectoria de la herramienta de corte o la forma de dicha herramienta. Debido a la variedad de formas posibles y a sus altas velocidades de producción, el fresado es una de las operaciones de maquinado más versátiles y ampliamente usadas.

#### **1.1.12 CLASES DE MÁQUINAS FRESADORAS**

Las principales características de una máquina fresadora son: potencia, velocidad, profundidad de corte o longitud de carrera. Su movimiento principal lo tiene la herramienta y que la mesa de trabajo proporciona el avance y algunas veces la profundidad de los cortes.

Es una de las máquinas herramienta más versátiles y útiles en los sistemas de manufactura. Las fresas son máquinas de gran precisión, se utilizan para la realización de desbastes, afinados y súper acabados. La siguiente tabla organiza los tipos centrales de fresadoras:

Tabla 18 Clasificación de las máquinas fresadoras

Máquina	Característica	Limitaciones
Fresadora horizontal	La fresa se coloca sobre un eje horizontal, que se ubica en el husillo principal. Realiza trabajos de desbaste o acabado en línea recta, generando listones o escalones. La herramienta trabaja con su periferia como se muestra en los dibujos.	La profundidad a la que puede trabajar la máquina, ya que ésta dependerá de la distancia de la periferia de la herramienta, al eje de la máquina.
Fresadora vertical	La fresa se coloca en un husillo vertical, éste al girar produce el movimiento principal. La herramienta trabaja con su periferia y con la parte frontal como se muestra en los dibujos.	La fuerza perpendicular a la que se puede someter la fresa por la mesa de trabajo, para lograr el avance.
Fresadora Universal	Combinación de una fresa horizontal y una vertical. Tiene un brazo que puede utilizarse para ubicar fresas en un eje horizontales y un cabezal que permite las fresas verticales.	El costo y el tamaño de las piezas que se pueden trabajar.

### 1.1.13 TIPOS DE HERRAMIENTAS FRESA

Existe infinidad de formas de fresas creadas para dar formas especiales a superficies, filos, bordes, cantos, guías, ranuras, alojamientos, etc.

### 1.1.14 TRABAJOS EN MÁQUINAS FRESADORAS

Los cortadores de las fresas pueden trabajar con su superficie periférica o con su superficie frontal. En el primer caso el trabajo puede ser en paralelo o en contra dirección, lo anterior se muestra en las ilustraciones. Con el trabajo en contra dirección la pieza tiende a levantarse, por lo que hay que fijar fuertemente a la misma con una prensa. Cuando el trabajo es en paralelo la fresa golpea cada vez que los dientes de la herramienta se entierran en la pieza.

Durante cada revolución los dientes de las fresas sólo trabajan una parte de la revolución, el resto del tiempo giran en vacío, lo que baja la temperatura de la herramienta.

Figura 23 Fresados según cara del corte

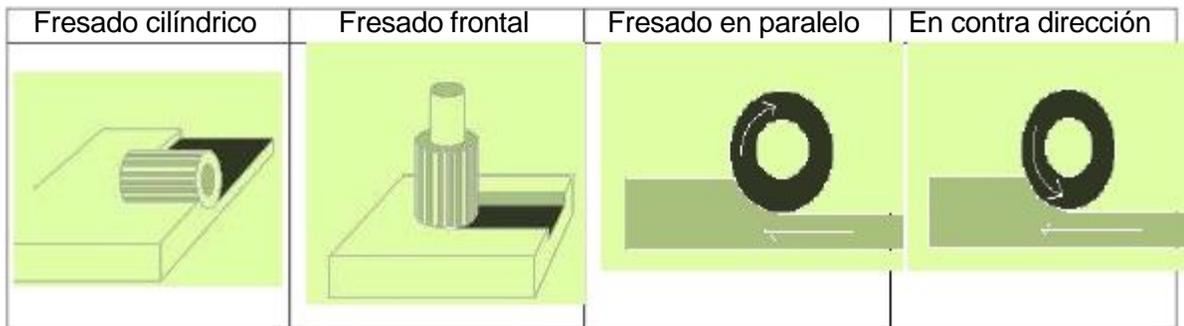


Foto 6. Fresados según posición relativa



La clasificación anterior se hace acuerdo con cual cara de la herramienta fresa se hace el corte y en su posición relativa respecto de la superficie a trabajar.

### 1.1.15 PRODUCCIÓN EN MÁQUINAS FRESADORAS

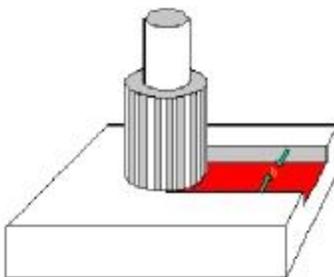
Como en todas las máquinas herramienta, en las fresas es necesario calcular el número de revoluciones a las que deben operar:  $n = (v \times 1000) / (p \times d)$

La velocidad "v" se obtiene de la tabla siguiente:

Tabla 19 Factores de trabajo en procesos de fresado

Material de trabajo		Fresa cilíndrica b=100 mm		Fresa frontal b=70 mm		Fresa de disco b= 20 mm		Fresa de vástago b=25 mm		Platos de cuchillas b=180 mm		Sierras b= 2.5 mm
		desbaste	afinado	desbaste	afinado	desbaste	afinado	desbaste	afinado	desbaste	afinado	desbaste
Acabado		a=5	a=0.5	a=5	a=0.5	a=5	a=0.5	a=5	a=0.5	a=5	a=0.5	a=10
Profundidad												
Acero sin alear hasta 65 kg/mm <sup>2</sup>	vc	17	22	17	22	18	22	17	22	20	30	45
	S'	100	60	100	70	100	40	50	120	20	50	50
Acero aleado hasta 75 kg/mm <sup>2</sup>	vc	14	18	14	18	14	18	15	19	16	23	35
	S'	80	50	90	55	80	30	40	100	65	40	40
Acero aleado hasta 100 kg/mm <sup>2</sup>	vc	10	14	10	14	12	14	13	17	14	18	25
	S'	50	36	55	42	50	25	20	65	36	30	30
Fundición gris	vc	12	18	12	18	14	18	15	19	16	24	35
	S'	120	60	140	70	120	40	60	120	100	90	50
Latón	vc	35	35	36	55	36	55	35	55	50	60	350
	S'	70	50	190	150	150	75	80	120	200	120	200
Materiales ligeros	vc	200	250	200	250	200	250	160	180	250	300	320
	S'	200	100	250	110	200	100	90	120	250	90	180

Figura 24 Ranurado



$a = 5$  mm equivale a desbaste  
 $a = 0.5$  mm equivale a afinado  
 $b$  = ancho de la fresa en mm  
 $vc$  = Velocidad de corte en m/min  
 $S'$  = Velocidad de avance en mm/min

Para calcular la capacidad de producción de una máquina fresadora, es necesario conocer la cantidad máxima de viruta que esta puede desprender. Esto se puede obtener al multiplicar una constante de desprendimiento de viruta de las máquinas fresadoras que se denomina "cantidad de viruta admisible" o  $V'$ , por la potencia de la máquina, la que se simboliza como "N".

A continuación se presenta la fórmula para calcular la cantidad máxima de viruta que puede desprender una fresa.

Cantidad máxima de viruta posible que una máquina fresadora puede desprender :

$$V = V' \times N$$

En donde:

V= cantidad máxima de viruta posible en  $\text{cm}^3/\text{min}$ .

V'= cantidad admisible en  $\text{cm}^3/\text{kw min}$  (constante que se da en tabla de viruta admisible)

N= potencia de la máquina en kw. (1 hp = 0.746 kw)

Tabla 20 Cantidad de viruta admisible en una fresadora ( $\text{cm}^3/\text{kw min}$ )

Tipo de fresa	Acero 35-60 $\text{kg}/\text{mm}^2$	Acero 60-80 $\text{kg}/\text{mm}^2$	Acero >80 $\text{kg}/\text{mm}^2$	Fundición gris	Latón y bronce rojo	Metales ligeros
Fresa cilíndrica	12	10	8	22	30	60
Fresa frontal	15	12	10	28	40	75

El conocer la cantidad máxima de viruta que en una fresa se puede desprender, nos permitirá calcular la velocidad de avance que es más adecuada para la operación de la fresa, lo que se logra despejando  $s'$  de la siguiente fórmula:

$$V = (a \times b \times s') / 1000$$

a = profundidad del fresado

b = ancho del fresado

$s'$  = velocidad de avance de la fresa

V = cantidad máxima posible de viruta

Despejando la velocidad de avance  $s'$ , tenemos:

$$s' = (V \times 1000) / a \times b$$

Aunque como se puede observar en la tabla de velocidades ya se dan algunas velocidades de avance recomendadas, el utilizar las fórmulas no puede dar mayor certeza en la programación de la máquina y con ello evitar paros imprevistos.

Con la velocidad de avance (calculada o estimada de la tabla) se puede calcular el tiempo principal que se requerirá para realizar un trabajo con una fresa, esto se puede observar a continuación.

En donde L es la longitud total, la que se compone de la suma de la longitud anterior, la longitud ulterior y la longitud efectiva

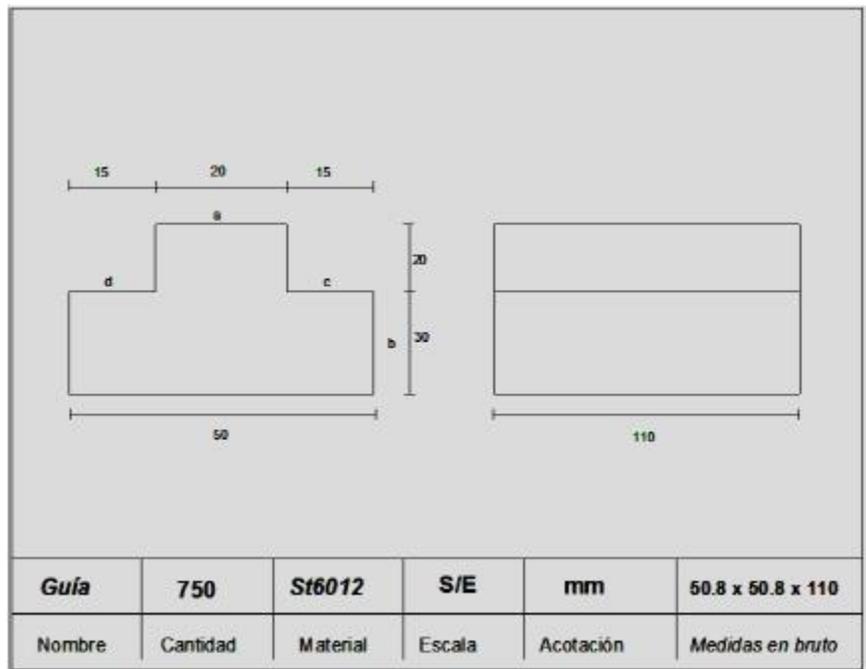
$$L = l_a + l_u$$

Se debe recordar que el tiempo principal es el 60% del tiempo total de la fabricación.

### 1.1.16 PLAN DE TRABAJO PARA FRESADO

Con el siguiente ejemplo se ilustra la elaboración de un plan. Se trata de elaborar el plan de trabajo y calcular el tiempo principal para fabricar la pieza que se indica en el siguiente plano de taller. Este trabajo se realizará con una fresa de 2.5 hp. y con un cortador de vástago de  $b=25$  mm.n.

Figura 25 Plano de Taller



Para calcular la cantidad máxima de viruta que se puede desprender con esta máquina se convierten los 2.5HP a kw-min

$$N = 2.5 \text{ hp} \times 0.746 \text{ kw/hp} = 1.865 \text{ kw}$$

Para este material (STt6012) se selecciona de la tabla la cantidad admisible de viruta que una fresa puede desprender.

$$V' = 12 \text{ cm}^3/\text{kw-min}$$

Con esta cantidad se calcula la cantidad máxima de viruta que se puede desprender con esta fresa.

$$V = V' \times N$$

$$V = (12 \text{ cm}^3/\text{kw-min})(1.865 \text{ kw}) = 22.38 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Con la cantidad máxima de viruta que se puede desprender se puede calcular la velocidad del avance de la máquina que es recomendable utilizar.

$$S' = (V/1000)/(a \cdot b)$$

$$S' = (22.38 \text{ cm}^3 \times 1000 \text{ mm}^3/\text{cm}^3)/(5 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}) = 179.04 \text{ mm/min}$$

Con los datos anteriores se puede construir un plan de trabajo en el que se obtengan los tiempos principales que serán necesarios para fabricar la guía del plano.

**Tabla 21 Factores en procesos de fresado**

#	Actividad	a	b	V	S'	l	la	lu	L	tp	Pas	#vuel	Tp
1	Desbaste "a"	0.8	25	22.4	179	110	15	15	140	0.8	1	4	3.2
2	Desbaste "b"	1.6	25	22.4	179	110	15	15	140	0.8	1	2	1.6
3	Desbaste "c"	5	25	22.4	179	110	15	15	140	0.8	4	2	6.4
4	desbaste "d"	5	25	22.4	179	110	15	15	140	0.8	4	2	6.4
	Total												17.6

Como Tp es el 60% del tiempo total se debe obtener el 100% del tiempo necesario para la fabricación de la guía de la siguiente manera:

$$17.6 \text{ es a } 60 \text{ como } X \text{ es a } 100 \quad \text{luego} \quad X = (17.6 \times 100)/60 = 29.33 \text{ min}$$

Como son 750 piezas con una sola máquina requeriríamos 29.33 min x 750 piezas = 21,997.5 min. En días laborables de ocho horas son 45.83 días.

Se recomienda fabricar en el taller esta guía. Para evitar la ruptura de los cortadores use en lugar del acero recomendado un pedazo de aluminio o nylamine.

A tener presente, de esta tabla, en este ejemplo:

No obstante que en las operaciones 1 y 2 se podría haber seleccionado una velocidad de avance mayor debido a que la penetración es sólo para emparejar se decidió tomar la velocidad de avance S' máxima, como si se tuvieran 5 mm de profundidad.

Las longitudes anterior (la) y ulterior (lu) se toman de 15 mm debido a que como el cortador de la fresa es circular por lo menos debe haber salido del corte la mitad del mismo para que termine su trabajo. Así que se toma en ambos casos un poco más de la mitad del cortador.

Las pasadas (Pas) es el número de veces que se debe pasar la herramienta con la profundidad (a) indicada, para llegar hasta la dimensión de profundidad necesaria.

Número de vueltas (#Vuel) se refiere al número de veces que debe recorrer la longitud total (L) la fresa con la profundidad indicada, para cubrir la superficie a desbastar.

## LECCION 18. OPERACIONES DE TALADRADO<sup>23</sup>

De todos los procesos de maquinado, el taladrado es considerado como uno de los procesos más importantes debido a su amplio uso. El taladrado es un proceso de maquinado por el cual produce agujeros (agujeros completos o agujeros ciegos).

<sup>23</sup> <http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-taladrado.htm>

Una de las máquinas más simples empleadas en los trabajos de producción es el taladro prensa. Esta máquina produce un agujero en un objeto forzando contra él una broca giratoria. Otras máquinas obtienen el mismo resultado a la inversa, conservando estacionaria la broca y girando el material. A pesar de que esta máquina es especializada en taladrado, efectúa un número de operaciones similares con la adición de las herramientas apropiadas.

En este tipo de máquina, la herramienta que se utiliza es la broca. Una broca es una herramienta de corte rotatoria la cual tiene uno o más bordes de corte con sus correspondientes ranuras las cuales se extienden a lo largo del cuerpo de la broca. Las ranuras pueden ser helicoidales o rectas, las cuales sirven de canales o ductos para la evacuación de las virutas así como para la adición del fluido de corte. La mayoría de brocas poseen dos ranuras pero aun así se emplean brocas que posean tres o cuatro ranuras las cuales son conocidas como brocas de núcleo.

Con respecto a los agujeros, en manufactura, son producidos en una cantidad considerable, siendo estos los de mayor tasa de producción que cualquier otra forma que se haga. Una gran proporción de estos agujeros son hechos por un proceso ampliamente conocido: el taladrado.

El taladrado es un proceso de maquinado muy importante debido a su gran uso en la industria. El taladrado hace un 25 % del porcentaje de producción de todos los procesos de maquinado. El taladrado es un proceso relativamente complejo a pesar de que aparenta ser muy sencillo.

Es una operación de maquinado con arranque de viruta que consiste en producir un agujero en una pieza de trabajo. El taladrado se realiza por lo general con una herramienta cilíndrica rotatoria, conocida como broca, la cual tiene dos bordes cortantes en sus extremos.

En este proceso, se realizan dos movimientos: el movimiento de corte y el movimiento de avance. Estos dos movimientos siempre se realizan, salvo en máquinas de taladrado profundo, en las cuales no hay movimiento de corte ya que la pieza se hace girar en sentido contrario a la broca.

### 1.1.17 DIVERSOS TIPOS DE TALADROS

En el medio comercial y productivo se encuentra una amplia variedad de máquinas para taladrar, entre las que se encuentran los siguientes tipos:

Taladro en Serie	Taladro Radial	Taladro Múltiple	Taladro Horizontal
			

1.1.  
18

PART

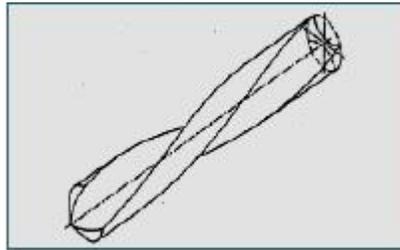
Las  
p  
art  
es  
pr  
inci

pales de la broca son las que aparecen en las gráficas siguientes<sup>24</sup>

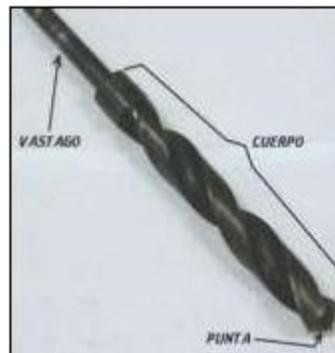
24

<http://www.uca.edu.sv/facultad/ing/mecarch/m210035/SECUNDARIO/TALADRADO3>.

**Figura 26 Broca, herramienta de corte para taladrado**



**Figura 27 Partes de la broca**



Las brocas poseen dos ángulos principales, los cuales se ilustran a continuación:

**VÁSTAGO.** Es la parte de la broca que se coloca en el porta broca o husillo y la hace girar. Los vástagos de las brocas pueden ser rectos o cónicos.

**CUERPO.** Es la parte de la broca comprendida entre el vástago y la punta. Este a su vez consta de acanaladuras cuya función es la de dejar entrar el fluido refrigerante y dejar escapar la viruta.

También en el cuerpo se encuentra una parte llamada margen, la cual es una sección estrecha, que esta realzada del cuerpo, inmediatamente después de las acanaladuras.

**PUNTA.** Esta consiste en todo el extremo cortante o filo cónico de la broca. La forma y condiciones de la punta son muy importantes para la acción cortante de la broca.

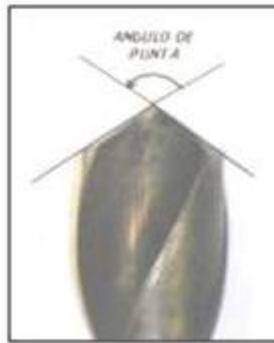


Foto 7. Ángulos principales de la broca



Foto 8. Ángulos principales

### 1.1.19 TIPOS DE BROCAS ESPECIALES

Según el material y tipo de trabajo, hay tipos de brocas para trabajos especializados.

