

**ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA
ENFOCADO AL DISEÑO DE PARTES. MULTIMEDIA
DE CAPACITACIÓN**

**LEONARDO ACEVEDO VELANDIA
LUIS GERARDO APONTE SIERRA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2007

**ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA
ENFOCADO AL DISEÑO DE PARTES. MULTIMEDIA
DE CAPACITACIÓN**

**LEONARDO ACEVEDO VELANDIA
LUIS GERARDO APONTE SIERRA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
ALFREDO PARADA CORRALES
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2007

DEDICATORIA

A quien corresponda

Leonardo Acevedo Velandia

DEDICATORIA

A Dios por señalarme y permitirme andar un camino lleno de expectativas y retos que engrandecen y desarrollan el sentido de la vida.

A mis padres Elena y Rafael por todas esas acciones diarias que los han hecho merecedores de un inmenso sentimiento de cariño y gratitud.

A Nubia por su tolerancia y apoyo incondicional.

A mis hijos: Sergio David y Daniel Felipe; que aunque hoy no están con nosotros, serán siempre recordados como dos Ángeles que nos acompañan desde el más allá.

Luis Gerardo Aponte Sierra

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Alfredo Parada Corrales, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su orientación y valiosa colaboración durante el desarrollo del proyecto.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica, por su interés y colaboración.

A la Universidad Industrial de Santander por su formación.

A nuestros padres y familiares.

A todos nuestros amigos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	20
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.2 OBJETIVO GENERAL	21
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.4 JUSTIFICACIÓN	22
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	24
2.1 DEFINICIÓN DE MANUFACTURA	24
2.2 LOS PROCESOS DE MANUFACTURA Y SU RELACIÓN CON LA INGENIERÍA CONCURRENTES	26
2.3 SELECCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA ADECUADO	27
2.3.1 Factores de costo.	27
2.3.2 Equipos Especiales.	30
2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA	32
2.4.1. OPERACIONES DE PROCESAMIENTO	32
2.4.2. OPERACIONES DE ENSAMBLE	95
2.4.3 PROCESOS PARA PLÁSTICOS	114
2.4.4. PROCESO PARA MATERIALES COMPUESTOS CON MATRIZ POLIMÉRICA (PMC)	125
3. DISEÑO DEL MULTIMEDIA	132
3.1 ENTORNO DE DISEÑO	132
3.1.1 Objetivo poblacional.	132
3.1.2 Contenido.	132

3.1.3 Requisitos de usuario.	132
3.2 DISEÑO COMUNICACIONAL	133
3.2.1 Dispositivos de entrada y salida.	133
3.3 DISEÑO DE LAS ZONAS DE COMUNICACIÓN	134
3.3.1 Zona de control de programa.	134
3.3.2 Zona de navegación por tema.	134
3.3.3 Zona de trabajo.	135
3.3.4 Zona de posicionamiento.	135
3.4 DISEÑO COMPUTACIONAL	136
3.5 ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA	136
3.5.1 Hardware.	136
3.5.2 Software.	137
4. ESTRUCTURA DEL CONTENIDO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA	138
5. EJEMPLO DE USO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA	144
CONCLUSIONES	147
RECOMENDACIONES	149
BIBLIOGRAFÍA	150
ANEXOS	154

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. La manufactura como un proceso técnico.	25
Figura 2. La manufactura como un proceso económico.	25
Figura 3. Desarrollo del proceso de fundición en molde de arena.	35
Figura 4. Fundición centrifuga.	36
Figura 5. Estirado de barras, varillas o alambre.	39
Figura 6. Representación esquemática del proceso de laminado plano.	41
Figura 7. Ilustración esquemática del proceso de extrusión indirecta.	42
Figura 8. Ilustración esquemática del proceso de extrusión directa.	42
Figura 9. Troquel para conformado de lámina.	44
Figura 10. Representación esquemática de un proceso de repujado.	47
Figura 11. Representación esquemática del proceso de formado con explosivos.	48
Figura 12. Formado electromagnético (1) disposición en la cual se inserta una bobina en la parte tubular rodeada por el dado, (2) parte formada.	49
Figura 13. Proceso convencional de maquinado.	50
Figura 14. Diferentes operaciones de torneado. a) Cilindrado, b) refrentado, c) roscado, d) cajado, e) taladrado, f) moleteado.	52
Figura 15. Esquematización y desarrollo de una operación de taladrado común.	53
Figura 16. Desarrollo de una operación manual de rectificado interno.	56
Figura 17. Desarrollo de una operación de esmerilado externo.	57

Figura 18. Desarrollo de una operación de rectificado cilíndrico externo sin centros.	58
Figura 19. Desarrollo del proceso de rectificado con banda abrasiva.	59
Figura 20. Ilustración esquemática de una herramienta de pulido.	60
Figura 21. Representación esquemática del proceso de asentado o lapeado.	61
Figura 22. Ilustración esquemática de una operación de superacabado de una parte cilíndrica.	62
Figura 23. Mandril de bruñir.	63
Figura 24. Ilustración esquemática de una operación de brochado.	64
Figura 25. Esquema de un proceso de cepillado.	64
Figura 26. Esquema de un proceso de limado.	65
Figura 27. Machuelado de roscas.	66
Figura 28. (a) Terraja enteriza, (b) Terraja enteriza ajustable, (c) Mango portaterrajas.	67
Figura 29. Desarrollo del proceso de maquinado con chorro de agua.	69
Figura 30. Representación esquemática del proceso de maquinado por electrodescarga.	71
Figura 31. Ilustración esquemática del proceso EBM.	72
Figura 32. a.) Ilustración esquemática del mecanizado químico. b.) diferentes fases del proceso durante la producción de una cavidad perfilada.	73
Figura 33. Endurecimiento por flama de un diente de engrane.	79
Figura 34. Esquema del proceso de aspersión en caliente.	93
Figura 35. Esquema del proceso de soldadura por arco con electrodo protegido.	97
Figura 36. Esquema del proceso de soldadura por arco con núcleo fundente.	98

Figura 37. Esquema del proceso de soldadura por arco con metal y gas inerte (MIG).	99
Figura 38. Esquema del proceso de soldadura por arco de plasma.	100
Figura 39. Esquema del proceso de soldadura por haz de electrones.	101
Figura 40. Esquema del proceso de soldadura por resistencia por puntos.	103
Figura 41. Tipos de soldadura por resistencia por proyección.	104
Figura 42. Esquema del proceso de soldadura a tope.	105
Figura 43. Esquema del proceso de soldadura con gas.	105
Figura 44. Esquema del proceso de soldadura por fricción por inercia.	108
Figura 45. Esquema del proceso de soldadura por fricción mediante batido.	109
Figura 46. Esquema del proceso de soldadura fuerte/blanda.	110
Figura 47. Esquema del proceso de corte con oxígeno y gas combustible.	112
Figura 48. Extrusión de plásticos.	115
Figura 49. Esquema del proceso de moldeo soplado por extrusión.	116
Figura 50. Moldeo por inyección de termofijos.	117
Figura 51. Moldeo de termofijos (émbolo de transferencia).	119
Figura 52. Esquema del proceso de formado al vacío.	121
Figura 53. Esquema del proceso de soldadura ultrasónica para plásticos.	122
Figura 54. Movimiento de las piezas soldadas por vibración.	123
Figura 55. Esquema del proceso de soldadura por elemento calefactor.	124
Figura 56. Moldeo de rocío o pulverización.	126
Figura 57. Moldeo con bolsa de vacío.	127
Figura 58. Moldeo con bolsa a presión.	128
Figura 59. Bobinado de filamento.	129
Figura 60. Estampado en frío.	131

Figura 61. Interfaz grafica de navegación.	133
Figura 62. Zonas de comunicación.	135
Figura 63. Pantallazo inicial de la herramienta multimedia.	144
Figura 64. Listado de procesos y área de trabajo de la herramienta multimedia.	145
Figura 65. Menú desplegable sobre el listado de procesos de manufactura.	146

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Disco Compacto con la Herramienta Multimedia.	155
Anexo B. Listado de los procesos de manufactura incluidos en la herramienta multimedia.	157

NOMENCLATURA O GLOSARIO

NOTACIÓN

AJM Proceso de maquinado por chorro de abrasivo.