Foto 9. Brocas Especiales

Metales Duros	Mandrinado y Escariado	Agujeros Profundos	Alta Velocidad
			

## 1.1.20 TIPOS DE TRABAJOS DE TALADRADO

Además de la perforación normal de Agujeros, se pueden practicar los siguientes:

### 1.1.20.1 Barrenado

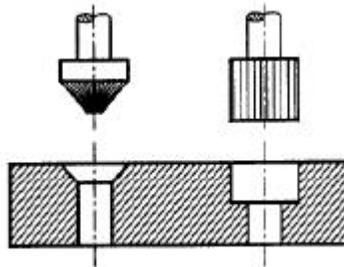
Perforaciones pasantes con terminado de gran calidad, se consideran como operaciones de ajuste, mas que de perforación. La barrena es una herramienta sin punta y de varios filos.

Foto 10. Barrenas



### 1.1.20.2 Avellanado

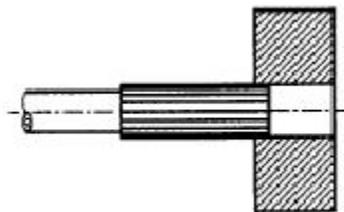
Figura 28 Brocas avellanadoras



El avellanado permite trabajar agujeros previamente taladrados o provenientes de fundición. Esta broca avellanadora o avellanador posee varios filos y el trabajo de desbaste es menor que en el taladrado normal.

### 1.1.20.3 Escariado

Figura 29 Brocas escariadoras



Normalmente los taladrados se rematan por medio de operaciones de escariado, que se llevan a cabo para obtener un buen acabado interior del taladrado. El

escariador es una herramienta de filos múltiples y rectos pero de irregular longitud para evitar el rayado del agujero.

### 1.1.21 PROGRAMA DE TRABAJO PARA TALADRADO

Para la programación del trabajo en las máquinas de taladrar es necesario aplicar la velocidad de corte y el avance adecuados.

Todas las máquinas herramienta están sujetas a la buena utilización la velocidad de corte, la cual es igual a:

$$V_c = (\pi D N)/1000$$

$V_c$  = velocidad de corte  
 $D$  = diámetro de la herramienta  
 $N$  = número de revoluciones de la herramienta

Para programar el tiempo que se utilizará la máquina para un trabajo de barrenado determinado es necesario utilizar la fórmula de tiempo principal y aplicarla, como antes.

$$T_p = L/(S \times N)$$

$T_p$  = tiempo principal utilizado en min  
 $L$  = longitud total de trabajo incluyendo la longitud anterior y ulterior  
 $S$  = avance recomendado en mm/rev  
 $N$  = número de revoluciones por minuto de la herramienta

A continuación se presentan algunas velocidades de corte y los avances recomendados para brocas y barrenas.

**Tabla 22 Velocidades de corte y avance recomendados para barrenas con dientes en espiral**

	Acero de herramientas (HS)		Acero rápido (SS)	
	Vc m/min	S mm/rev	Vc m/min	S mm/rev
Fundición gris 12 -18	8 -12	0.1 - 0.4	20 - 30	0.15 - 0.7
Fundición gris 18 - 30	3-6	0.1 - 0.4	15 - 20	0.1 - 0.4
Acero < 50	12 - 14	0.1 - 0.3	20 - 35	0.1 - 0.65
Acero 50 -70	8-9	0.1 - 0.3	20 - 30	0.1 - 0.55

Tabla 23 Velocidades de corte y avance para brocas de acero rápido (SS)

Material		5	10	15	20	25	30	Refrig.
<b>ACERO</b>	S	0.07	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	ToC
ST 60 a 80 kg/mm <sup>2</sup>	V	12	14	16	18	21	23	
<b>Fundición gris</b>	S	0.15	0.24	0.3	0.32	0.35	0.38	S
18 kg/mm <sup>2</sup>	V	24	28	32	34	37	39	
<b>Fundición gris</b>	S	0.15	0.24	0.3	0.33	0.35	0.38	S
22 kg/mm <sup>2</sup>	V	16	18	21	24	26	27	
<b>Latón</b>	S	0.1	0.15	0.22	0.27	0.3	0.32	T
40 kg/mm <sup>2</sup>	V	65	65	65	65	65	65	
<b>Bronce</b>	S	0.1	0.15	0.22	0.27	0.3	0.32	ToS
30 kg/mm <sup>2</sup>	V	35	35	35	35	35	35	
<b>Aluminio</b>	S	0.05	0.12	0.2	0.3	0.35	0.4	ToC
puro	V	100	100	100	100	100	100	

Refrigerantes: T = taladrina C = aceite de corte o de refrigeración S = seco

## LECCION 19. OPERACIONES DE CEPILLADO

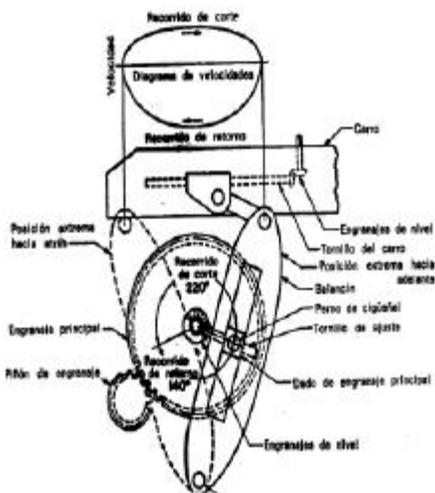
La cepilladora para metales se creó con la finalidad de remover metal para producir superficies planas horizontales, verticales o inclinadas, dónde la pieza de trabajo se sujeta a una prensa de tornillo o directamente en la mesa. Las cepilladoras tienen un sólo tipo de movimiento de su brazo o carro éste es de vaivén, mientras que los movimientos para dar la profundidad del corte y avance se dan por medio de la mesa de trabajo.

Fotografía 27. Cepilladora para metales



Los cepillos emplean una herramienta de corte de punta, semejante a la del torno. Ésta herramienta se fija a un portaburiles o poste, fijado a su vez a una corredera o carro, como ya se mencionó, esta tiene movimiento de vaivén, empujando la herramienta de corte de un lado a otro de la pieza. La carrera de la corredera hacia adelante es la carrera de corte. Con la carrera de regreso, la herramienta regresa a la posición inicial. Cuando regresa, la mesa y la pieza avanzan la cantidad deseada para el siguiente corte, es decir, un arete (carro) impulsa la

herramienta de corte en ambas direcciones en un plano horizontal, con un movimiento alterno. Éste movimiento rectilíneo alternativo comprende una carrera activa de ida, durante la cual tiene lugar el arranque de viruta, la carrera de retorno pasiva en vacío. Esta es la mayor de las máquinas herramientas de vaivén. Al contrario que en las perfiladoras, donde el útil se mueve sobre una pieza fija, la cepilladora mueve la pieza sobre un útil fijo. Después de cada vaivén, la pieza se mueve lateralmente para utilizar otra parte de la herramienta. Al igual que la perfiladora, la cepilladora permite hacer cortes verticales, horizontales o diagonales. También puede utilizar varios útiles a la vez para hacer varios cortes simultáneos.



Para el vaivén del carro se usa una corredera oscilante con un mecanismo de retorno rápido. Los cepillos de codo son también conocidos como máquinas mortajadoras horizontales, pueden trabajar piezas de hasta 800mm de longitud y generan acabados de desbaste (Ñ) o de afinado (ÑÑ)

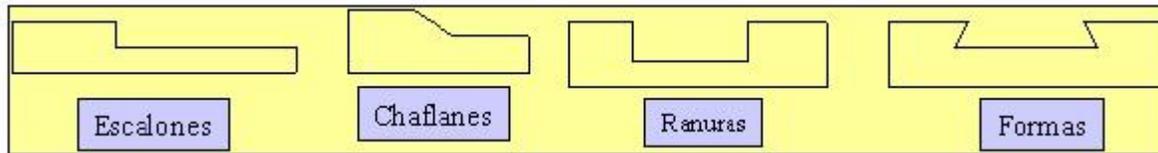
A pesar de que las cepilladoras se usan comúnmente para maquinar piezas de gran tamaño, también se utilizan para maquinar

simultáneamente un número de partes idénticas y menores, que se pueden poner en línea sobre la mesa.

El tamaño de un cepillo está determinado por la longitud máxima de la carrera, viaje o movimiento del carro. Por ejemplo, un cepillo de 17l puede maquinar un cubo de 17l.

Los cepillos pueden generar escalones, chaflanes, ranuras o canales de formas especiales.

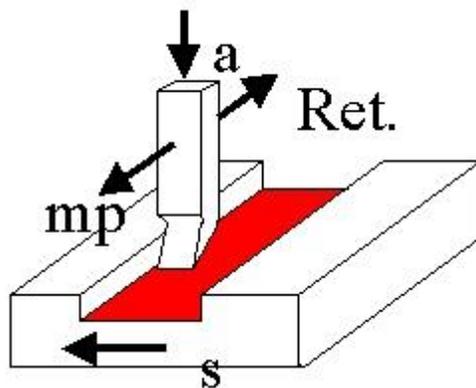
Figura 30 Mecanismo Cepilladora de codo



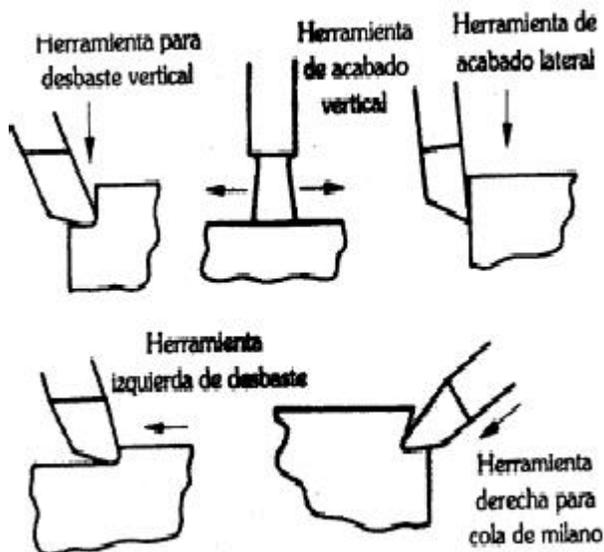
El movimiento principal lo tiene la herramienta, la cual va sujeta a una torre del brazo o ariete del cepillo.

El movimiento de avance lo proporciona la mesa de trabajo por medio de un dispositivo llamado trinquete, el cual durante la carrera de trabajo de la herramienta no se mueve, pero al retroceso sí lo hace.

Figura 31 Movimientos en la Cepilladora



mp = movimiento principal  
S = avance  
Ret. = retroceso  
a = penetración



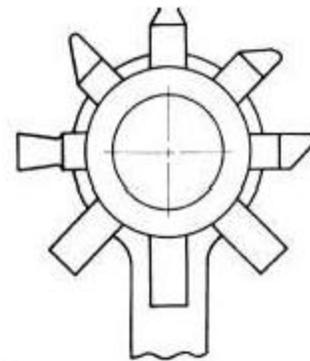
El movimiento de penetración en el cepillo se logra por medio del ajuste de la mesa de trabajo.

Las herramientas de corte que se usan en los cepillos son semejantes a las que se usan

en los tornos. La figura muestra herramientas de corte para diversas operaciones de maquinado que se llevan a cabo con el cepillo. La mayor parte de las herramientas de corte para cepillos sólo necesitan una pequeña cantidad de desahogo; por lo general de 3 a 5° para desahogo frontal y lateral. Los ángulos de inclinación laterales varían según el material que se esté maquinando. Para el acero se usa por lo general de 10 a 15°. El fierro colado necesita de 5 a 10° y el aluminio de 20 a 30° de inclinación lateral.

Los portaherramientas que usan los cepillos de codo también se asemejan a los de los tornos. Sin embargo, el agujero cuadrado por el que pasa la herramienta es paralelo a la base en los portaherramientas para cepillo. Con frecuencia se usa el portaherramientas universal o de base giratoria.

Como se ve en la figura el portaherramientas universal se puede girar para cinco tipos distintos de cortes:



En los cepillos se usan varios tipos de sujetadores de piezas. En cada tipo se necesita prensar la pieza en forma rígida. Si la pieza se mueve durante una operación, puede dañar seriamente al cepillo, o al operador.

La mayor parte de las piezas por maquinar en el cepillo se pueden sujetar en una prensa. Las barras paralelas se usan para soportar a la pieza sobre las quijadas de la prensa, en sentido paralelo a la mesa y parte inferior de la prensa. También se utilizan las bridas y los tornillos en T para fijar a las piezas o a las prensas sobre la mesa de trabajo.

La velocidad de un cepillo es el número de carreras de corte que hace el carro en un minuto. La que se seleccione para el cepillo depende de lo siguiente:

- Tipo del material que se va a cortar.
- Tipo de herramienta de corte.
- Rigidez de la preparación y de la herramienta de maquinado.
- Profundidad de corte.
- Uso de fluidos de corte.

Existen tablas para determinar el número de dobles carreras recomendables, más adelante se muestra una de esas tablas.

El avance en el cepillo es la distancia que recorre la pieza después de cada carrera de corte. Por lo general, el avance necesario depende de las mismas variables que determinan las velocidades de corte. Los avances del cepillo de manivela se regulan mediante una biela de avance.

### 1.1.22 PRODUCCIÓN EN UNA CEPILLADORA

Para el cálculo de la producción de la máquina cepilladora es necesario conocer el número de dobles carreras que se deben realizar, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = V_m / (2L)$$

n = número de dobles carreras  
 $V_m$  = velocidad media de la máquina en m/min  
 L = longitud a cepillar más las longitudes anterior y posterior en metros

La velocidad media de la máquina se puede obtener de la siguiente fórmula o tabla de datos.

Fórmula para la obtención de la velocidad media

$$V_m = 2 ((v_a \times v_r) / (v_a + v_r))$$

$v_a$  = velocidad de trabajo  
 $v_r$  = velocidad de retroceso

Estas se obtienen de dividir la longitud total L (m) entre el tiempo que la máquina tarda en la carrera de trabajo o de retroceso.

$$v_a = L/t_a$$

$$v_r = L/t_r$$

No olvidar que:

$$L = l_a + l_u + l$$

$l_a$  se recomienda = 0.1 m y  $l_u$  se recomienda = 0.05 m

**Tabla 24 Para determinar la velocidad de corte (m/min)**

Herramientas	Resistencia del acero			Fundición gris	Bronce rojo o latón
	40	60	80		
Acero HS	16	12	8	12	20
Acero rápido SS	22	16	12	14	30
Para $s = 1$ a $2$ mm/dc				Para $s = 0.5$	
$v_r = 2 v_a$				$a = 3 s$	

**Tabla 25 Elección de dobles carreras**

Dobles carreras	Longitud de carrera en mm			
	100	200	300	400
28	5.3	10.2	14.2	18.2
52	9.8	19	26.2	33.6
80	15.2	29	41	52

Para calcular el tiempo principal haga lo siguiente:

Calcule el número de dobles carreras que serán necesarias para el trabajo de la pieza por medio de la fórmula:

$$Z = B/s$$

Z es el número de dobles carreras para el trabajo total en la pieza

B es el ancho de la superficie a trabajar en mm ( $B=b+10$ )

S es el avance de la máquina

Calcule el tiempo que la máquina utiliza en cada doble carrera.

Ta: tiempo que ocupa la máquina en la carrera de trabajo (min)

Tr: tiempo que ocupa la máquina en la carrera de retroceso (min)

T: tiempo total de una doble carrera (min)

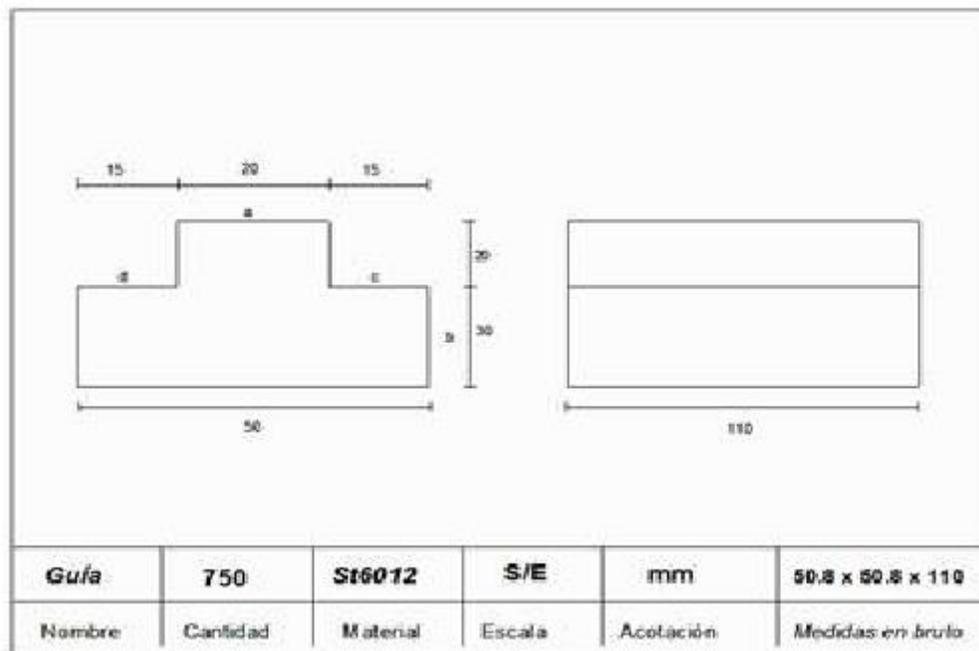
Calcule el tiempo principal de cepillado por medio de la siguiente fórmula.

$$t_p = Z \times t$$

Z, fue calculada en el paso a  
t, fue calculado en el paso b

### 1.1.23 EJERCICIO

Elaborar un plan de trabajo para fabricar una pieza como la que se muestra en el siguiente dibujo; fabríquese en taller. Compare el tiempo real con el calculado teóricamente. Utilizar acero SAE 1045.



## LECCION 20. OPERACIONES DE ASERRADO

El aserrado es un proceso básico de desprendimiento de viruta que emplea una hoja triscada con una serie de dientes en el borde. Se usa para realizar una entalladura angosta en la pieza de trabajo. El aserrado puede servir para producir ranuras o estrías, o para partir una pieza de trabajo en dos.<sup>25</sup>

<sup>25</sup>

[http://www.toolingu.com/tu/Cortar\\_Metales\\_\(espa%C3%B1ol\)/Fundamentos\\_del\\_aserrado/Fundamentos\\_del\\_aserrado.html](http://www.toolingu.com/tu/Cortar_Metales_(espa%C3%B1ol)/Fundamentos_del_aserrado/Fundamentos_del_aserrado.html)

Para el aserrado de un material es necesario tener en cuenta tres factores: el diámetro del disco, su agujero central y el número de dientes del que está provisto. Del mismo modo, se deben conocer el tipo de aserrado, la velocidad de avance, el espesor del material a aserrar, la naturaleza del material y el acabado superficial del material una vez aserrado.

Se pueden aserrar, láminas, tubos (huecos o macizos) y perfiles metálicos y plásticos, maderas, productos cárnicos como pescado, carne y embutidos y productos cerámicos.