CNC Control Numérico Computarizado.

EBM Proceso de maquinado con haz de electrones.

ECG Proceso de rectificado electroquímico.

ECM Proceso de maquinado electroquímico.

EDM Proceso de maquinado por electrodescarga.

EHF Proceso de formado electrohidráulico.

HERF Procesos de formado por alta tasa de energía.

MIG Proceso de soldadura por arco con metal y gas inerte.

NC Control numérico.

TIG Proceso de soldadura por arco con tungsteno y gas inerte.

USM Proceso de mecanizado ultrasónico.

RESUMEN

TÍTULO:
ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA ENFOCADO AL DISEÑO DE PARTES. MULTIMEDIA DE CAPACITACIÓN*

AUTORES:
Leonardo Acevedo Velandia
Luis Gerardo Aponte Sierra**

PALABRAS CLAVES:
Procesos de manufactura, producción, metales, plásticos, compuestos, requerimientos de diseño, desarrollo de nuevos productos.

DESCRIPCIÓN:
El objetivo de este proyecto es suministrar a la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, de una herramienta virtual "multimedia de capacitación" en el área de procesos de manufactura con énfasis en el diseño de partes, que pueda utilizarse como medio de consulta y aprendizaje por parte de los estudiantes de Ingeniería Mecánica y afines.

El diseño de la herramienta multimedia se desarrolló sobre la plataforma Hyper Tex Markup Lenguaje (HTML), la cual permite la integración de texto, imágenes, animaciones y sonido; la edición de lenguaje HTML se realizó con **Macromedia Dreamwaver**. También se usaron paquetes como **Corel Draw**, para la realización de gráficos.

El resultado es una herramienta de fácil manejo en la cual se presenta de manera organizada, un estudio de los diferentes procesos de manufactura aplicables al tratamiento de materiales metálicos, plásticos y compuestos. Analizando los aspectos más relevantes a tener en cuenta para la selección correcta y aplicación de un determinado proceso, según los requerimientos de diseño que se exigen en la producción y tratamiento de partes.

La compilación de información se hizo a partir de fuentes como libros, bases de datos, artículos, internet, entre otros. Se organizó de una manera didáctica que incluye videos, animaciones, tablas y figuras; todo esto, buscando obtener una herramienta práctica, con una buena interfase grafica y que permita al usuario un acceso fácil y rápido a la información que se presenta.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Alfredo Parada.

ABSTRAC

TITTLE:

ANALIZE OF MANUFACTUING PROCESSES FOCUS ON PARTS DESIGNING. TRAINNING MEDIA.*

AUTHORS:

Leonardo Acevedo Velandia

Luis Gerardo Aponte Sierra**

KEY WORDS:

Manufacturing processes; production; metals; plastics; compounds; designing requirements and new products developments.

DESCRIPTION:

The projects objective is to give to “Escuela de Ingeniería mecánica de la UIS” (Mechanic engineer school of UIS) a virtual tool “capacitating of multi media” in manufacturing processes area with emphasize on parts designing, which can be used like a consulting media and learning from mechanic engineer students and kindred.

The multimedia tool designing was development on platform *hyper text markup language* (HTML) which allows text integration, images, animations and sounds; language edition HTML was made with **Macromedia Dream waver**. **Corel draw** packets were using for graphics realization.

The result is a easy work tool which a study of different manufacturing process is a given in an applied in metals, plastics and composed materials treatments. Taking in to account the most relevant aspects in a correct selection and a particular process application, according to designing requirements demanded on parts production and treatment.

The compilation of information was made based on bibliographies, bases of dates, articles, Internet, etc. it was organized in a didactic way. Videos, animations, charts and figures are included. All that looks for getting a practice tool with an approached graphic interface that it allows an easy and fast access to give information.

* Monograph

** Physics- mechanic faculty, Mechanic School. Engineer AlfredoParada.

INTRODUCCIÓN

La incursión a un desempeño profesional por parte del recién egresado, exige en éste una preparación adecuada, teniendo en cuenta que el ambiente industrial es cada vez más competitivo y que evoluciona de manera sorprendente.