Existen diferentes herramientas de corte para realizar el proceso de aserrado, entre estas están desde los primarios serruchos con hojas de sierra, hasta las sierras de disco o circulares, horizontales, universales y múltiples.

Con respecto a las sierras en forma de disco y las hojas de sierra, se tienen en el mercado tipos y formas de dientes.

La hoja de sierra, es una lámina de acero al carbono, o acero rápido, templada, provista de unos dientes que efectúan la operación de corte.<sup>26</sup>

Las características que definen una hoja de sierra son:

- ✓ Tamaño: Es la distancia que hay entre los centros de las dos puntas por los que se fija al arco. Los más usuales son: 250, 275, 300 y 350 mm, aunque el más empleado es el de 300 mm o de 12" (305 mm).
- ✓ La anchura oscila entre 13 y 15 mm cuando corta por un solo canto, y 25 mm cuando lo puede hacer por los dos.
- ✓ El espesor de la hoja varía entre 0,7 y 0,8 mm.

---

<sup>26</sup>

[http://www.etutors-portal.net/Spanish%20Language%20Folder/Tecnologia/MantElectrom/M2\\_U3\\_MAQUINAS\\_CORTE.pdf](http://www.etutors-portal.net/Spanish%20Language%20Folder/Tecnologia/MantElectrom/M2_U3_MAQUINAS_CORTE.pdf)

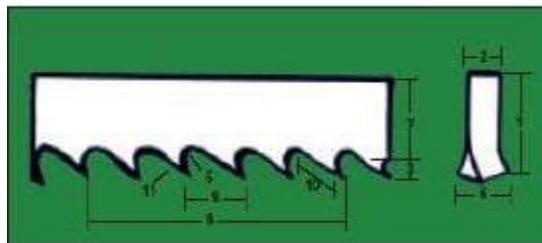
- ✓ Disposición de los dientes: Es la colocación de los mismos, doblados alternativamente en un sentido o en otro, con el fin de que la hoja no roce con sus caras laterales contra la pieza. A esta disposición de los dientes se le llama triscado (Ver Figura 33).

Otra forma de lograr el efecto del triscado consiste en dar una pequeña ondulación a la parte de la hoja que contiene los dientes.

- Grado de corte: es el número de dientes que hay por cada centímetro de longitud de la sierra (en algunos casos será el número de dientes que hay por pulgada).

A la separación que existe entre dos dientes consecutivos se le llama paso. Éste puede variar entre 0,8 y 2 mm.

Figura 32 Características de las hojas de Sierra de corte



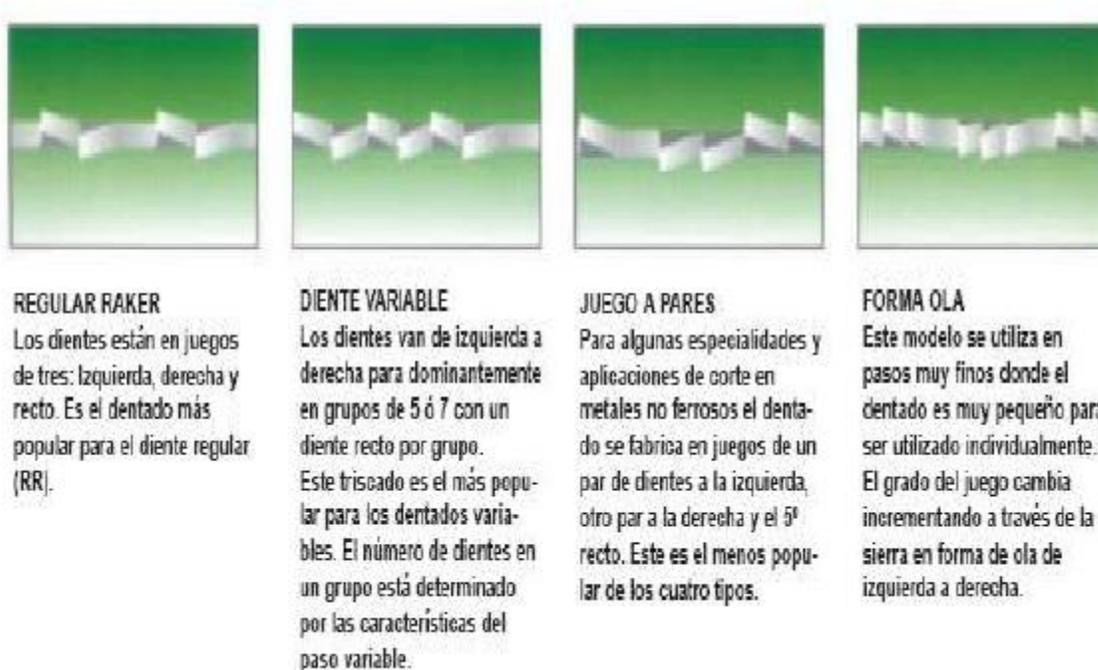
Las sierras manuales suelen tener 14, 16, 18, 22 y 32 dientes por pulgada. La elección de la hoja de sierra vendrá determinada por la dureza y espesor del material a cortar. Para metales duros iremos por sierras de paso pequeño (de 22 a 32 dientes por pulgada). Para metales de dureza media (trabajos normales), tomaremos hojas de 16 a 22 dientes.

Para materiales estrechos o tubos, también elegiremos hojas de sierra de paso pequeño. Conviene saber que cuantos más dientes tenga la hoja más fino será el corte que realice, pero el precio del disco también será mayor.

- 1.- ANCHO: De la punta del diente a la parte trasera de la hoja.
- 2.- ESPESOR: El grosor de la hoja.
- 3.- DIENTE: La parte cortante de una sierra.

- 4.- GARGANTA: El área curvada en la base del diente.
- 5.- CARA DEL DIENTE: Superficie cortante del diente.
- 6.- TRISCADO: La zona inclinada de los dientes a derecha e izquierda que permite a la parte de atrás de la hoja (cuerpo de la hoja) no rozar con el material.
- 7.- CUERPO DE LA HOJA: El cuerpo de la sierra sin incluir los dientes de corte.
- 8.- DIENTES POR PULGADA (T.P.I.): Nº de dientes por 25,4 mm. de longitud.
- 9.- PASO DEL DIENTE: Distancia de la punta de un diente a la punta del siguiente.
- 10.- PROFUNDIDAD GARGANTA: Distancia de la punta del diente a la parte de atrás de la garganta.
- 11.- TRASERA DEL DIENTE: Superficie del diente opuesta al filo de corte.

Figura 33 Modelos de triscado

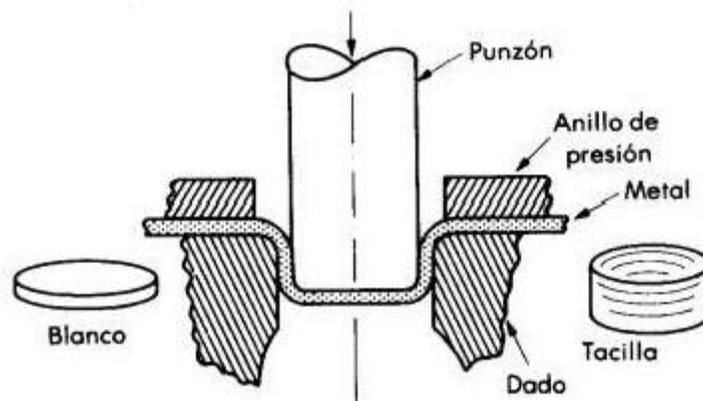


## CAPÍTULO SEGUNDO: PROCESOS POR CONFIGURACIÓN MECÁNICA

### LECCION 21. EMBUTIDO PROFUNDO

El embutido profundo es una extensión del prensado en la que a un tejo de metal, se le da una tercera dimensión considerable después de fluir a través de un dado (Figura 34). El prensado simple se lleva a cabo presionando un trozo de metal entre un punzón y una matriz, así como al indentar un blanco y dar al producto una medida rígida. Latas para alimentos y botes para bebidas, son los ejemplos más comunes.

Figura 34 Embutido

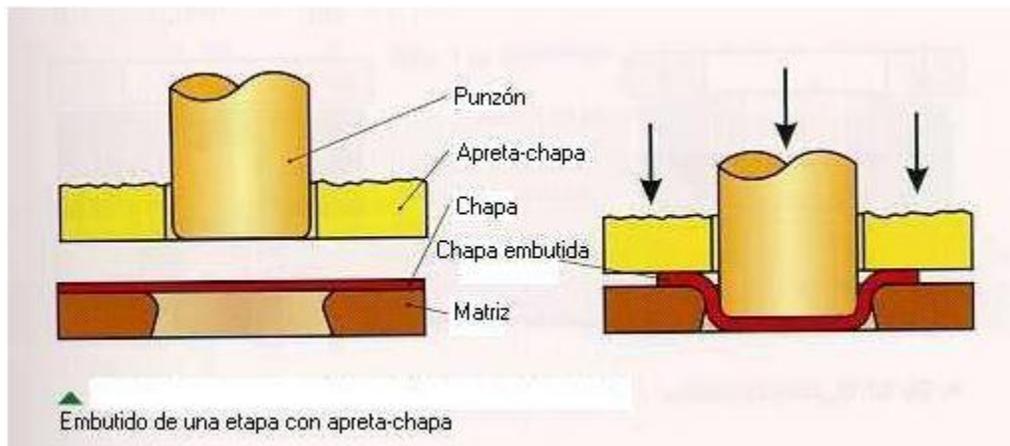


El Embutido de Chapas Metálicas es uno de los procedimientos más comunes elaboración de piezas huecas, para diversas aplicaciones que van desde el hogar, la oficina y en la industria en general.

Este proceso puede llevarse a cabo únicamente en frío. Cualquier intento de estirado en caliente, produce en el metal un cuello y la ruptura. El anillo de presión, evita que el blanco se levante de la superficie del dado, dando arrugas radiales o pliegues que tienden a formarse en el metal fluyendo hacia el interior desde la periferia del orificio del dado.

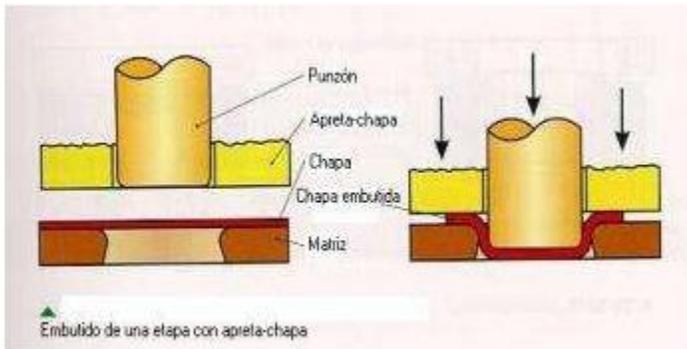
### 2.1.1 HERRAMIENTAS DE EMBUTIDO

Con éste tipo de herramientas de embutición profunda se confeccionan partiendo de discos o piezas recortadas según el material, piezas huecas, e incluso partiendo de piezas previamente embutidas, estirarlas a una sección menor con mayor altura. No se pretende con ésta operación generalmente una variación del espesor del material



### 2.1.2 PROCESO DE EMBUTICION

Las piezas recortadas o discos a emplear se disponen en el asiento o anillo de centrado, fijado a la matriz de embutir, con la finalidad de centrar el disco en el proceso de embutición. Un dispositivo pisador aprieta el disco contra la matriz de embutir con la finalidad de que no se produzcan pliegues. El punzón de embutir al bajar estira el material sobre los bordes rebordados de la matriz, de modo que se produzca una pieza hueca. El desplazamiento de todos los cristales en que está constituido el material a embutir es radical en toda su magnitud. Cada uno de los cristales del material se desplaza, en la medida de que este se desliza en la abertura entre el punzón y la matriz.



El desplazamiento del material en ese instante es semejante al flujo de agua por el rebosadero de una presa. Cuando se pretende que el espesor del material no se altere durante el proceso de embutido, el área de la

pieza original (disco recortado) debe ser igual al área de la superficie de pieza embutida.

La fricción es un factor que debe tomarse en cuenta por cuanto el material se desliza en la abertura entre el punzón y la matriz. Por lo tanto esta área debe estar pulida y lapeada. Esto reduce la carga necesaria para el desarrollo del embutido. El achaflanado de los bordes de la matriz ayuda a la chapa a resbalar por la pared del agujero, facilitando la operación de embutir. Facilitan también el embutido la lubricación adecuada, del disco recortado y de la herramienta en su conjunto.

El juego que queda entre el punzón y la matriz de embutir tiene que ser mayor que el espesor de la chapa. Se han acreditado como conveniente para el caso de chapas de acero, holguras de 1,12 a 1,30 veces el espesor de la chapa, para chapas de latón, holguras de 1,08 a 1,20 veces el espesor, para chapas de aluminio la holgura es de 1,04 a 1,10 veces el espesor.

### 2.1.3 DETERMINACION DE LA PIEZA RECORTADA Y SUCESION DE FASES.

Antes de poder empezar a fabricar una herramienta para embutir hay que determinar la forma y el tamaño del recorte de la chapa, así como el número de las fases y las dimensiones de la herramienta para cada fase de embutición.

Para determinar el diámetro del disco para piezas embutidas cilíndricas, hay que calcular la dimensión superficial de la pieza. Esta dimensión superficial se compone de la superficie del fondo más de la pared lateral. El área de la pieza a recortar (disco) tiene que ser igual a la de la pieza a obtener. De aquí se determina entonces el diámetro de recorte. Del mismo modo se determina el diámetro del recorte para piezas embutidas que vayan provistas de bridas, un talón cilíndrico o fondo hemisférico. Los diámetros así calculados proporcionan piezas embutidas tan altas que es necesario recortar en ellas el reborde. El recortado es necesario porque con solo en piezas con embutición pequeñas, la altura es uniforme.

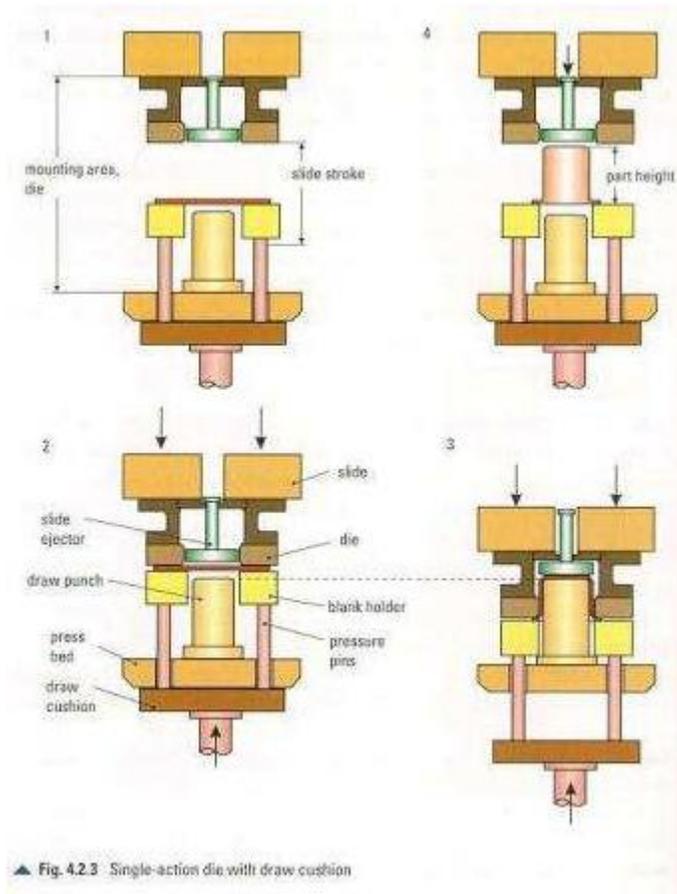
El número de fases o de etapas de embutición depende de la relación que exista entre la magnitud del disco y de las dimensiones de la pieza embutida, de la facilidad de embutición del material y del espesor de la chapa. Cuando más profundidad haya de darse a la pieza a embutir, tanto más etapas serán necesario para la embutición y con ello tanto más herramientas y operaciones. Por ello es necesario prever la forma de realizar siempre operaciones con el menor número de etapas o de piezas simple.

## **2.1.4 TIPOS DE HERRAMIENTAS DE EMBUTIDO**

### **2.1.4.1 Herramienta de Embutido de Acción Simple.**

En este tipo de herramienta el disco recortado a embutir se fija en su asiento, al actuar la placa prensa disco, el punzón comienza a penetrar el material en la matriz en su totalidad.

Figura 35 Proceso de embutido



Seguido se expulsa la pieza embutida por acción de un expulsor, obteniéndose una pieza de esta característica

#### 2.1.4.2 Herramientas de Embutido de Doble Acción

En este tipo de herramientas, el punzón se ubica en la parte superior de la corredera (prensa), el disco recortado se ubica también en su asiento en la matriz y el punzón y la placa prensa disco actúan simultáneamente y la matriz cuenta con el expulsor.

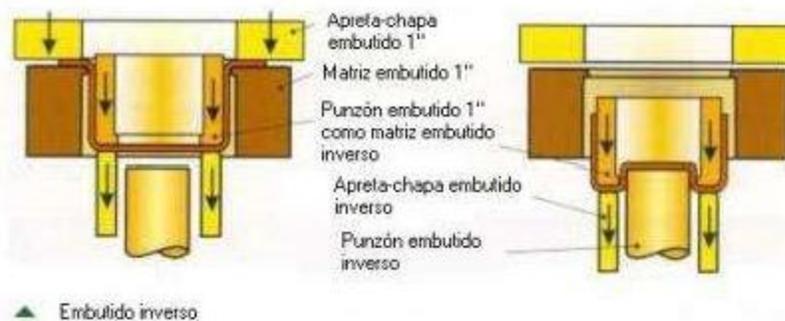
#### 2.1.4.3 Herramienta de Embutido Telescópico.

Se utiliza en piezas previamente embutidas con la finalidad de conseguir una mayor altura y por consiguiente una pieza de menor diámetro, para ello se debe

contar con un juego de punzón y matriz adecuado, de tal manera de conseguir el objetivo, como quiera que con el embutido previo, el material deformado ha conseguido una acritud debe ser tratado térmicamente para recobrar su elasticidad, esto se debe aplicar en cada fase del proceso de embutido.

Para conseguir la altura y el diámetro necesario requiere muchas veces de utilizar varias etapas de embutido, tal como ya se a explicado anteriormente, para lo cual es necesario, el uso de de este tipo de herramientas, con el consiguiente juego de punzón y matriz adecuadas a la circunstancias. El objetivo se consigue forzando el material a deslizarse adecuadamente entre dos punzones adaptados convenientemente a la nueva configuración de la matriz.

#### 2.1.4.4 Herramientas de Embutido Inverso



Con estas herramientas se consigue también una mayor altura, para ello se debe de contar con la herramienta, los materiales convenientemente dispuestos y acondicionados para tal fin.

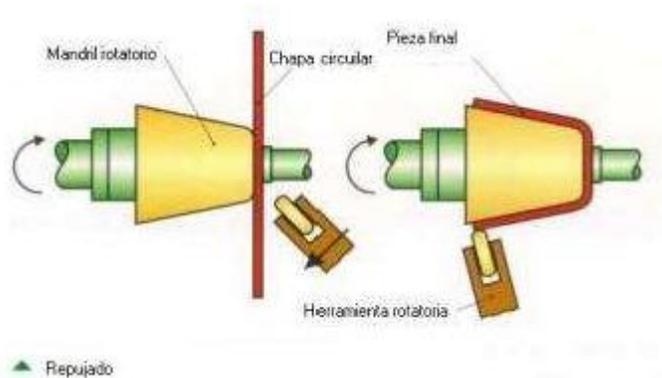
La embutición invertida ofrece la posibilidad de ahorrar una o dos etapas de embutición. Con éste tipo de embutición la pieza previamente embutida se dispone con la abertura hacia abajo sobre una matriz negativa de embutir. El punzón de embutir que desciende sobre la pieza así dispuesta la vuelve de modo de modo que era hasta ahora superficie interior se convierte en superficie exterior de la misma. De ésta modo se obtiene con una herramienta profundidades mayores que

con la embutición corriente. Por lo general no se necesita ningún dispositivo pisador.

La embutición negativa se emplea casi exclusivamente para piezas cilíndricas o piezas redondeadas no cilíndricas por ejemplo carcasas de faro o proyectores. Para piezas irregulares resultaría muy dificultosa la ejecución de las aberturas en la matriz invertida.

### 2.1.5 Recalcado o Repujado en torno

Con este tipo de procedimiento, es posible conseguir piezas de gran altura y volumen, con ellas se construyen las ollas, los sartenes de cocina, faroles, trofeos, etc.



### 2.1.6 Límites del Embutido

Dependiendo del tipo de material, del espesor del mismo, existe un límite en el diámetro a embutir, entendiéndose que es necesario en la mayoría de los casos, realizar varias operaciones de estampación, seguidas de una serie de tratamientos térmicos con la finalidad de conseguir el diámetro y altura adecuada.

El diámetro de la primera matriz de embutido se puede determinar a partir una relación entre los diámetros del disco recortado y el diámetro de la primera matriz, considerando un factor en función del material. Este factor es:

$$\phi_{PRIM MATRIZ} = \frac{\phi_{CHAPA}}{1,75}$$

Para trabajos de mayor precisión se pueden hacer uso de tablas y gráficos en las que se determinan los diámetros, las fases de embutidos que hay que realizar.

### 2.1.7 Ejemplo de Aplicación.

Simulando una situación de obtener una pieza de diámetro de 30 mm y de 76 mm de altura el disco a recortar es de:

$$D = \sqrt{d^2 + 4(d)h} = \sqrt{30^2 + 4(30)(76)} = \phi 100 \text{ mm}$$

Si el disco recortado es de  $\phi 100$  mm de diámetro la primera embutida haciendo uso de la formula sería de:  $100/1,75 = 57$  mm, como quiera que el diámetro final deseado es de 30 mm, nos vemos forzados a realizar un segundo embutido reduciendo en este caso un 15% el  $\phi 57$  mm :  $57(0,85) = \phi 48,50$  mm.

Una segunda reducción de diámetros nos lleva a:  $\phi 48,50(0,85) = \phi 41$  mm.

Una tercera reducción nos lleva a:  $\phi 41 (0,85) = \phi 35$  mm.

Una cuarta reducción nos lleva a:  $\phi 35 (0,85) = \phi 29,70$  mm, pero como el diámetro deseado es de 30 mm no tomamos en cuenta el  $\phi 29,70$  si no el  $\phi 30,00$  mm.

De todo este resultado implica que es necesario una herramienta de embutido de  $\phi 57$  mm y cuatro herramientas de embutido telescópico par el estirado y reducción de diámetros:  $48,50 - \phi 41 - \phi 35$  y finalmente de  $\phi 30$  mm.

### 2.1.8 Determinación de la fuerza necesaria y número de etapas de embutido para una copa cilíndrica

Fuerza de embutido para etapa  $i$  en el proceso de una copa cilíndrica:

$$F_i = \pi d_i t \sigma_r n_i$$

$d_i$ : diámetro final del paso  $i$

$t$ : espesor del material

$\sigma_r$ : esfuerzo de ruptura del material

$n_i$ : coeficiente según  $m_i$  (tabla 1) de acuerdo a tabla 2

$m_1 = \frac{d_1}{D}$  con  $D$  = diámetro disco inicial y  $d_1$  = diámetro final copa primer paso

$m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}}$  con  $d_i$  = diámetro copa paso actual y  $d_{i-1}$  = diámetro copa paso anterior

TABLA 1

$t/D \cdot 100$	2-1,5	1,5-1	1-0,6	0,6-0,3	0,3-0,15	0,15-0,08
$m_1$	0,48-0,5	0,5-0,53	0,53-0,55	0,55-0,58	0,58-0,60	0,60-0,63
$m_2$	0,73-0,75	0,75-0,76	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,80-0,82
$m_3$	0,76-0,78	0,78-0,79	0,74-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,82-0,84
$m_4$	0,78-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,82-0,83	0,83-0,85	0,85-0,86
$m_5$	0,80-0,82	0,82-0,84	0,84-0,85	0,85-0,86	0,86-0,87	0,87-0,88

TABLA 2

$m_i$	$n_1$	$n_2$
0,55	1	
0,57	0,93	
0,6	0,86	
0,62	0,79	
0,65	0,72	
0,67	0,66	
0,7	0,6	1
0,72	0,55	0,95
0,75	0,5	0,9
0,77	0,45	0,85
0,8	0,4	0,8
0,85		0,7
0,9		0,6
0,95		0,5

### 2.1.8.1 EJEMPLO

Diámetro de la copa a embutir: 60 mm. Espesor del material: 1,5 mm. Altura de la copa: 100 mm. Esfuerzo de ruptura: 350 N/mm<sup>2</sup>.

Diámetro del disco inicial:  $D = \sqrt{d^2 + 4dh} = \sqrt{60^2 + 4 \cdot 60 \cdot 100} = 166,1$  mm.

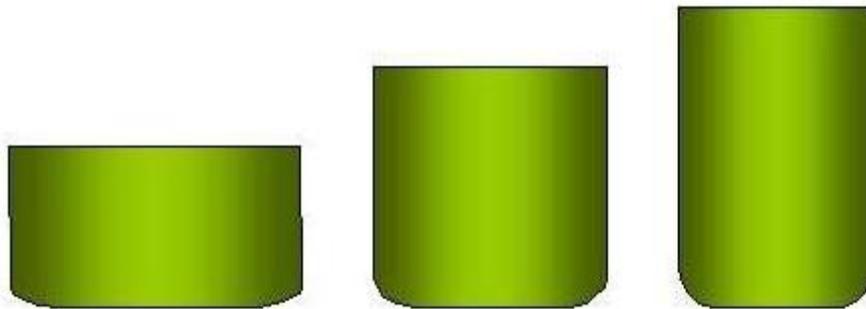
$$\frac{t}{D} \cdot 100 = \frac{1,5}{166,1} \cdot 100 = 0,9$$

De TABLA 1  $m_1 = 0,53 - 0,55 \Rightarrow d_1 = m_1 \cdot D = 0,55 \cdot 166,1 = 91,35$  mm. Se elige 92 mm.

$m_2 = 0,76 - 0,78 \Rightarrow d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,78 \cdot 92 = 71,76$  mm. Se elige 72 mm.

$m_3 = 0,79 - 0,80 \Rightarrow d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,80 \cdot 72 = 57,60$  mm. Debe ser 60 mm.

por lo tanto son necesarias tres etapas



Fuerza de embutido etapa 1:  $F_1 = \pi \cdot d_1 \cdot t \cdot \sigma_r \cdot n_1 = \pi \cdot 92 \cdot 1,5 \cdot 350 \cdot 1 = 151739$  N = 151,7 KN

con  $n_1 = 1,0$  de TABLA 2 y  $m_1 = \frac{d_1}{D} = \frac{92}{166,1} = 0,55$

Fuerza de embutido etapa 2:  $F_2 = \pi \cdot d_2 \cdot t \cdot \sigma_r \cdot n_2 = \pi \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 350 \cdot 0,83 = 98564$  N = 98,6 KN

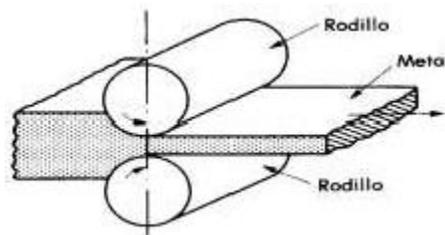
con  $n_2 = 0,83$  de TABLA 2 y  $m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{72}{92} = 0,78$

**SIEMPRE LA FUERZA MAXIMA SE PRODUCE EN LA PRIMERA ETAPA!!!**

## LECCION 22. LAMINADO

Este es un proceso en el cual se reduce el espesor del material pasándolo entre un par de rodillos rotatorios. Los rodillos son generalmente cilíndricos y producen productos planos tales como láminas o cintas. También pueden estar ranurados o grabados sobre una superficie a fin de cambiar el perfil, así como estampar patrones en relieve

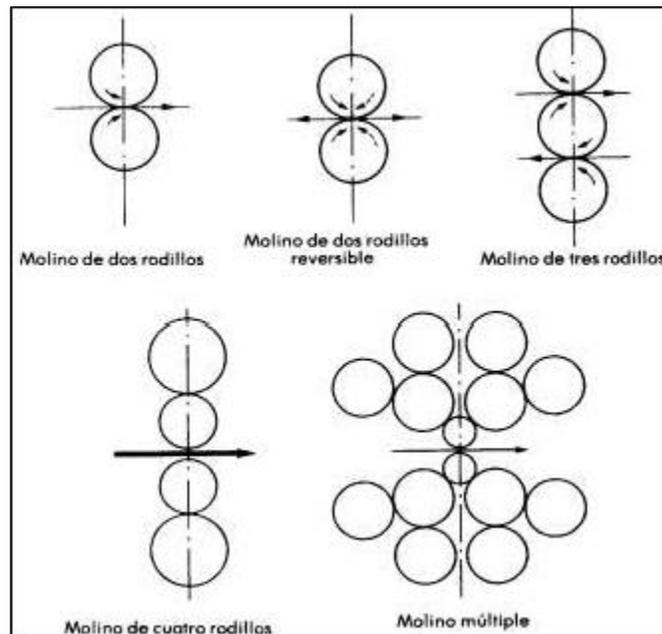
Figura 36 Laminado



Este proceso de deformación puede llevarse a cabo, ya sea en caliente o en frío. El trabajo en caliente es usado muy ampliamente porque es posible realizar un cambio en forma rápida y barata.

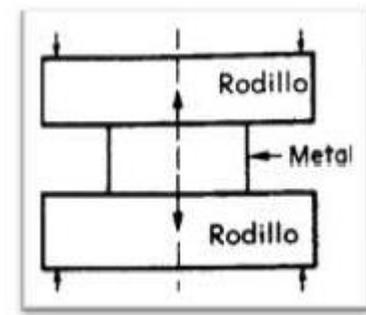
El laminado en frío se lleva a cabo por razones especiales, tales como la producción de buenas superficies de acabado o propiedades mecánicas especiales. Se lamina más metal que el total tratado por todos los otros procesos. El laminado es el proceso de deformación que más ampliamente se usa y por la razón de que existen muchas versiones el proceso tiene su propia clasificación.

Figura 37 Tipos de molinos laminadores.



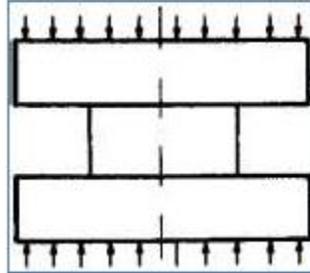
Esta puede ser de acuerdo al arreglo de los rodillos en el bastidor en el molino o de acuerdo con el arreglo de los bastidores en secuencia. Los molinos de laminación se clasifican de acuerdo a la Fig. 39. El molino de dos rodillos fue el primero y el más simple pero su capacidad de producción tiende a ser baja debido al tiempo que se pierde al tener que regresar el metal al frente del tren o molino.

La crítica principal al molino tradicional es la tendencia de los rodillos a flexionarse, debido a su diseño inherente.

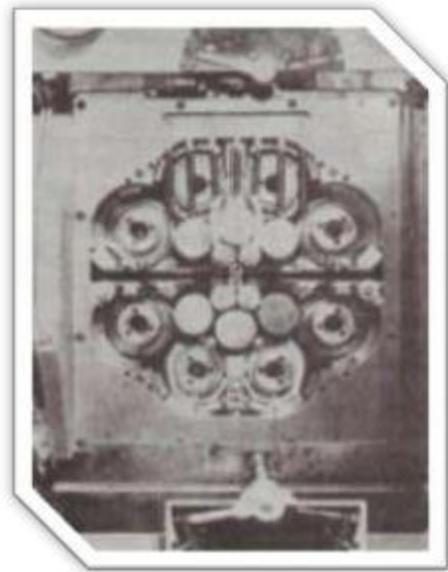


Sendzimir propuso un diseño que eliminaba esta limitación, basado en el principio del castor, donde el rodillo de trabajo es soportado en toda su cara por un arreglo de rodillos de apoyo, como indica la figura siguiente:

**Figura 38 Propuesta de apoyo de Sendzimir**

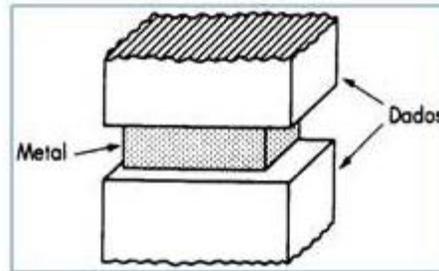


La fotografía muestra un molino de este tipo que tiene rodillos de trabajo sumamente pequeños (10 mm), el cual puede usarse para procesos en los que se esperan cargas de laminado extremadamente altas, y los rodillos de trabajo pueden cambiarse con facilidad. Este principio puede aplicarse a molinos más grandes y una instalación para laminar acero inoxidable de 1600 mm de ancho está equipada con rodillos de trabajo de 85 mm de diámetro.



## LECCION 23. FORJADO

Figura 39 Forjado



En el caso más simple, el metal es comprimido entre martillo y un yunque y la forma final se obtiene girando y moviendo la pieza de trabajo entre golpe y golpe. Para producción en masa y el formado de secciones grandes, el martillo es sustituido por un martinete o dado deslizante en un bastidor e impulsado por una potencia mecánica, hidráulica o vapor. Un dispositivo utiliza directamente el empuje hacia abajo que resulta de la explosión en la cabeza de un cilindro sobre un pistón móvil. Los dados que han sustituido al martillo y al yunque pueden variar desde un par de herramientas de cara plana, hasta ejemplares que tiene cavidades apareadas capaces de ser usadas para producir las domas más complejas.

Si bien, el forjado puede realizarse ya sea con el metal caliente o frío, el elevado gasto de potencia y desgaste en los dados, así como la relativamente pequeña amplitud de deformación posible, limita las aplicaciones del forjado en frío. Un ejemplo es el acuñado, donde los metales superficiales son impartidos a una pieza de metal por forjado en frío. El forjado en caliente se está utilizando cada vez más como un medio para eliminar uniones y por las estructuras particularmente apropiadas u propiedades que puede ser conferidas al producto final. Es el método de formado de metal más antiguo y hay muchos ejemplos que se remontan hasta 1000 años A. C.

El forjado fue el primero de los procesos del tipo de compresión indirecta. Involucra la aplicación de esfuerzos de compresión que exceden el esfuerzo de

fluencia del metal. El esfuerzo puede ser aplicado rápida o lentamente. El proceso puede realizarse en frío o en caliente, la selección de temperatura es decidida por factores como la facilidad y costo que involucre la deformación, la producción de piezas con ciertas características mecánicas o de acabado superficial es un factor de menor importancia. Existen dos clases de procedimientos de forjado: forjado por impacto y forjado por presión. En el primero, la carga es aplicada por impacto y la deformación tiene lugar en un corto tiempo. Por otra parte, en el forjado por presión, se involucra la aplicación gradual de presión para lograr la cedencia del metal. El tiempo de aplicación es relativamente largo. Más del 90% de los procesos de forjado son en caliente.

El forjado por impacto a su vez puede ser dividido en tres tipos:

- a) Forjado de herrero.
- b) Forjado con martinete.
- c) Forjado por recalado.

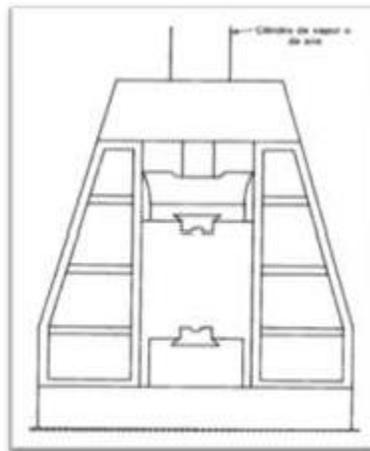
### **2.2.1 FORJADO DE HERRERO**

Este es indudablemente el más antiguo tipo de forjado, pero en la actualidad es relativamente poco común. La fuerza de impacto para la deformación es aplicada manualmente por el herrero por medio de un martillo. La pieza de metal es calentada en una fragua y cuando se encuentra a la temperatura adecuada es colocada en un yunque. El yunque es una masa pesada de acero con la parte superior plana, una parte en forma de cuerno la cual está curvada para producir diferentes curvaturas, y un agujero cuadrado en la parte superior para acomodar varios accesorios del yunque. Mientras está siendo martillado el metal, éste se sujeta con unas tenazas apropiadas. Algunas veces se usan formadores, éstos tienen asas o mangos y el herrero los fija a la pieza de trabajo mientras el otro extremo es golpeado con un marro por un ayudante.

Las superficies de los formadores tienen diferentes formas y son usados para conferir estas formas a las forjas. Un tipo de formador llamado copador, tiene un borde bien redondeado en forma de cincel y se usa para estirar o extender la pieza que se trabaja. Un copador concentra el golpe y origina que el metal se alargue más rápidamente que como puede hacerse usando la superficie plana del martillo. Los copadores también son hechos como accesorios del yunque de manera que el metal es estirado usando copadores en la parte superior e inferior. En el agujero cuadrado del yunque pueden colocarse accesorios de varias formas. Los cinceles de trabajo son usados para cortar el metal, se usan punzonadores y un bloque con barrenos de tamaño adecuado para lograr barrenos. La soldadura puede hacerse dando forma a las superficies a ser unidas, calentando las dos piezas y agregando fundente a la superficie para eliminar la escoria e impurezas. Posteriormente las dos piezas son martilladas juntas produciéndose la soldadura.

Los metales más fáciles de forjar son los aceros al bajo y medio carbonos y la mayoría de los forjados de herrero están hechos de estos metales. Los aceros al alto carbono y los aceros con aleaciones son más difíciles de forjar y requieren mucho cuidado. La mayoría de los metales no ferrosos pueden ser forjados satisfactoriamente.

**Figura 40 Martillo para forja por caída libre**



### **2.2.2. FORJADO CON MARTINETE**

Este es el equivalente moderno del forjado de herrero en donde la fuerza limitada del herrero ha sido reemplazada por un martillo mecánico o de vapor. El proceso puede llevarse a cabo en forjado abierto donde el martillo es reemplazado por un mazo y el metal es manipulado manualmente sobre un yunque.