En particular, en lo que tiene que ver con los procesos de manufactura, su evolución radica en la disminución del tiempo de fabricación de un producto de alta calidad, reduciendo al máximo los costos que involucra su elaboración.

Con el propósito de capacitar a estudiantes y egresados en uno de los campos de desempeño de mayor auge y futuro como lo es el desarrollo de nuevos productos, se he desarrollado el presente trabajo de grado, el cual hace parte de un macroproyecto, que busca mediante la estructuración, análisis de viabilidad y la compilación de un material adecuado; fundamentar y motivar la creación de un nuevo programa de capacitación tipo diplomado, así como de un grupo de investigación para el mismo, en la Escuela de Ingeniería Mecánica, cuya área de estudio sea “el desarrollo de nuevos productos aplicando el diseño concurrente”.

En particular, este proyecto busca obtener un material apropiado de capacitación y consulta “multimedia de aprendizaje”, en lo concerniente a los diferentes procesos de manufactura, en donde se señalen las diferentes recomendaciones y parámetros generales a tener en cuenta en el diseño de una pieza de acuerdo al proceso de manufactura utilizado en su fabricación.

Los aspectos que se tratan para cada proceso son: descripción, equipo utilizado, aspectos económicos de producción, características y aplicaciones, materiales adecuados, recomendaciones de diseño, así como factores y tolerancias obtenidas mediante la aplicación del respectivo proceso. La multimedia incluye también un enlace que permite al usuario conocer una guía a cerca de las recomendaciones y parámetros para la selección adecuada de un proceso de manufactura en la elaboración de un determinado producto. Además, se tiene también un enlace por medio del cual el usuario puede conocer que empresa(s) de la región o por lo menos nacional, le puede desarrollar en un momento dado algunos de los procesos de manufactura más especializados y modernos.

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los propósitos de la Universidad Industrial de Santander es “la formación de personas de alta calidad ética, política y profesional”. Para cumplir con estos fines, especialmente en lo que tiene que ver con la formación profesional, la Universidad debe estar a la vanguardia en los avances de la tecnología, suministrando los medios necesarios para una formación integral y que corresponda a las exigencias de la industria nacional.

En la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, se cuenta con solo un programa de especialización como postgrado y ningún curso de capacitación tipo diplomado que se pueda cursar una vez culminada la carrera, e inclusive simultáneamente con ésta. Los programas existentes, a pesar de su alto nivel de calidad, resultan ser insuficientes teniendo en cuenta no sólo el número de egresados y estudiantes, sino también, la diversidad de campos de especialización y desempeño que se pueden continuar una vez culminada la carrera, diversidad ésta, que se hace cada vez mas numerosa y compleja, debido a la constante evolución técnica experimentada en cada uno de estos campos.

Una de las razones por las cuales no se ha podido introducir en la Escuela nuevos programas de capacitación como los anteriormente señalados; tiene que ver, con la falta de iniciativa y de apoyo por parte de los mismos estudiantes ante las propuestas realizadas por algunos profesores,

entendiéndose como apoyo, no sólo la aceptación de la idea, sino, la participación activa en su materialización, por ejemplo mediante un análisis detallado de viabilidad de la implementación de esos cursos en la Escuela, o también, mediante el desarrollo de un material académico adecuado para la capacitación y consulta en cada una de las áreas que se involucren en el desarrollo de estos nuevos programas de formación profesional.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un multimedia instructivo para el aprendizaje y consulta, que presente de manera clara, didáctica, completa, y sobre todo concisa, la información correspondiente al tema de los procesos de manufactura. Señalando para cada proceso mostrado, las diferentes recomendaciones y parámetros generales a tener en cuenta en el diseño de una pieza; recomendaciones éstas que se deben tener en cuenta para la selección óptima de un proceso que satisfaga los requerimientos que exige el diseño para manufacturabilidad, de acuerdo a los principios de la ingeniería concurrente.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crear una herramienta virtual que permita el estudio y consulta de los conceptos y aspectos que involucren los procesos de manufactura más utilizados en la fabricación de productos metalmecánicos, plásticos y compuestos (ver anexo B).
- Estructurar, (con ayuda del programa Macromedia XP) el multimedia en un orden lógico, de tal forma que se obtenga un documento de consulta que permita fácil acceso a la información. Este documento contendrá los

aspectos y parámetros más importantes que se deben tener en cuenta en el diseño de piezas de acuerdo al proceso de manufactura utilizado para su fabricación.