La Fig. 40 muestra el martillo de caída libre. La calidad de los productos depende en mucho de la habilidad del forjador. El forjado abierto se usa extensamente para el proceso de espigado en donde la pieza de trabajo es reducida en tamaño por golpes repetidos conforme el metal gradualmente pasa bajo la forja.

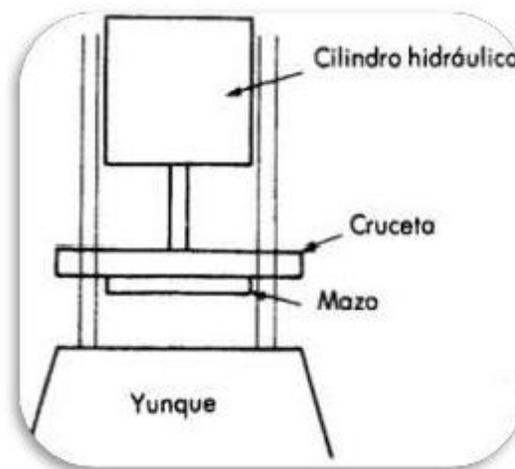
### **2.2.3. FORJADO POR RECALCADO**

Este proceso fue desarrollado originalmente para coleccionar o recalcar metal para formar las cabezas de tornillos. Actualmente el propósito de esta máquina ha sido ampliado para incluir una vasta variedad de forjas. Es esencialmente una prensa de doble acción con movimientos horizontales en lugar de verticales. La máquina de forja tiene dos acciones. En la primera, un dado móvil viaja horizontalmente hacia un dado similar estacionario. Estos dos dados tienen ranuras horizontales semicirculares las cuales sujetan las barras. Una barra calentada en un extremo es insertada entre el dado móvil y el estacionario. Mientras está sujeta de esta manera, un extremo de la barra es recalcado o presionado dentro de la cavidad del dado por una herramienta cabeceadora montada sobre un ariete que se mueve hacia el frente de la máquina. Si se desean cabezas hexagonales, la herramienta cabeceadora recalcará algo del metal dentro de la cavidad de forma hexagonal del dado. Para forjas más complejas pueden usarse hasta seis dados diferentes y herramientas cabeceadoras a un tiempo, de manera similar a las diferentes estaciones en un dado de forjado por martinete.

#### 2.2.4. FORJADO EN PRENSA

Mientras que el forjado por impacto usualmente involucra una prensa mecánica, por otro lado en el forjado en prensa se requerirá de fuerza hidráulica. Las grandes forjas invariablemente son producidas en grandes prensas hidráulicas. Estas tienen arietes que se mueven vertical y lentamente hacia abajo, bajo presión considerable. El equipo requerido es, por tanto, mucho mayor y la Fig. 41 muestra este tipo de forja. Una prensa típica de forja es capaz de cargas del orden de 6000 a 10 000 ton. Forjas de más de 100 ton de peso pueden ser movidas fácilmente en estas prensas forjadoras y los productos de más alta calidad son manufacturados por esta técnica.

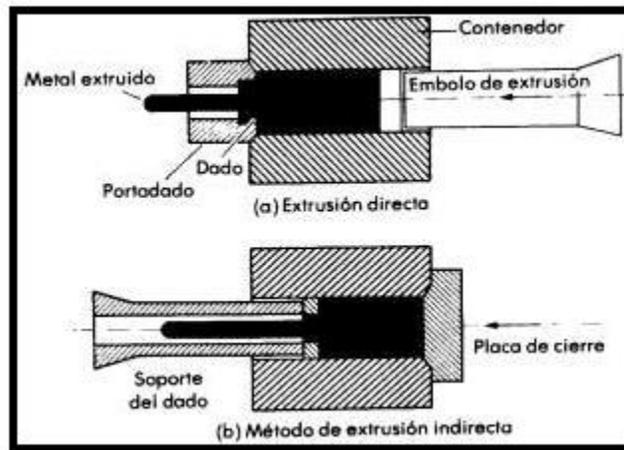
Figura 41 Prensa para Forja



#### LECCION 24. EXTRUSION

Este proceso de compresión indirecta es esencialmente de trabajo en caliente (con raras excepciones), donde un lingote fundido de forma cilíndrica, se coloca dentro de un fuerte contenedor de metal y comprimido por medio de un émbolo, de manera que sea expulsado a través del orificio de un dado.

Figura 42 Métodos de extrusión



El metal expulsado o extruido toma la forma del orificio del dado. El proceso puede llevarse a cabo por dos métodos llamados: extrusión directa, donde el émbolo está sobre el lingote en el lado opuesto al dado y el metal es empujado hacia el dado por el movimiento del émbolo Fig. 41 (a), o extrusión indirecta, en la cual el dado y el émbolo están del mismo lado del lingote y el dado es forzado dentro del lingote, por el movimiento del émbolo.

La extrusión es un método relativamente nuevo en la fabricación de piezas metálicas. Originalmente fue desarrollado para la fabricación de tubo de plomo por los sistemas victorianos de agua y gas.

Los problemas del material adecuado para el dado, que soporte las temperaturas altas y presiones requeridas para extruir los metales más duros y fuertes, no fueron resueltos sino hasta bien entrado el siglo XX.

En nuestros días, es posible extruir con éxito los siguientes metales y sus aleaciones: Aluminio, cobre, plomo y acero, aunque para este último se requiere una técnica especial.

### **2.3.1. PRENSA DE EXTRUSIÓN DIRECTA**

Una prensa típica para la extrusión de aleaciones de cobre, sería de alrededor de 5000 ton de capacidad de carga en el émbolo, y consistiría de una pesada placa de acero recubierta con una aleación de acero resistente al calor. Este podría acomodar un lingote de 560 mm de diámetro y 1 m de longitud. Ajustado dentro del contenedor mencionado estaría un émbolo que tenga un diámetro menor que el barreno interior del contenedor. El propósito de este claro es doble, minimizar la fricción entre el émbolo y el contenedor y también permitir una calavera de metal para ser dejada después que el lingote ha sido extruido. La razón para esta calavera de metal será explicada más adelante. Un cojincillo de presión precalentado se coloca entre el émbolo y el lingote a fin de prevenir el enfriamiento de la cola del lingote caliente desde el émbolo. El dado de extrusión está hecho de acero para herramienta resistente al calor y la forma del orificio junto con el orificio del soporte o paralelo son cuidadosamente preparados

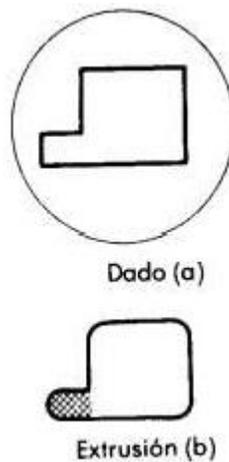
### **2.3.2. PRENSA DE EXTRUSIÓN INVERTIDA**

El contenedor es similar a aquel del proceso de extrusión directa, excepto, que en lugar de un dado y un émbolo, en los lados opuestos del lingote hay un dado y un soporte del dado hueco en un lado del lingote. El soporte hueco del dado toma el lugar del émbolo. Esto debilita toda la prensa y limita el tamaño de la sección que puede ser producida por este proceso.

### 2.3.3. DADOS DE EXTRUSION

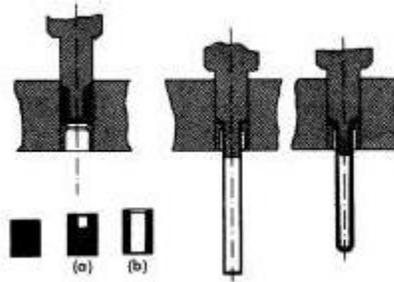
Los dados de extrusión están hechos de acero de alta velocidad para herramienta y son componentes muy importantes en el proceso de extrusión. Como el material del dado es demasiado caro, a menudo es hecho en forma de un disco delgado de diámetro mucho más pequeño que el lingote soportado por un dado de refuerzo. El orificio del dado controla la forma del metal extruido

Figura 43 (a)Dado, (b)Resultado de la extrusión



Si la abertura del dado consta de un barreno circular y paralelo, es decir, la longitud del soporte es igual al espesor del dado, la extrusión será una varilla circular que requiere una fuerza considerable para estirarla y tiene una pobre superficie de acabado. La superficie de acabado puede mejorarse y disminuir la carga, aumentando el diámetro del barreno en el extremo de descarga.

Figura 44 Proceso de Hooker de impacto para tubos.



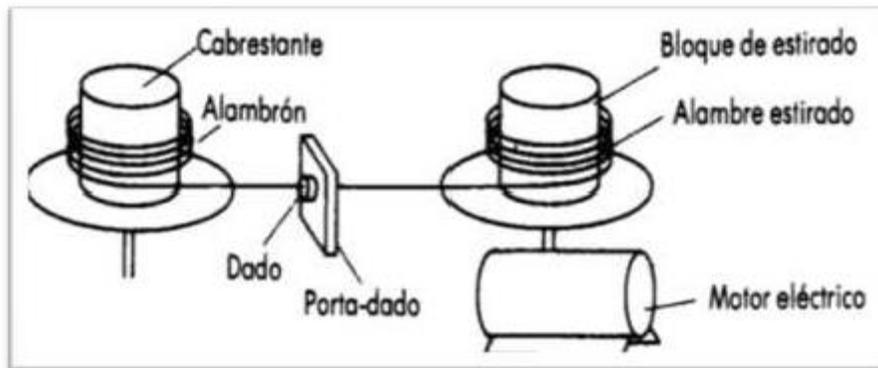
## LECCION 25. TREFILADO Ó ESTIRADO DE ALAMBRE

Una varilla de metal se aguza en uno de sus extremos y luego estirada a través del orificio cónico de un dado. La varilla que entra al dado tiene un diámetro mayor y sale con un diámetro menor. En los primeros ejemplos de este proceso, fueron estiradas longitudes cortas manualmente a través de una serie de agujeros de tamaño decreciente en una "placa de estirado" de hierro colado o de acero forjado. En las instalaciones modernas, grandes longitudes son estiradas continuamente a través de una serie de dados usando un número de poleas mecánicamente guiadas, que pueden producir muy grandes cantidades de alambre, de grandes longitudes a alta velocidad, usando muy poca fuerza humana. Usando la forma de orificio apropiada, es posible estirar una variedad de formas tales como óvalos, cuadrados, hexágonos, etc., mediante este proceso.

El equipo necesario puede encontrarse desde un simple banco de estirado para trabajo intermitente, hasta bloques múltiples para operación continua.

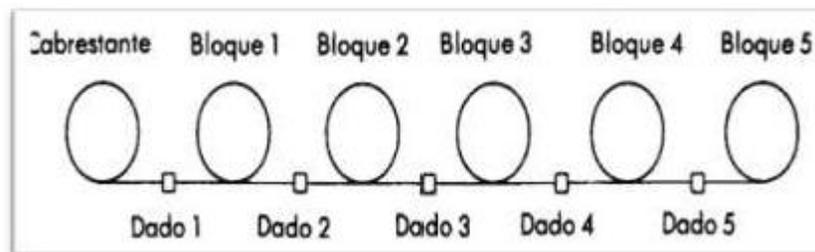
El bloque de estirado consiste de tres partes un sujetador o cabrestante para sujetar el arrollamiento de varilla lista para estirarse, el dado que es el que ejecuta realmente la reducción y el bloque de estirado que suministra la carga y energía para la reducción; éste también acumula, enrollado, el alambre ya estirado. Las tres partes se muestran en la Fig. 45.

Figura 45 Elementos del Proceso de Trefilado



También es posible estirar el alambre de manera continua, de tal manera que se pasa a través de varios dados simultáneamente. Debe haber, sin embargo, un bloque de estirado para cada dado. Una máquina continua que tenga cinco dados, también tendrá cinco bloques de estirado, etc. Tal tipo de máquina se muestra en el diagrama de la Fig. 46.

Figura 46 Diagrama de una Máquina continua de Trefilado



### CAPÍTULO TERCERO: PROCESOS POR CONFIGURACIÓN TÉRMICA Y MATERIALES PLÁSTICOS

#### LECCION 26. PULVIMETALURGIA

*“Es el arte de elaborar productos comerciales a partir de polvos metálicos”.*

Aquí no siempre se utiliza el calor, pero cuando se hace, este debe mantenerse debajo de la temperatura de fusión de los metales a trabajar. Cuando se aplica

calor en el proceso subsecuente de la metalurgia de los polvos se le conoce como sinterizado, este proceso genera la unión de partículas finas con lo que se mejora la resistencia de los productos y otras de sus propiedades. Las piezas metálicas producto de los procesos de la metalurgia de los polvos son resultado de la mezcla de diversos polvos de metales que se complementan en sus características. Así, se pueden obtener metales con cobalto, tungsteno o grafito, según para qué va a ser utilizado el artículo que se fabrica.

El metal en forma de polvo es más caro que en forma sólida y el proceso es sólo recomendable para la producción en masa de los productos; en general el costo de producción de piezas producto de polvo metálico es más alto que el de la fundición, sin embargo es justificable y rentable por las propiedades excepcionales que se obtienen con este procedimiento. Existen productos que no pueden ser fabricados y otros no compiten por las tolerancias que se logran con este método de fabricación.

### **3.1.1 PRODUCCIÓN DE POLVOS METÁLICOS**

El tamaño, forma y distribución de los polvos afectan las características de las piezas a producir, por lo que se debe tener especial cuidado en la forma en la que se producen los polvos. Las principales características de los polvos a considerar son:

Forma	La forma del polvo depende de la manera en la que se produjo el polvo, esta puede ser esférica, quebrada, dendrítica. plana o angular.
Finura	La finura se refiere al tamaño de la partícula, se mide por medio de mallas normalizadas, las que consisten en cribas normalizadas, las que se encuentran entre las 36 y 850 micras.
Distribución de los tamaños de partículas	Se refiere a las cantidades de los tamaños de las partículas que participan en la composición de una pieza de polvo, esta distribución de tamaños tiene gran influencia en la fluidez y densidad de las partículas y en la porosidad final del producto.
Fluidez	Es la propiedad que le permite fluir fácilmente de una parte a otra o a la cavidad del molde. Se mide por una tasa de flujo a través de un orificio normalizado.
Propiedades químicas	Son características de reacción ante diferentes elementos. También se relacionan con la pureza del polvo utilizado.
Compresibilidad	Es la relación que existe entre el volumen inicial del polvo utilizado y el volumen final de la pieza comprimida. Esta propiedad varía considerablemente en función del tamaño de las partículas de polvo y afecta directamente a resistencia de las piezas.
Densidad aparente	Se expresa en kilogramos por metro cúbico. Esta debe ser constante siempre, para que la pieza tenga en todas sus partes la misma cantidad de polvo.
Facilidad de sinterización	La sinterización es la unión de las partículas por medio del calor. Dependerá del tipo de polvo que se esté utilizando, por lo que existen tantas temperaturas de sinterización como materiales utilizados.

### 3.1.2 MÉTODOS PARA PRODUCIR POLVOS METÁLICOS

Todos los metales pueden producirse en forma de polvo, sin embargo no todos cumplen con las características necesarias para poder conformar una pieza. Los dos metales más utilizados para la producción de polvo para la fabricación de piezas son el cobre y el hierro. Como variaciones del cobre se utilizan el bronce para los cojinetes porosos y el latón para pequeñas piezas de máquinas. También se llegan a utilizar otros polvos de níquel, plata, tungsteno y aluminio.

Existen diferentes formas de producir polvos metalúrgicos dependiendo de las características físicas y químicas de los metales utilizados:

- Maquinado: se producen partículas gruesas y se usan principalmente para producir polvos de magnesio.

- Molido: se tritura el material con molinos rotatorios de rodillos y por estampado rompiendo los metales, por este método los materiales frágiles pueden reducirse a partículas irregulares de cualquier finura.
- Perdigonado: consiste en vaciar metal fundido en un tamiz y enfriarlo dejándolo caer en agua. En este proceso se obtienen partículas esféricas o con forma de pera. La mayoría de los metales pueden perdigonarse, pero el tamaño de las partículas es demasiado grande.
- Pulverización: consiste en la aspersion del metal fundido y su enfriamiento en aire o en agua. Es un excelente método para la producción de polvo de casi todos los metales de bajo punto de fusión como el plomo, aluminio, zinc y estaño.
- Granulación: Agitación rápida del metal fundido mientras se está enfriando. Solo para algunos metales.
- Depósito electrolítico: Inmersión del metal a pulverizar, como ánodos, en tinajas con un electrolito, los tanques actúan como cátodos, el hierro o metal a pulverizar se mueve de los ánodos hacia los cátodos depositándose como un polvo fino que puede posteriormente utilizarse con facilidad. Útil para la producción de polvo de hierro, plata y algunos otros metales.

### **3.1.2.1 POLVOS PRE ALEADOS**

Cuando se logra la producción de un polvo de un metal previamente aleado con otro se mejoran considerablemente las propiedades de las piezas, en comparación con las que tendrían con los metales puros. Una de las ventajas de este tipo de polvos es que requieren menores temperaturas para su producción y que proporcionan la suma de las propiedades de los dos metales unidos similares a las que se obtendrían con la fundición.

### 3.1.2.2 POLVOS RECUBIERTOS

Los polvos pueden ser recubiertos con determinados elementos cuando pasan por medio de un gas portador. Cada partícula es uniformemente revestida, cuando se sinteriza adquiere las propiedades del recubrimiento. Esto permite el uso de polvos más baratos.

### 3.1.3 CONFORMACIÓN

Acción de comprimir al polvo que fluyó a un recipiente con la forma deseada de la pieza a producir. Existen varios métodos de conformación, a continuación se presentan algunos de ellos:

- Prensado. Los polvos se presan en moldes de acero con la forma requerida, la presión varía entre 20 y 1400 Mpa. Los polvos plásticos no requieren de altas presiones, como los que son más duros. La mayoría de las prensas que fueron diseñadas para otros fines pueden ser utilizadas para la producción de piezas de polvo. Pueden utilizarse prensas hidráulicas sin embargo es más común que se usen las mecánicas debido a su alta capacidad de producción.
- Compactación centrífuga. Los moldes se llenan con polvos metálicos pesados y luego se centrifugan para obtener presiones de hasta 3 Mpa. Con lo anterior se obtienen densidades uniformes producto de la fuerza centrífuga en cada partícula de polvo. Posteriormente se extraen las piezas de los moldes y se sinterizan con lo que adquieren su dureza final.
- Conformación por vaciado. Las piezas para tungsteno, molibdeno y otros polvos se hacen algunas veces por compactación por vaciado. Este procedimiento consiste en hacer una lechada con el polvo del metal que se va a utilizar, esta se vacía en un molde de yeso. Como el molde de yeso es un material poroso drena gradualmente dejando una capa sólida del

material metálico. Después de transcurrido el tiempo suficiente para tener una capa lo suficiente gruesa, se sinterizan las piezas de manera normal. Para objetos huecos es muy útil este procedimiento.

#### **3.1.4 EXTRUSIÓN**

Para la fabricación de piezas largas producidas a partir de polvos metálicos, deben producirse a través del proceso de extrusión. Los métodos a utilizar para este proceso dependen de las características del polvo; algunos se extruyen en frío con un aglutinante y otros se calientan hasta la temperatura de extrusión. Generalmente el polvo se comprime en forma de lingote y posteriormente se calientan y sinterizan antes de pasarlos a la prensa para la extrusión.