- Incluir un documento de consulta adicional, en donde se den a conocer algunas empresas nacionales que desarrollen algunos procesos de manufactura especializados o que presenten condiciones de trabajo poco comunes.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La carencia de cursos de capacitación profesional complementarios al plan de estudio de la carrera en la Escuela de Ingeniería Mecánica, limita las posibilidades que tiene el estudiante de recibir una formación aún mas completa (por lo menos en esta escuela), formación ésta que resulta ser de bastante importancia y utilidad, ya que durante el desarrollo del ciclo en la carrera se obtiene una gran cantidad de conocimientos en los diversos campos, además de una serie de aptitudes y habilidades requeridas para el desempeño profesional; sin embargo, si se tiene en cuenta que el ambiente industrial es cada vez más competitivo y que evoluciona de manera sorprendente no sólo en el aspecto tecnológico, sino también metodológico, y considerando además, la creciente dificultad que encuentra el recién egresado para ubicarse en el sector laboral, resulta ser de gran utilidad, que éste reciba una capacitación adicional con el fin de especializarse en un área determinada de acuerdo a sus aptitudes, preferencias y a las exigencias y novedades del medio.

Como es bien sabido, el proceso de aceptación y posterior implementación de un nuevo programa de formación en la universidad es bastante tedioso y complicado, sin embargo, conscientes del gran beneficio que esto implicaría, y ante la sugerencia, apoyo y colaboración de uno de los docentes del área diseño, pensamos, que como estudiantes podemos participar de manera activa mediante la realización de proyectos como el que se propone, buscando en últimas, la materialización de una idea.

Por otro lado, y sin ser el propósito central de este proyecto, existen aspectos que lo harían también muy útil, como por ejemplo, el poder disponer de un material adecuado para la consulta y autoformación en el área de procesos de manufactura, ya que como es bien sabido, la escuela de ingeniería mecánica presenta en estos momentos una gran falencia en la formación de sus ingenieros en este campo, el cual como se señalará mas adelante, es uno de los temas centrales de este proyecto.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

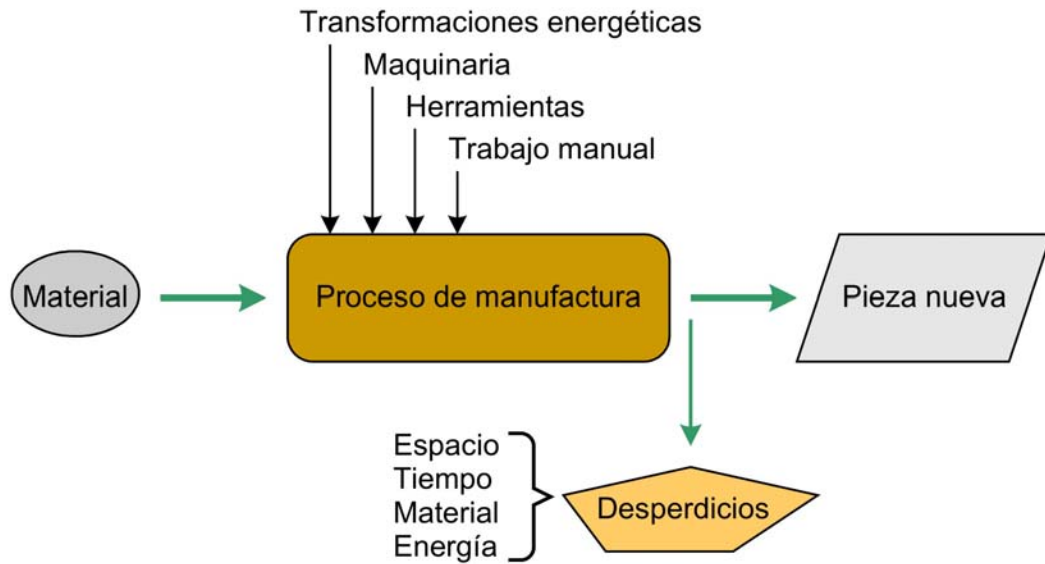
2.1 DEFINICIÓN DE MANUFACTURA

La palabra manufactura se deriva de las palabras latinas manus (manos) y factus (hacer); esta combinación de términos significa hacer con las manos.

La manufactura, como campo de estudio en el contexto moderno, puede definirse de dos maneras: tecnológica y económica. Tecnológicamente es la aplicación de procesos químicos y físicos que alteran la geometría, las propiedades, o el aspecto de un determinado material para elaborar partes o productos terminados. Los procesos para realizar la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, tal como se describe en la figura 1. La manufactura se realiza casi siempre como una sucesión de operaciones. Cada una de ellas lleva al material cada vez más cerca del estado final deseado.

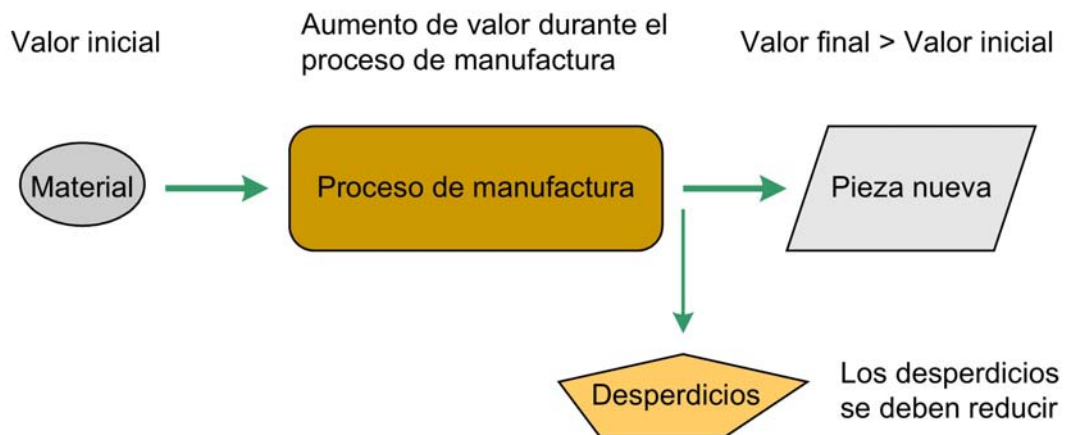
Económicamente, la manufactura es la transformación de materiales en artículos de mayor valor, a través de una o más operaciones, como se muestra en la figura 2. El punto clave es que la manufactura agrega valor al material original, cambiando su forma o propiedades, o al combinarlo con otros materiales que han sido alterados en forma similar. El material original se vuelve más valioso mediante las operaciones de manufactura que se ejecutan sobre él.

Figura 1. La manufactura como un proceso técnico.



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 2. La manufactura como un proceso económico.



Fuente: Autores del proyecto.

2.2 LOS PROCESOS DE MANUFACTURA Y SU RELACIÓN CON LA INGENIERÍA CONCURRENTENTE

Tradicionalmente, las actividades de diseño y manufactura han ocurrido de manera secuencial, más que de manera concurrente o simultánea. Aunque esta secuencia parece lógica y sencilla, es un procedimiento que desperdicia de forma extrema los recursos. Por ello, se está abriendo paso la ingeniería concurrente o simultánea.

La ingeniería concurrente es un procedimiento sistemático que integra el diseño y la manufactura de los productos, manteniendo a la vista la optimización de todos los elementos que forman parte del ciclo de vida del producto. El ciclo de vida implica que todos los aspectos de un producto: diseño, desarrollo, producción, distribución, uso, eliminación y reciclado se consideran de manera simultánea. Las metas básicas de la ingeniería concurrente son reducir los cambios en el diseño e ingeniería de producto y reducir el lapso que media entre el diseño del producto y su introducción en el mercado, así como los costos asociados a ese tiempo.