Compactado por explosivos. Como su nombre lo indica la fuerza necesaria para compactar a un polvo en su molde adecuado puede ser producto de una explosión. El procedimiento es sencillo y económico sin embargo además de peligros puede que su control no sea del todo satisfactorio.

#### **3.1.5 SINTERIZADO**

Es el proceso por medio del cual con el aumento de la temperatura, las partículas de los cuerpos sólidos se unen por fuerzas atómicas. Con la aplicación de calor, las partículas se prensan hasta su más mínimo contacto y la efectividad de las reacciones a la tensión superficial se incrementan. Durante el proceso la plasticidad de los granos se incrementa y se produce un mejor entrelazamiento mecánico por la formación de un lecho fluido. Cualquier gas presente que interfiera con la unión es expulsado. Las temperaturas para el sinterizado son menores a la temperatura de fusión del polvo principal en la mezcla utilizada.

Existe una amplia gama de temperaturas de sinterizado, sin embargo las siguientes han demostrado ser satisfactorias.

Hierro	1095 °C
Acero inoxidable	1180 °C
Cobre	870 °C
Carburo de tungsteno	1480 °C

El tiempo de sinterizado varía entre los 20 y 40 minutos.

### 3.1.6 VENTAJAS

- La producción de carburos sinterizados, cojinetes porosos y bimetálicos de capas moldeadas, sólo se puede producir por medio de este proceso.
- Porosidad controlada
- Tolerancias reducidas y acabado superficial de alta calidad
- Por la calidad y pureza de los polvos producidos, se pueden obtener también piezas de alta pureza.
- No hay pérdidas de material
- No se requieren operarios con alta capacitación

### 3.1.7 LIMITACIONES

1. Los polvos son caros y difíciles de almacenar
2. El costo del equipo para la producción de los polvos es alto
3. Algunos productos pueden fabricarse por otros procedimientos más económicamente
4. Es difícil hacer productos con diseños complicados
5. Existen algunas dificultades térmicas en el proceso de sinterizado, especialmente con los materiales de bajo punto de fusión.
6. Algunos polvos de granos finos presentan riesgo de explosión, como aluminio, magnesio, zirconio y titanio.

7. Es difícil fabricar productos uniformes de alta densidad.

## **LECCION 27. OPERACIONES POR SOLDADURA**

Se le llama soldadura a la unión de dos materiales (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de un proceso de fusión en el cual las piezas son soldadas derritiendo ambas y agregando metal o plástico derretido para conseguir una "pileta" (punto de soldadura) que, al enfriarse, forma una unión fuerte.

La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico, pero la soldadura puede ser lograda mediante rayos láser, rayos de electrones, procesos de fricción o ultrasonido.

La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente.

Normalmente se suelda en ambientes industriales pero también se puede hacerlo al aire libre, debajo del agua o en el espacio. Es un proceso que debe realizarse siguiendo normas de seguridad por los riesgos de quemadura, intoxicación con gases tóxicos y otros riesgos derivados de la luz ultravioleta.

La abertura de electrodos es la distancia que entre los electrodos en una soldadura recalcada o a tope se mide con las piezas en contacto, pero antes de comenzar o inmediatamente después de completar el ciclo de soldadura. Soldadura por puntos de fabricación casera.

A veces es difícil soldar chapas pequeñas, o materiales extraños con la soldadura al arco, también puede ser difícil soldar con plata o estaño, por eso ocasionalmente disponer de una soldadura por puntos puede resultar conveniente.

### **3.2.1. SOLDADURA BLANDA**

Es la unión de dos piezas de metal por medio de otro metal llamado de aporte, éste se aplica entre ellas en estado líquido. La temperatura de fusión de estos metales no es superior a los 430°C. En este proceso se produce una aleación entre los metales y con ello se logra una adherencia que genera la unión. En los metales de aporte por lo regular se utilizan aleaciones de plomo y estaño los que funden entre los 180 y 370°C.

Este tipo de soldadura es utilizado para la unión de piezas que no estarán sometidas a grandes cargas o fuerzas. Una de sus principales aplicaciones es la unión de elementos a circuitos eléctricos. Por lo regular el metal de aporte se funde por medio de un caudín y fluye por capilaridad.

### **3.2.2. SOLDADURA FUERTE**

En esta soldadura se aplica también metal de aporte en estado líquido, pero este metal, por lo regular no ferroso, tiene su punto de fusión superior a los 430 °C y menor que la temperatura de fusión del metal base. Por lo regular se requiere de fundentes especiales para remover los óxidos de las superficies a unir y aumentar la fluidez al metal de aporte. Algunos de los metales de aporte son aleaciones de cobre, aluminio o plata. A continuación se presentan algunos de los más utilizados para las soldaduras denominadas como fuertes:

1. Cobre. Su punto de fusión es de 1083°C.
2. Bronces y latones con punto de fusión entre los 870 y 1100°C.
3. Aleaciones de plata con temperaturas de fusión entre 630 y 845°C.
4. Aleaciones de aluminio con temperatura de fusión entre 570 y 640°C

La soldadura dura se puede clasificar por la forma en la que se aplica el metal de aporte. A continuación se describen algunos de estos métodos:

- Inmersión. El metal de aporte previamente fundido se introduce entre las dos piezas que se van a unir, cuando este se solidifica las piezas quedan unidas.
- Horno. El metal de aporte en estado sólido, se pone entre las piezas a unir, estas son calentadas en un horno de gas o eléctrico, para que con la temperatura se derrita al metal de aporte y se genere la unión al enfriarse.
- Soplete. El calor se aplica con un soplete de manera local en las partes del metal a unir, el metal de aporte en forma de alambre se derrite en la junta. Los sopletes pueden funcionar con los siguientes comburentes: aire inyectado a presión (soplete de plomero), aire de la atmósfera (mechero Bunsen), oxígeno o aire almacenado a presión en un tanque. Los combustibles pueden ser: alcohol, gasolina blanca, metano, propano-butano, hidrógeno o acetileno.
- Electricidad. La temperatura de las partes a unir y del metal de aporte se puede lograr por medio de resistencia a la corriente, por inducción o por arco, en los tres métodos el calentamiento se da por el paso de la corriente entre las piezas metálicas a unir.

### **3.2.3. SOLDADURA POR ARCO**

La idea de la soldadura por arco eléctrico fue propuesta a principios del siglo XIX por el científico inglés Humphrey Davy pero ya en 1885 dos investigadores rusos consiguieron soldar con electrodos de carbono.

Cuatro años más tarde fue patentado un proceso de soldadura con varilla metálica. Sin embargo, este procedimiento no tomó importancia en el ámbito industrial hasta que el sueco Oskar Kjellberg descubrió, en 1904, el electrodo recubierto. Su uso masivo comenzó

Para realizar una soldadura por arco eléctrico se induce una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor, de modo que se cierra el circuito y se crea el arco

eléctrico. El calor del arco funde parcialmente el material de base y funde el material de aporte, el cual se deposita y crea el cordón de soldadura.

La soldadura por arco eléctrico es utilizada comúnmente debido a la facilidad de transportación.

La soldadura de arco aprovecha el intenso calor que produce un arco voltaico. El arco se forma cuando fluye una corriente entre dos electrodos separados. La corriente atraviesa el aire —u otro gas— situado entre los electrodos, y produce luz y calor. Una pantalla protectora permite al soldador observar el proceso sin sufrir daños en la vista.

#### **3.2.4. Componentes de un evento de soldadura**

- **Electrodo:** Son varillas metálicas preparadas para servir como polo del circuito; en su extremo se genera el arco. En algunos casos, sirven también como material fundente. La varilla metálica a menudo va recubierta de distintos materiales, en función de la pieza a soldar y del procedimiento empleado.
- **Plasma:** Está compuesto por electrones que transportan la corriente y que van del polo negativo al positivo, de iones metálicos que van del polo positivo al negativo, de átomos gaseosos que se van ionizando y estabilizándose conforme pierden o ganan electrones, y de productos de la fusión tales como vapores que ayudarán a la formación de una atmósfera protectora. Esta zona alcanza la mayor temperatura del proceso.
- **Llama:** Es la zona que envuelve al plasma y presenta menor temperatura que éste, formada por átomos que se disocian y recombinan desprendiendo calor por la combustión del revestimiento del electrodo. Otorga al arco eléctrico su forma cónica.

- Baño de fusión: La acción calorífica del arco provoca la fusión del material, donde parte de éste se mezcla con el material de aportación del electrodo, provocando la soldadura de las piezas una vez solidificado.
- Cráter: Surco producido por el calentamiento del metal. Su forma y profundidad vendrán dadas por el poder de penetración del electrodo.
- Cordón de soldadura: Está constituido por el metal base y el material de aportación del electrodo y se pueden diferenciar dos partes: la escoria, compuesta por impurezas que son segregadas durante la solidificación y que posteriormente son eliminadas, y el sobre espesor, formado por la parte útil del material de aportación y parte del metal base, que es lo que compone la soldadura en sí.

### 3.2.5. Propiedades

La característica más importante de la soldadura con electrodos revestidos, en inglés *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) o *Manual Metal Arc Welding* (MMAW), es que el arco eléctrico se produce entre la pieza y un electrodo metálico recubierto. El recubrimiento protege el interior del electrodo hasta el momento de la fusión. Con el calor del arco, el extremo del electrodo funde y se quema el recubrimiento, de modo que se obtiene la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base.

Estas gotas de metal fundido caen recubiertas de escoria fundida procedente de la fusión del recubrimiento del arco. La escoria flota en la superficie y forma, por encima del cordón de soldadura, una capa protectora del metal fundido.

Como son los propios electrodos los que aportan el flujo de metal fundido, será necesario reponerlos cuando se desgasten. Los electrodos están compuestos de dos piezas: el alma y el revestimiento.

El alma o varilla es alambre (de diámetro original 5.5 mm) que se comercializa en rollos continuos. Tras obtener el material, el fabricante lo decapa mecánicamente (a fin de eliminar el óxido y aumentar la pureza) y posteriormente lo trefila para reducir su diámetro.

El revestimiento se produce mediante la combinación de una gran variedad de elementos (minerales varios, celulosa, mármol, aleaciones, etc.) convenientemente seleccionados y probados por los fabricantes, que mantienen el proceso, cantidades y dosificaciones en riguroso secreto.

La composición y clasificación de cada tipo de electrodo está regulada por AWS (*American Welding Society*), organismo de referencia mundial en el ámbito de la soldadura.

Este tipo de soldaduras pueden ser efectuados bajo corriente tanto continua como alterna. En corriente continua el arco es más estable y fácil de encender y las salpicaduras son poco frecuentes; en cambio, el método es poco eficaz con soldaduras de piezas gruesas. La corriente alterna posibilita el uso de electrodos de mayor diámetro, con lo que el rendimiento a mayor escala también aumenta. En cualquier caso, las intensidades de corriente oscilan entre 10 y 500 amperios.

El factor principal que hace de este proceso de soldadura un método tan útil es su simplicidad y, por tanto, su bajo precio. A pesar de la gran variedad de procesos de soldadura disponibles, la soldadura con electrodo revestido no ha sido desplazada del mercado. La sencillez hace de ella un procedimiento práctico; todo lo que necesita un soldador para trabajar es una fuente de alimentación, cables, un porta electrodo y electrodos. El soldador no tiene que estar junto a la fuente y no hay necesidad de utilizar gases comprimidos como protección. El procedimiento es excelente para trabajos, reparación, fabricación y construcción. Además, la soldadura SMAW es muy versátil. Su campo de aplicaciones es enorme: casi todos los trabajos de pequeña y mediana soldadura de taller se

efectúan con electrodo revestido; se puede soldar metal de casi cualquier espesor y se pueden hacer uniones de cualquier tipo.

Sin embargo, el procedimiento de soldadura con electrodo revestido no se presta para su automatización o semiautomatización; su aplicación es esencialmente manual. La longitud de los electrodos es relativamente corta: de 230 a 700 mm. Por tanto, es un proceso principalmente para soldadura a pequeña escala. El soldador tiene que interrumpir el trabajo a intervalos regulares para cambiar el electrodo y debe limpiar el punto de inicio antes de empezar a usar electrodo nuevo. Sin embargo, aun con todo este tiempo muerto y de preparación, un soldador eficiente puede ser muy productivo.

El objetivo fundamental en cualquier operación de soldadura es el de conseguir una junta con la misma característica del metal base. Este resultado sólo puede obtenerse si el baño de fusión está completamente aislado de la atmósfera durante toda la operación de soldeo. De no ser así, tanto el oxígeno como el nitrógeno del aire serán absorbidos por el metal en estado de fusión y la soldadura quedará porosa y frágil. En este tipo de soldadura se utiliza como medio de protección un chorro de gas que impide la contaminación de la junta.

### **3.2.6. Soldadura TIG**

La soldadura por electrodo no consumible, también llamada TIG (siglas de *Tungsten Inert Gas*), se caracteriza por el empleo de un electrodo permanente que normalmente, como indica el nombre, es de tungsteno.

Este método de soldadura se patentó en 1920 pero no se empezó a utilizar de manera generalizada hasta 1940, dado su coste y complejidad técnica.

A diferencia que en las soldaduras de electrodo consumible, en este caso el metal que formará el cordón de soldadura debe ser añadido externamente, a no ser que las piezas a soldar sean específicamente delgadas y no sea necesario. El metal

de aportación debe ser de la misma composición o similar que el metal base; incluso, en algunos casos, puede utilizarse satisfactoriamente como material de aportación una tira obtenida de las propias chapas a soldar.

La inyección del gas a la zona de soldeo se consigue mediante una canalización que llega directamente a la punta del electrodo, rodeándolo. Dada la elevada resistencia a la temperatura del tungsteno (funde a 3410 °C), acompañada de la protección del gas, la punta del electrodo apenas se desgasta tras un uso prolongado. Es conveniente, eso sí, repasar la terminación en punta, ya que una geometría poco adecuada perjudicaría en gran medida la calidad del soldado. Respecto al gas, los más utilizados son el argón, el helio, y mezclas de ambos. El helio, gas noble (inerte, de ahí el nombre de soldadura por gas inerte) es más usado en los Estados Unidos, dado que allí se obtiene de forma económica en yacimientos de gas natural. Este gas deja un cordón de soldadura más achatado y menos profundo que el argón. Este último, más utilizado en Europa por su bajo precio en comparación con el helio, deja un cordón más triangular y que se infiltra en la soldadura. Una mezcla de ambos gases proporcionará un cordón de soldadura con características intermedias entre los dos.

La soldadura TIG se trabaja con corrientes continua y alterna. En corriente continua y polaridad directa, las intensidades de corriente son del orden de 50 a 500 amperios. Con esta polarización se consigue mayor penetración y un aumento en la duración del electrodo. Con polarización inversa, el baño de fusión es mayor pero hay menor penetración; las intensidades oscilan entre 5 y 60 A. La corriente alterna combina las ventajas de las dos anteriores, pero en contra da un arco poco estable y difícil de cebar.

La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre la atmósfera y el baño de fusión. Además, dicho gas simplifica notablemente el

soldeo de metales no ferrosos, por no requerir el empleo de desoxidantes, con las deformaciones o inclusiones de escoria que pueden implicar. Otra ventaja de la soldadura por arco con protección gaseosa es la que permite obtener soldaduras limpias y uniformes debido a la escasez de humos y proyecciones; la movilidad del gas que rodea al arco transparente permite al soldador ver claramente lo que está haciendo en todo momento, lo que repercute favorablemente en la calidad de la soldadura. El cordón obtenido es por tanto de un buen acabado superficial, que puede mejorarse con sencillas operaciones de acabado, lo que incide favorablemente en los costes de producción. Además, la deformación que se produce en las inmediaciones del cordón de soldadura es menor.

Como inconvenientes está la necesidad de proporcionar un flujo continuo de gas, con la subsiguiente instalación de tuberías, bombonas, etc., y el encarecimiento que supone. Además, este método de soldadura requiere una mano de obra muy especializada, lo que también aumenta los costes. Por tanto, no es uno de los métodos más utilizados sino que se reserva para uniones con necesidades especiales de acabado superficial y precisión

### **3.2.7. Soldadura por Electrodo Consumible Protegido**

Este método resulta similar al anterior, con la salvedad de que en los dos tipos de soldadura por electrodo consumible protegido, MIG (*Metal Inert Gas*) y MAG (*Metal Active Gas*), es este electrodo el alimento del cordón de soldadura. El arco eléctrico está protegido, como en el caso anterior, por un flujo continuo de gas que garantiza una unión limpia y en buenas condiciones.

En la soldadura MIG, como su nombre indica, el gas es inerte no participa en modo alguno en la reacción de soldadura. Su función es proteger la zona crítica de la soldadura de oxidaciones e impurezas exteriores. Se emplean usualmente los mismos gases que en el caso de electrodo no consumible, argón, menos frecuentemente helio, y mezcla de ambos.

En la soldadura MAG, en cambio, el gas utilizado participa de forma activa en la soldadura. Su zona de influencia puede ser oxidante o reductora, ya se utilicen gases como el dióxido de carbono o el argón mezclado con oxígeno. El problema de usar CO<sub>2</sub> en la soldadura es que la unión resultante, debido al oxígeno liberado, resulta muy porosa. Además, sólo se puede usar para soldar acero, por lo que su uso queda restringido a las ocasiones en las que es necesario soldar grandes cantidades de material y en las que la porosidad resultante no es un problema a tener en cuenta.

El punto común de los dos procedimientos es el empleo de un electrodo consumible continuo. Dicho electrodo, en forma de alambre, es a la vez el material a partir del cual se generará el cordón de soldadura, y llega hasta la zona de aplicación por el mismo camino que el gas o la alimentación. Dependiendo de cada caso, el ajuste de la velocidad del hilo conllevará un mayor o menor flujo de fundente en la zona a soldar.

En general, en este proceso se trabaja con corriente continua (electrodo positivo, base negativa), y en raras ocasiones con corriente alterna. Las intensidades de corriente fluctúan entre 20 y 500 amperios con corriente continua y polaridad directa, 5 y 60 con polaridad inversa, y 40 y 300 amperios con corriente alterna.

El uso de los métodos de soldadura MIG y MAG es cada vez más frecuente en el sector industrial. En la actualidad, es uno de los métodos más utilizados en Europa occidental, Estados Unidos y Japón en soldaduras de fábrica. Ello se debe, entre otras cosas, a su elevada productividad y a la facilidad de automatización, lo que le ha valido abrirse un hueco en la industria automovilística. La flexibilidad es la característica más sobresaliente del método MIG / MAG, ya que permite soldar aceros de baja aleación, aceros inoxidable, aluminio y cobre, en espesores a partir de los 0,5 mm y en todas las posiciones. La protección por gas garantiza un cordón de soldadura continuo y uniforme, además de libre de impurezas y

escorias. Además, la soldadura MIG / MAG es un método limpio y compatible con todas las medidas de protección para el medio ambiente.

En contra, su mayor problema es la necesidad de aporte tanto de gas como de electrodo, lo que multiplica las posibilidades de fallo del aparato, además del lógico encarecimiento del proceso.