En la situación ideal de manufactura, la ingeniería concurrente asegura que el diseñador coopere con el ingeniero de manufactura. En conjunto aseguran que la pieza tenga características que la hagan eminentemente productible por medio de un proceso seleccionado y óptimo (diseño para manufacturabilidad). La selección del proceso se hace de acuerdo con un procedimiento formal.

2.3 SELECCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA ADECUADO

El estudio de los procesos de manufactura puede abordarse desde puntos de vista diferentes. Actualmente, los aspectos más importantes son de orden económico y tecnológico. Entre los factores a tener en cuenta para la selección adecuada de un determinado proceso podemos mencionar:

2.3.1 Factores de costo. Cuando se analizan diferentes alternativas para fabricar una pieza, o para efectuar un proceso, aparecen factores de costo variables, que se relacionan entre sí en mayor o menor grado y afectan el costo total de cada pieza, estos son:

- **Materiales:** El costo de los materiales es un factor importante cuando los procesos a evaluar incluyen el empleo de diferentes cantidades o formas de materiales alternativos. Además, el rendimiento y las pérdidas por desperdicios pueden llegar a tener una gran influencia en el costo de los materiales.

- **Mano de obra directa:** En general, los costos de la mano de obra directa se determinan por:
 - El proceso de manufactura en sí.
 - La complejidad del diseño de la pieza o el producto.
 - La productividad de los empleados.
 - Requisitos de acabado y tolerancias dimensionales.
 - Numero de operaciones de manufactura para terminar la pieza o producto.

Sin embargo, a la hora de determinar el precio de la mano de obra directa, el número de operaciones de manufactura requeridas para terminar una

pieza es el factor de costo más importante. Cada operación incluye el desplazamiento del material o la pieza, además de la inspección correspondiente. Es importante anotar que cuando aumenta el número de operaciones:

- Crecen los costos indirectos.
 - Hay más probabilidades de errores dimensionales acumulativos.
 - Se requiere más preparación de herramientas.
 - Aumentan los desperdicios y el “retrabajado”.
 - La programación del taller se vuelve más compleja.
-
- **Mano de obra indirecta:** Cuando se evalúa el costo de métodos y diseños alternativos para producción, es importante la mano de obra para preparación, inspección, manejo de materiales, afilado y reparación de herramientas y mantenimiento de máquinas y equipos. En algunos casos, las ventajas que supone un proceso frente a otro, se anulan debido a la mano de obra adicional requerida por el proceso “más ventajoso”.

 - **Herramientas especiales:** Dispositivos como las matrices, troqueles, moldes, modelos, calibradores y otros, son un factor de costo importante cuando se inicia la manufactura de piezas nuevas o se introducen grandes cambios en los productos existentes. El costo unitario de las herramientas depende en gran medida del volumen de producción y está limitado por su duración esperada y obsolescencia. Un gran volumen de producción justifica fuertes inversiones en herramientas especiales. En general, la competencia y el progreso exigen mejoras en el diseño de productos y métodos de manufactura dentro del lapso de amortización de la inversión.

- **Consumibles (herramientas y suministros de corta duración):** Elementos como brocas, buriles, fresas, ruedas de amolar, limas, cuchillas, machuelos, escariadores (rimas) y otros similares y los suministros como lija de esmeril, solventes, lubricantes, fluidos para limpieza, sales, polvos, trapos para limpieza, cinta adhesiva, compuestos para pulir, etc. Generalmente, son considerados como parte de los gastos indirectos de manufactura. Sin embargo, cuando se emplean grandes cantidades de suministros, deben considerarse como un factor de costo independiente. Para el caso de operaciones de corte, se recomienda considerar el costo de herramienta por corte.
- **Servicios generales:** En general, el costo de la energía eléctrica, gas, vapor, refrigeración, calefacción, agua, aire comprimido y otros, se considera como parte de los gastos de manufactura, pero esos costos se deben calcular en forma específica cuando se emplean ampliamente durante un proceso de manufactura determinado.
- **Capital invertido:** Cuando se va a iniciar la producción de una nueva pieza o producto, se debe tener en cuenta la disponibilidad de espacio, máquinas, equipo e instalaciones auxiliares junto con la inversión de capital requerida para métodos alternos. Si se cuenta con suficiente capacidad productiva, es probable que no se requiera inversión de capital para iniciar la manufactura de una pieza o producto nuevo con los procesos existentes. Por otra parte, en algunas ocasiones la producción de un solo componente requiere, además de equipo adicional, espacio, instalaciones auxiliares y terrenos.