### **3.2.8. Soldadura por Arco Sumergido**

El proceso de soldadura por arco sumergido, también llamado proceso SAW (*Submerged Arc Welding*), tiene como detalle más característico el empleo de un flujo continuo de material protector en polvo o granulado, llamado *flux*. Esta sustancia protege el arco y el baño de fusión de la atmósfera, de tal forma que ambos permanecen invisibles durante la soldadura. Parte del flux funde, y con ello protege y estabiliza el arco, genera escoria que aísla el cordón, e incluso puede contribuir a la aleación. El resto del flux, no fundido, se recoge tras el paso del arco para su reutilización. Este proceso está totalmente automatizado y permite obtener grandes rendimientos.

El electrodo de soldadura SAW es consumible, con lo que no es necesaria aportación externa de fundente. Se comercializa en forma de hilo, macizo o hueco con el flux dentro (de forma que no se requiere un conducto de aporte sino sólo uno de recogida), de alrededor de 0,5 mm de espesor.

El flux, o mejor dicho, los fluxes, son mezclas de compuestos minerales varios (SiO<sub>2</sub>, CaO, MnO, etc...) con determinadas características de escorificación, viscosidad, etc. Obviamente, cada fabricante mantiene la composición y el proceso de obtención del flux en secreto, pero, en general, se clasifican en fundidos (se obtienen por fusión de los elementos), aglomerados (se cohesionan con aglomerantes; cerámicos, silicato potásico, etc.) y mezclados mecánicamente (simples mezclas de otros fluxes). Ya que el flux puede actuar como elemento fundente, la adición en él de polvo metálico optimiza bastante el proceso, mejora

la tenacidad de la unión y evita un indeseable aumento del tamaño de grano en el metal base.

Dependiendo del equipo y del diámetro del hilo de electrodo, este proceso se trabaja con intensidades de hasta 1600 amperios, con corrientes continuas (electrodo positivo y base negativa) o alternas.

Este proceso es bastante versátil; se usa en general para unir metales férreos y aleaciones, y para recubrir materiales contra la corrosión (*overlay*). Además, permite la soldadura de piezas con poca separación entre ellas. El arco actúa bajo el flux, evitando salpicaduras y contaminación del cordón, y alimentándose, si es necesario, del propio flux, que además evita que el arco se desestabilice por corrientes de aire. La soldadura SAW puede aplicarse a gran velocidad en posiciones de sobremesa, para casi cualquier tipo de material y es altamente automatizable. El cordón obtenido en estos soldeos es sano y de buen aspecto visual. Una característica mejora del proceso SAW es la soldadura en tándem, mediante la cual se aplican dos electrodos a un mismo baño. Así se aumenta la calidad de la soldadura, ya que uno de los electrodos se encarga de la penetración y el volumen del cordón, mientras que el segundo maneja los parámetros de geometría y tamaño.

En cambio, la mayor limitación de este proceso es que solo puede aplicarse en posiciones de sobremesa y cornisa, ya que de otra manera el flux se derramaría. Flux que ha de ser continuamente aportado, lo cual encarece el procedimiento y aumenta sus probabilidades de fallo (hay que alimentar tanto el rollo de electrodo como el flux); además, si se contamina por agentes externos, la calidad del cordón disminuye bastante. A pesar de que puede unir materiales poco separados, no es recomendable para unir espesores menores de 5mm.

Este proceso tiene su mayor campo de aplicación en la fabricación de tuberías de acero en espiral y, en general, en la soldadura de casi cualquier tipo de aceros.

### **3.2.9. SOLDADURA POR FORJA**

Es el proceso de soldadura más antiguo. El proceso consiste en el calentamiento de las piezas a unir en una fragua hasta su estado plástico y posteriormente por medio de presión o golpeteo se logra la unión de las piezas. En este procedimiento no se utiliza metal de aporte y la limitación del proceso es que sólo se puede aplicar en piezas pequeñas y en forma de lámina. La unión se hace del centro de las piezas hacia afuera y debe evitarse a como de lugar la oxidación, para esto se utilizan aceites gruesos con un fundente, por lo regular se utiliza bórax combinado con sal de amonio.

### **3.2.10. SOLDADURA A GAS**

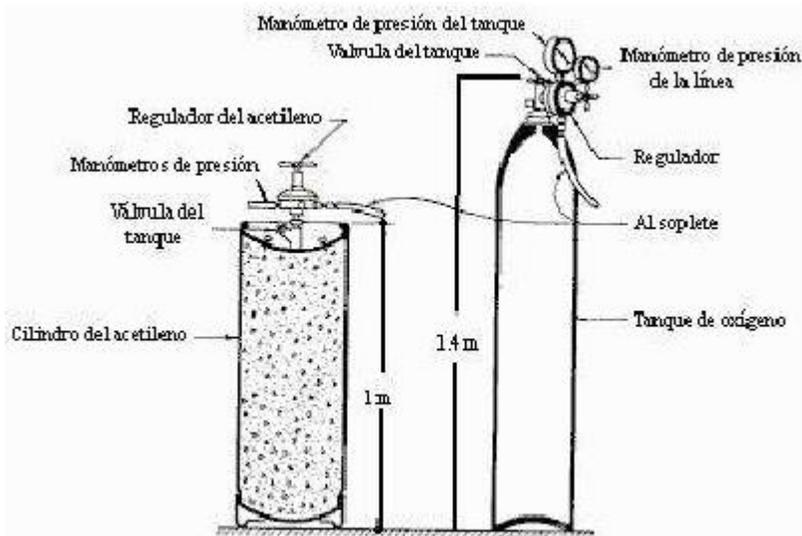
Este proceso incluye a todas las soldaduras que emplean un gas combustible para generar la energía que es necesaria para fundir el material de aporte. Los combustibles más utilizados son el metano, acetileno y el hidrógeno, los que al combinarse con el oxígeno como comburente generan las soldaduras autógena y oxhídrica.

La soldadura oxhídrica es producto de la combinación del oxígeno y el hidrógeno en un soplete. El hidrógeno se obtiene de la electrólisis del agua y la temperatura que se genera en este proceso es entre 1500 y 2000°C.

La soldadura autógena se logra al combinar al acetileno y al oxígeno en un soplete. Se conoce como autógena porque con la combinación del combustible y el comburente se tiene autonomía para ser manejada en diferentes medios. El acetileno se produce al dejar caer terrones de carburo de calcio en agua, en donde el precipitado es cal apagada y los gases acetileno. Uno de los mayores problemas del acetileno es que no se puede almacenar a presión por lo que este gas se puede obtener por medio de generadores de acetileno o bien en cilindros los que para soportar un poco la presión 1.7 MPa, se les agrega acetona.

En los sopletes de la soldadura autógena se pueden obtener tres tipos de flama las que son reductora, neutral y oxidante. De las tres la neutral es la de mayor aplicación. Esta flama, está balanceada en la cantidad de acetileno y oxígeno que utiliza. La temperatura en su cono luminoso es de  $3500^{\circ}\text{C}$ , en el cono envolvente alcanza  $2100^{\circ}\text{C}$  y en la punta extrema llega a  $1275^{\circ}\text{C}$ .

### Cilindros y reguladores para soldadura oxiacetilénica



En la flama reductora o carburizante hay exceso de acetileno lo que genera que entre el cono luminoso y el envolvente exista un cono color blanco cuya longitud está definida por el exceso de acetileno. Esta flama se utiliza para la soldadura de monel, níquel, ciertas aleaciones de acero y muchos de los materiales no ferrosos.

La flama oxidante tiene la misma apariencia que la neutral excepto que el cono luminoso es más corto y el cono envolvente tiene más color, Esta flama se utiliza para la soldadura por fusión del latón y bronce. Una de las derivaciones de este tipo de flama es la que se utiliza en los sopletes de corte en los que la oxidación súbita genera el corte de los metales. En los sopletes de corte se tiene una serie de flamas pequeñas alrededor de un orificio central, por el que sale un flujo considerable de oxígeno puro que es el que corta el metal.

En algunas ocasiones en la soldadura autógena se utiliza aire como comburente, lo que genera que la temperatura de esta flama sea menor en un 20% que la que usa oxígeno, por lo que su uso es limitado a la unión sólo de algunos metales como el plomo. En este tipo de soldadura el soplete es conocido como mechero Bunsen.

En los procesos de soldadura con gas se pueden incluir aquellos en los que se calientan las piezas a unir y posteriormente, sin metal de aporte, se presionan con la suficiente fuerza para que se genere la unión.

### **3.2.11. SOLDADURA POR RESISTENCIA**

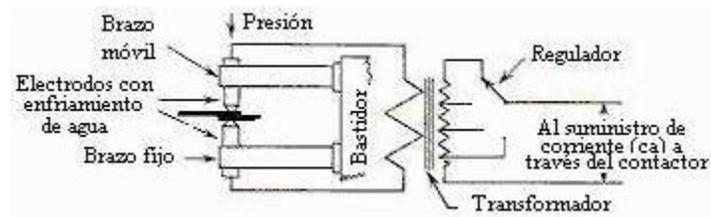
El principio del funcionamiento de este proceso consiste en hacer pasar una corriente eléctrica de gran intensidad a través de los metales que se van a unir, como en la unión de los mismos la resistencia es mayor que en sus cuerpos se generará el aumento de temperatura, aprovechando esta energía y con un poco de presión se logra la unión. La corriente eléctrica pasa por un transformador en el que se reduce el voltaje de 120 o 240 a 4 o 12 V, y se eleva el amperaje considerablemente para aumentar la temperatura. La soldadura por resistencia es aplicable a casi todos los metales, excepto el estaño, zinc y plomo.

En los procesos de soldadura por resistencia se incluyen los de:

### **3.2.12. Soldadura por puntos**

En la soldadura por puntos la corriente eléctrica pasa por dos electrodos con punta, debido a la resistencia del material a unir se logra el calentamiento y con la aplica de presión sobre las piezas se genera un punto de soldadura. La máquinas soldadoras de puntos pueden ser fijas o móviles o bien estar acopladas a un robot o brazo mecánico.

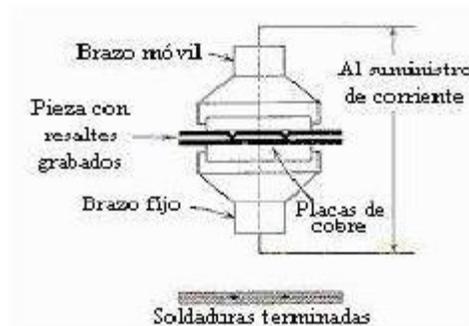
### Diagrama de una máquina soldadora por puntos



#### 3.2.13. Soldadura por resaltes

Es un proceso similar al de puntos, sólo que en esta se producen varios puntos a la vez en cada ocasión que se genera el proceso. Los puntos están determinados por la posición de un conjunto de puntas que hacen contacto al mismo tiempo. Este tipo de soldadura se puede observar en la fabricación de malla lac.

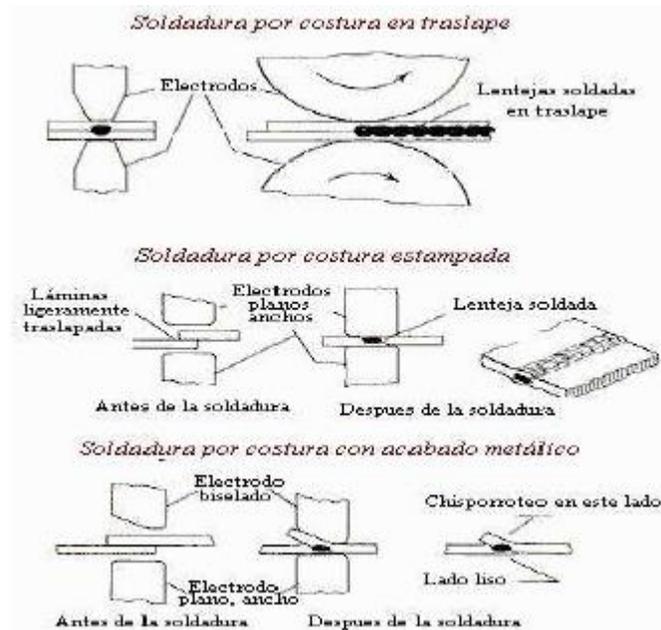
#### Soldadura con resaltes



#### 3.2.14. Soldadura por costura

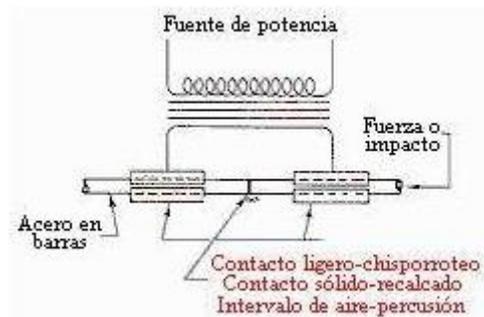
Consiste en el enlace continuo de dos piezas de lámina traslapadas. La unión se produce por el calentamiento obtenido por la resistencia al paso de la corriente y la presión constante que se ejerce por dos electrodos circulares. Este proceso de soldadura es continuo.

### Tipos de soldadura



#### 3.2.15. Soldadura a tope

Consiste en la unión de dos piezas con la misma sección, éstas se presionan cuando está pasando por ellas la corriente eléctrica, con lo que se genera calor en la superficie de contacto. Con la temperatura generada y la presión entre las dos piezas se logra la unión.



#### 3.2.16. SOLDADURA POR INDUCCIÓN

Esta soldadura se produce al aprovechar el calor generado por la resistencia que se tiene al flujo de la corriente eléctrica inducida en la piezas a unir. Por lo regular esta soldadura se logra también con presión. Consiste en la conexión de una bobina a los metales a unir, y debido a que en la unión de los metales se da más resistencia al paso de la corriente inducida en esa parte es en la que se genera el calor, lo que con presión genera la unión de las dos piezas. La soldadura por inducción de alta frecuencia utiliza corrientes con el rango de 200,000 a 500,000

Hz de frecuencia, los sistemas de soldadura por inducción normales sólo utilizan frecuencias entre los 400 y 450 Hz.

## **LECCION 28. OPERACIONES CON MATERIALES PLÁSTICOS**

### **3.3.1. Fabricación de material plástico**

El primer paso en la fabricación de un plástico es la polimerización. Los dos métodos básicos de polimerización son la condensación y las reacciones de adición. Estos métodos pueden llevarse a cabo de varias maneras. En la polimerización en masa se polimeriza sólo el monómero, por lo general en una fase gaseosa o líquida, si bien se realizan también algunas polimerizaciones en estado sólido. Mediante la polimerización en solución se forma una emulsión que se coagula seguidamente. En la polimerización por interfase los monómeros se disuelven en dos líquidos inmiscibles y la polimerización tiene lugar en la interfaz entre los dos líquidos.

Con frecuencia se utilizan aditivos químicos para conseguir una propiedad determinada. Por ejemplo, los antioxidantes protegen el polímero de degradaciones químicas causadas por el oxígeno o el ozono. De una forma parecida, los estabilizadores ultravioleta lo protegen de la intemperie. Los plastificantes producen un polímero más flexible, los lubricantes reducen la fricción y los pigmentos colorean los plásticos. Algunas sustancias ignífugas y antiestáticas se utilizan también como aditivos.

Muchos plásticos se fabrican en forma de material compuesto, lo que implica la adición de algún material de refuerzo (normalmente fibras de vidrio o de carbono) a la matriz de la resina plástica. Los materiales compuestos tienen la resistencia y la estabilidad de los metales, pero por lo general son más ligeros. Las espumas plásticas, un material compuesto de plástico y gas, proporcionan una masa de gran tamaño pero muy ligera.

## LECCION 29. PROCESOS TECNOLÓGICOS CON MATERIALES PLÁSTICOS

Los procesos de manufactura para la obtención de productos finales en material plástico tiene origen en el mismo moldeado del barro y el vidrio, manejados estos en estado plástico. Luego del descubrimiento accidental de los sintéticos, con su ampliación como derivados del petróleo, esta industria hace su tecnología heredándola en gran medida de los procesos con los metales.

La siguiente tabla resume una organización de estos procesos en sus diferentes categorías.

Tabla 26 Manufacturas con materiales plásticos

M A N U F A C T U R A S	C O N P L Á S T I C O S	MÉTODO	TÉCNICA	DESCRIPCIÓN
		MOLDEO	COMPOSICIÓN	PRESIÓN Y CALOR
			CONTACTO	LEVE PRESIÓN
			INYECCIÓN	FORZADO EN CALIENTE
			SOPLADO	AIRE EN CAVIDADES
		EXTRUSIÓN	CON/SIN CALOR	PRESIÓN MECÁNICA
		LAMINACIÓN	CRUZADA/PARALELA	UNIÓN FORZADA DE PLACAS
		SOLDADURA	FUSIÓN (APORTE)	UNIÓN DE PIEZAS
		TRATAMIENTOS TÉRMICOS	RECOCIDO – TEMPLADO - NORMALIZADO	MEJORAR PROPIEDADES FINALES
TRANSFORMACIÓN	CONFORMACIÓN	POSTERIOR – SECUNDARIA		

Fuente: Consolidado por el autor

El moldeo es un método de formación de objetos en el que el material se adapta en una cavidad cerrada. Existen diversas variantes de este proceso: Por composición (aplicando presión y calor); por contacto (presión ligeramente superior a la necesaria para mantener los materiales juntos); por inyección (conformación a partir de gránulos o granzas fundidas en una cámara con calor y presión y forzando después a parte de la maza a pasar a una cámara fría en la

cual se solidifica); por soplado (formación de objetos huecos a partir de masas plásticas hinchándolas con gas comprimido).

Los tratamientos térmicos tienen la función de conformar, endurecer y normalizar los plásticos mediante operaciones de recocido, templado, etc.

La extrusión es un método en el cual un material plástico, calentado o sin calentar, es forzado a pasar por un orificio que le da forma y lo transforma en una pieza larga de sección transversal constante.

La laminación consiste en la unión de dos o más capas de uno o varios materiales. Puede ser cruzada o paralela; en la primera, algunas de las capas del material están orientadas aproximadamente paralelas con respecto al grano o a la dirección más resistente a la tracción.

La soldadura es la unión de dos o más piezas por fusión del material de la pieza situada en las proximidades de la unión, con la aportación de mas material plástico (por ejemplo, procedente de una varilla) o sin ella. La soldadura se efectúa moderadamente con sopletes eléctricos de alta frecuencia.

La transformación es la manufactura de los productos plásticos a partir de semi - productos moldeados previamente, tales como varillas, tubos, planchas, perfiles extruidos de otras formas, mediante operaciones apropiadas, tales como taladrado, cortado, rascado, serrado, pulido, etc. La transformación comprende la unión de piezas de plásticos entre sí o con otros materiales por medios mecánicos, adhesivos u otros procedimientos.

### **3.3.2. MOLDEO POR INYECCIÓN**

En ingeniería, el moldeo por inyección es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el

material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada.

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos muy diferentes. Sólo en los Estados Unidos, la industria del plástico ha crecido a una tasa de 12% anual durante los últimos 25 años, y el principal proceso de transformación de plástico es el moldeo por inyección, seguido del de extrusión. Un ejemplo de productos fabricados por esta técnica son los famosos bloques interconectables LEGO y juguetes Playmobil, así como una gran cantidad de componentes de automóviles, componentes para aviones y naves espaciales.

Los polímeros han logrado sustituir otros materiales como son madera, metales, fibras naturales, cerámicas y hasta piedras preciosas; el moldeo por inyección es un proceso ambientalmente más favorable comparado con la fabricación de papel, la tala de árboles o cromados. Ya que no contamina el ambiente de forma directa, no emite gases ni desechos acuosos, con bajos niveles de ruido. Sin embargo, no todos los plásticos pueden ser reciclados y algunos susceptibles de ser reciclados son depositados en el ambiente, causando daños a la ecología.

La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.

### 3.3.2.1. Principio del moldeo

El moldeo por inyección es una de las tecnologías de procesamiento de plástico más famosas, ya que representa un modo relativamente simple de fabricar componentes con formas geométricas de alta complejidad. Para ello se necesita una máquina de inyección que incluya un molde. En este último, se fabrica una cavidad cuya forma y tamaño son idénticas a las de la pieza que se desea obtener. La cavidad se llena con plástico fundido, el cual se solidifica, manteniendo la forma moldeada.

Los polímeros conservan su forma tridimensional cuando son enfriados por debajo de su  $T_g$  —y, por tanto, también de su temperatura de fusión para polímeros semicristalinos. Los polímeros amorfos, cuya temperatura útil es inferior a su  $T_g$ , se encuentran en un estado termodinámico de pseudoequilibrio. En ese estado, los movimientos de rotación y de relajación (desenredo de las cadenas) del polímero están altamente impedidos. Es por esta causa que, en ausencia de esfuerzos, se retiene la forma tridimensional. Los polímeros semicristalinos poseen, además, la característica de formar cristales. Estos cristales proporcionan estabilidad dimensional a la molécula, la cual también es —en la región cristalina— termodinámicamente estable. La entropía de las moléculas del plástico disminuye drásticamente debido al orden de las moléculas en los cristales.

### 3.3.2.2. Partes esenciales de una inyectora.

- UNIDAD DE CIERRE
- UNIDAD DE INYECCIÓN
- MOLDE



### **3.1.7.1 PROCESO DE EXTRUSIÓN**

La extrusión de polímeros es un proceso industrial, basado en el mismo principio de la extrusión general, sin embargo la ingeniería de polímeros ha desarrollado parámetros específicos para el plástico, de manera que se estudia este proceso aparte de la extrusión de metales u otros materiales.

El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un Dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido.

#### **3.3.2.3. Extrusores de un usillo**

Los extrusores más comunes utilizan un sólo husillo en el cañón. Este husillo tiene comúnmente una cuerda, pero puede tener también 2 y este forma canales en los huecos entre los hilos y el centro del husillo, manteniendo el mismo diámetro desde la parte externa del hilo en toda la longitud del husillo en el cañón.

La división más común para extrusores de un sólo husillo consiste en 4 zonas, desde la alimentación hasta la salida por el dado del material,

1. Zona de alimentación: En esta parte ocurre el transporte de gránulos sólidos y comienza la elevación de temperatura del material
2. Zona de compresión: En esta zona, los gránulos de polímero son comprimidos y están sujetos a fricción y esfuerzos cortantes, se logra una fusión efectiva
3. Zona de distribución: Aquí se homogeniza el material fundido y ocurren las mezclas.

**4. Zona de mezcla:** En esta parte que es opcional ocurre un mezclado intensivo de material, en muchos casos no se aconseja porque puede causar degradación del material.

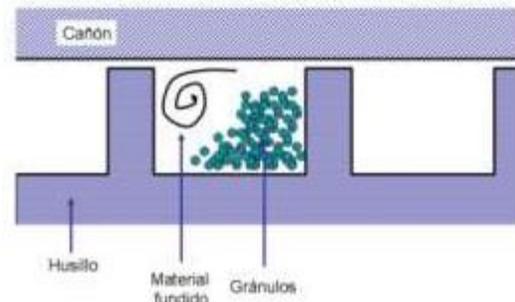
Los husillos pueden tener también dentro de algunas de sus zonas principales elementos dispersivos y elementos distributivos.

**Distribución:** Logra que todos los materiales se encuentren igual proporción en la muestra **Dispersión:** Logra que los componentes no se aglomeren sino que formen partículas del menor tamaño posible.

### 3.3.2.4. Fusión del polímero

El polímero funde por acción mecánica en combinación con la elevación de su temperatura por medio de calentamiento del cañón. La acción mecánica incluye los esfuerzos de corte y el arrastre, que empuja el polímero hacia la boquilla e implica un incremento en la presión.

La primera fusión que se presenta en el sistema ocurre en la pared interna del cañón, en forma de una delgada película, resultado del incremento en la temperatura del material y posteriormente también debida a la fricción. Cuando esta película crece, es desprendida de la pared del cañón por el giro del husillo, en un movimiento de ida y vuelta y luego un barrido, formando un patrón semejante a un remolino, o rotatorio sin perder el arrastre final. Esto continúa hasta que se funde todo el polímero.



**Fusión y arrastre:** Si el material se adhiere al husillo y resbala sobre la pared del cañón, entonces el arrastre es cero, y el material gira con el husillo. Si en cambio, el material no resbala con la pared del cañón y resbala con el husillo, entonces el arrastre es máximo y el transporte de material ocurre.

En la realidad el polímero experimenta fricción tanto en la pared del cañón como en el husillo, las fuerzas de fricción determinan el arrastre que sufrirá el polímero

#### **3.3.2.5. El dado**

El dado en el proceso de extrusión es análogo al molde en el proceso de moldeo por inyección, a través del dado fluye el polímero fuera del cañón de extrusión y gracias a éste toma el perfil deseado. El dado se considera como un consumidor de presión, ya que al terminar el husillo la presión es máxima, mientras que a la salida del dado la presión es igual a la presión atmosférica.

La presión alta que experimenta el polímero antes del dado, ayuda a que el proceso sea estable y continuo, sin embargo, el complejo diseño de los dados es responsable de esta estabilidad en su mayor parte.

El perfil del dado suele ser diferente del perfil deseado en el producto final, esto debido a la memoria que presentan los polímeros, esfuerzos residuales y orientación del flujo resultado del arrastre por el husillo.

Existen dados para tubos, para láminas y perfiles de complicadas geometrías, cada uno tiene características de diseño especiales que le permite al polímero adquirir su forma final evitando los esfuerzos residuales en la medida de lo posible.

Los dados para extruir polímeros consideran la principal diferencia entre materiales compuestos por macromoléculas y los de moléculas pequeñas, como metales. Los metales permiten ser procesados con esquinas y ángulos estrechos, en cambio los polímeros tienden a formar filos menos agudos debido a sus características moleculares, por ello es más eficiente el diseño de una geometría final con ángulos suaves o formas parabólicas e hiperbólicas.

### **3.3.3. PROCESO DE SOPLADO**

El moldeo por soplado es responsable de una parte sustancial de la producción total de plásticos. En repetidas ocasiones se ha tratado en Plásticos Universales de estos temas desde el punto de vista técnico; por ello, lo que sigue es una simple recopilación de los sistemas utilizados y de sus aplicaciones más importantes

La fabricación de cuerpos huecos presenta problemas casi insoslayables para la técnica de inyección de plásticos, que es la más extendida. Por ello, fuera de la técnica de moldeo rotacional que resulta lenta para la producción de las grandes cadencias necesarias para el moldeo de envases y otros productos similares, se ha acudido a tecnologías multi-fase, en las que se fabrica primero un material tubular mediante extrusión o inyección y luego se modifica su forma bajo temperatura mediante la inyección de aire en un molde hueco cerrado frío, solidificándose el plástico en su forma definitiva al contacto con sus paredes.

#### **3.3.3.1. Extrusión para Soplado**

El uso de la extrusión para producir el elemento tubular a partir del que se forma el cuerpo hueco permite un mejor aprovechamiento de las posibilidades de los materiales multicapa, con lo que se consiguen envases en que la pared está compuesta por capas de distintos materiales que otorgan las características diferenciadas de barrera, resistencia a la radiación UV, características mecánicas o coloración.

Las extrusoras para producir grandes capacidades, con peso superior a los 25-50 kg unitarios, suelen estar dotadas de acumuladores de extruido para producir la preforma de un modo mucho más rápido que el que permitiría el propio flujo del cabezal de extrusión, evitando que se descuelgue antes de quedar fijada por el pinzamiento del molde.

La extrusión permite una gran versatilidad de formas. En formas simples, es posible producir envases con asa incorporada que se sopla conjuntamente con el cuerpo del envase mediante un pinzamiento parcial de la preforma. Pueden fabricarse también tubuladuras de forma compleja utilizando un robot que posiciona la preforma dentro de las formas complejas y con cambio de dirección del molde abierto. Estos productos tienen un amplio campo de aplicación en la industria del automóvil, tanto en los sistemas de climatización como en algunas tubuladuras de admisión, así como en la fabricación de depósitos de combustible. Se fabrican también infinidad de artículos de juguetería, pallets y otros productos

Asimismo es el principal sistema para la fabricación de envases con plásticos biodegradables, que pueden ser la respuesta de la industria a los problemas de residuos sólidos urbanos, ya que estos materiales permiten su incorporación a los vertederos. En resumen, aunque sea el método más antiguo, es probablemente el más versátil y continuará siendo imprescindible para un número de aplicaciones.

#### 3.3.3.2. La inyección - soplado

La inyección- estirado- soplado nació para dar una respuesta objetiva a la obtención de envases para bebidas carbónicas en materiales transparentes. Por sus características mecánicas, el poliéster termoplástico es el material más adecuado, pero al tratarse de un polímero cristalino era preciso un proceso con una gran rapidez de transformación y enfriamiento que permitiera evitar la formación de cristalitas durante el paso a la fase sólida.

##### **3.3.3.2.1. Aplicaciones**

Los plásticos tienen cada vez más aplicaciones en los sectores industriales y de consumo. Algunos ejemplos son:

### **3.3.3.2.1.1. Empaquetado**

Una de las aplicaciones principales del plástico es el empaquetado. Se comercializa una buena cantidad de LDPE (polietileno de baja densidad) en forma de rollos de plásticos transparente para envoltorios. El polietileno de alta densidad (HDPE) se usa para películas plásticas más gruesas, como la que se emplea en las bolsas de basura. Se utilizan también en el empaquetado: el polipropileno, el poliestireno, el cloruro de polivinilo (PVC) y el cloruro de polivinilideno. Este último se usa en aplicaciones que requieren estanqueidad, ya que no permite el paso de gases (por ejemplo, el oxígeno) hacia dentro o hacia fuera del paquete. De la misma forma, el polipropileno es una buena barrera contra el vapor de agua; tiene aplicaciones domésticas y se emplea en forma de fibra para fabricar alfombras y sogas.

### **3.3.3.2.1.2. Construcción**

La construcción es otro de los sectores que más utilizan todo tipo de plásticos, incluidos los de empaquetado descritos anteriormente. El HDPE se usa en tuberías, del mismo modo que el PVC. Éste se emplea también en forma de lámina como material de construcción. Muchos plásticos se utilizan para aislar cables e hilos, y el poliestireno aplicado en forma de espuma sirve para aislar paredes y techos. También se hacen con plástico marcos para puertas, ventanas y techos, molduras y otros artículos.

### **3.3.3.2.1.3. Otras aplicaciones**

Otros sectores industriales, en especial la fabricación de motores, dependen también de estas sustancias. Algunos plásticos muy resistentes se utilizan para fabricar piezas de motores, como colectores de toma de aire, tubos de combustible, botes de emisión, bombas de combustible y aparatos electrónicos. Muchas carrocerías de automóviles están hechas con plástico reforzado con fibra de vidrio.

Los plásticos se emplean también para fabricar carcasas para equipos de oficina, dispositivos electrónicos, accesorios pequeños y herramientas. Entre las aplicaciones del plástico en productos de consumo se encuentran los juguetes, las maletas y artículos deportivos.

### **3.3.3.3. Salud y riesgos para el entorno**

Dado que los plásticos son relativamente inertes, los productos terminados no representan ningún peligro para el fabricante o el usuario. Sin embargo, se ha demostrado que algunos monómeros utilizados en la fabricación de plásticos producen cáncer. De igual forma, el benceno, una materia prima en la fabricación del nylon, es un carcinógeno. Los problemas de la industria del plástico son similares a los de la industria química en general.

La mayoría de los plásticos sintéticos no pueden ser degradados por el entorno. Al contrario que la madera, el papel, las fibras naturales o incluso el metal y el vidrio, no se oxidan ni se descomponen con el tiempo. Se han desarrollado algunos plásticos degradables, pero ninguno ha demostrado ser válido para las condiciones requeridas en la mayoría de los vertederos de basuras. En definitiva, la eliminación de los plásticos representa un problema medioambiental. El método más práctico para solucionar este problema es el reciclaje, que se utiliza, por ejemplo, con las botellas de bebidas gaseosas fabricadas con tereftalato de polietileno. En este caso, el reciclaje es un proceso bastante sencillo. Se están desarrollando soluciones más complejas para el tratamiento de los plásticos mezclados de la basura, que constituyen una parte muy visible, sí bien relativamente pequeña, de los residuos sólidos.

### LECCION 30. SOLDADURA CON ARCO - MEDIDAS DE SEGURIDAD

Según la NASD (*Nacional Ag Safety Database*), las medidas de seguridad necesarias para trabajar con soldadura con arco son las siguientes.

- Antes de empezar cualquier operación de soldadura de arco, se debe hacer una inspección completa del soldador y de la zona donde se va a usar. Todos los objetos susceptibles de arder deben ser retirados del área de trabajo, y debe haber un extintor apropiado de PQS o de CO<sub>2</sub> a la mano, no sin antes recordar que en ocasiones puedes tener manguera de espuma mecánica.
- Los interruptores de las máquinas necesarias para el soldeo deben poderse desconectar rápida y fácilmente. La alimentación estará desconectada siempre que no se esté soldando, y contará con una toma de tierra
- Los porta electrodos no deben usarse si tienen los cables sueltos y las tenazas o los aislantes dañados.
- La operación de soldadura deberá llevarse a cabo en un lugar bien ventilado pero sin corrientes de aire que perjudiquen la estabilidad del arco. El techo del lugar donde se suelde tendrá que ser alto o disponer de un sistema de ventilación adecuado. Las naves o talleres grandes pueden tener corrientes no detectadas que deben bloquearse.
- La radiación de un arco eléctrico es enormemente perjudicial para la retina y puede producir cataratas, pérdida parcial de visión, o incluso ceguera. Los ojos y la cara del soldador deben estar protegidos con un casco de soldar homologado equipado con un visor filtrante de grado apropiado.
- La ropa apropiada para trabajar con soldadura por arco debe ser holgada y cómoda, resistente a la temperatura y al fuego. Debe estar en buenas condiciones, sin agujeros ni remiendos y limpia de grasas y aceites. Las camisas deben tener mangas largas, y los pantalones deben ser de bota larga, acompañados con zapatos o botas aislantes que cubran.

## BIBLIOGRAFÍA

- Administración de producción y operaciones. Norman Gaither y Grez Frazier. Cuarta edición. Thomson editores. México. 846pp. Páginas 114 y 115.
- Ferramental para Conformaçõ de Chapas: Prof. Dr. Gilmar Ferreira Batahla. Escuela Politécnica USP Brasil.
- Fundamentos de Manufactura Moderna. Materiales, Procesos y Sistemas. Mikell P. Groover. Prentice Hall. 1997.
- Fundamentos de mercadotecnia / Philip Kotler, Gary Armstrong ; traducción Guadalupe Meza Staines de Garate, 4a Edición, Mexico, Editorial, Prentice-Hall, 1998, 585pp.
- La Construcción de Herramientas: R. Lehnert Editorial Reverte S.A. Tecnología de los Metales. GTZ.
- La producción industrial y su administración. Keith Locker. Editorial Alfaomega, 1995, México. 584pp. Páginas 87 y 88.
- Manual de ingeniería de la producción industrial / compilador Harold B. Maynard, Barcelona, Editorial Reverté, 1975. Volumen 2, Página 7-123.
- Manual de diseño de producto para manufactura : guía practica para producción a bajo costo / Editor James G. Bralla ; traducción Francisco G. Noriega, Juan Sanchez Herzberger, José Antonio Morales García, México, McGraw-Hill, 1993. Volumen 2. Diseño para maquinado lineamientos generales, páginas 4-4, 4-5, 4-6.
- Manufactura: ingeniería y tecnología. Serowe Kalpakjian y Steven R. Smith. Cuarta edición. Prentice Hall. México. 2002. 1152pp. Páginas 1113, 1114.
- Maquinas Herramientas y Manejo de Materiales: Herman W. Pollack Prince Hall.
- Microsoft ® Encarta ® 2007. © 1993--2006 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

- Módulo de Matricería del Departamento de Mecánica del Instituto Superior Tecnológico Ing. Luis Alberto Montalvo Soberón. "REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA" Chiclayo - Perú. Elvira García y García 750 Chiclayo Perú.
- Procesos para ingeniería de manufactura. Alting, Leo. Editorial Alfaomega. 1990. 369pp.
- Procesos de manufactura John A. Schey. Tercera edición. Mc Graw Hill. México. 2000. 1003p.p. Páginas 638.
- Tecnología de Fabricación y Tecnología de Maquinas. Publicado en Google.
- [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_mecanica/arranquedeviruta/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/arranquedeviruta/)
- <http://www.promonegocios.net/producto/concepto-producto.html>
- [http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2\\_III\\_3.html](http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Temario2_III_3.html)
- <http://www2.ing.puc.cl/icmcursos/procesos/apuntes/Capitulo%202.pdf>
- <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/92712145-150.pdf>
- <http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/Tema%2012%20Vida%20de%20las%20Herramientas.pdf>
- <http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/juanmartin/jmparametro score.htm>
- <http://www.ilustrados.com/documentos/fabricacionnan.doc>
- <http://www.cps.unizar.es/~altemir/descargas/Dise%F1o%20Mecanico/Cap%EDtulo%203.pdf>
- [http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado\(2\).pdf](http://isa.umh.es/asignaturas/tftm/mecanizado(2).pdf)
- <http://www.coromant.sandvik.com/sandvik/3200/Internet/Coroman/>
- <http://www.bricotodo.com/fresar.htm>

- <http://www.cps.unizar.es/~altemir/descargas/Dise%F1o%20Mecanico/Cap%EDtulo%203.pdf>
- <http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-taladrado.htm>
- <http://www.bricotodo.com/taladrar.htm>
- [http://www.toolingu.com/tu/Cortar\\_Metales\\_\(espa%C3%B1ol\)/Fundamentos\\_del\\_aserrado/Fundamentos\\_del\\_aserrado.html](http://www.toolingu.com/tu/Cortar_Metales_(espa%C3%B1ol)/Fundamentos_del_aserrado/Fundamentos_del_aserrado.html)
- [http://www.etutors-portal.net/Spanish%20Language%20Folder/Tecnologia/MantElectrom/M2\\_U3\\_MAQUINAS\\_CORTE.pdf](http://www.etutors-portal.net/Spanish%20Language%20Folder/Tecnologia/MantElectrom/M2_U3_MAQUINAS_CORTE.pdf)
- <http://personal.iddeo.es/javiarias/siecirc.htm>
- [www.eurocortec.com.mx/indice\\_freud.htm](http://www.eurocortec.com.mx/indice_freud.htm)
- <http://isa.umh.es/asignaturas/fac/2006/Tema3.pdf>
- <http://www.mediawiki.org/http://www.mediawiki.org/>
- <http://wikimediafoundation.org/http://wikimediafoundation.org/>