- **Otros factores.** Los costos de empaque, embarque, servicio y mantenimiento imprevisto, así como tolerancias para “retrabajar” y desperdicio, en ocasiones deben incluirse en el momento de hacer comparaciones de procesos. Asimismo, al efectuar esta comparación sólo se deben incluir en el análisis los costos diferentes para cada uno. Además cuando la cantidad de producción de una pieza o producto nuevo es baja, se deben emplear los equipos disponibles para componentes similares.

2.3.2 Equipos Especiales. Se debe considerar las herramientas y equipo para usos especiales y operaciones múltiples con el fin de aprovechar los métodos y economías en la manufactura que ofrecen, siempre que estén disponibles y/o se justifiquen.

- **Efectos sobre la selección del material:** El grado de automatización del proceso rara vez influye en la selección del material, más bien, es el material quien influye en la selección de la herramienta. De todos modos, los materiales más sencillos para maquinar, fundir, moldear, etc., son igualmente buenos para un proceso manual o automático, aunque hay dos posibles excepciones:

a. Cuando las cantidades para producción son grandes, puede ser más económico obtener fórmulas y tamaños específicos de materiales que sean lo más cercano a los requisitos de la pieza que se va a producir y que no se justificarían para cantidades pequeñas.

b. Cuando se emplea equipo complejo interconectado, como en líneas de transferencia, puede ser aconsejable especificar materiales de libre maquinado o de fácil procesamiento, para tener la seguridad de que el

equipo trabaje en forma continua, o para reducir el tiempo muerto para afilar o sustituir las herramientas.

- **Efecto sobre los volúmenes de producción:** El equipo para uso especial requiere fuertes inversiones. Esto exige que el volumen de producción sea suficiente para amortizar la inversión. Ese equipo, es para producción en serie, aunque, puede producir considerables ahorros en los costos unitarios.

La ventaja principal del equipo para usos especiales y automáticos, es el ahorro de mano de obra, otras ventajas son: menor inventario de trabajo en proceso, menos posibilidades de daños a las piezas durante el manejo, tiempo de ciclo reducido, menos espacio en el piso y menos piezas rechazadas.

La ventaja de equipo NC y CNC es que permite el funcionamiento automático sin estar limitado a una pieza o un grupo pequeño de piezas y sin necesidad de herramientas especiales. La automatización con bajos y medianos volúmenes de producción se justifica con el NC y el CNC.

- **Efectos sobre el diseño:** Prácticamente no hay diferencia en las recomendaciones para diseño de productos hechos con equipo automático o con control manual. Sin embargo, en algunos casos el reflejo en los costos de no tener en cuenta una recomendación para diseño, se puede minimizar utilizando un proceso automático. Con equipo automático, una operación adicional que normalmente no tiene justificación económica podría ser factible, porque el costo adicional principal es el de agregar algún componente al herramental o al equipo.

- **Efectos sobre la exactitud dimensional:** Por lo general, las máquinas y herramientas especiales trabajan con mayor exactitud que el equipo para uso general.
- **Otros efectos del CNC:** El equipo con control numérico computarizado ofrece varias ventajas en el diseño para producción, entre otras:
 - Reducir el tiempo de demora para producir piezas nuevas. Se puede ver rápidamente la pieza terminada, evaluar los resultados e incluir los cambios necesarios casi desde el principio.
 - Las piezas cuya producción no resulta económica con los métodos convencionales, sí lo serán con CNC o NC.
 - El control por computadora puede optimizar algunas condiciones del proceso, como los avances y velocidades de corte según avanza el trabajo.

2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

Los procesos de manufactura pueden dividirse en dos tipos básicos:

2.4.1. Operaciones de procesamiento. Una operación de procesamiento transforma un material de trabajo de una etapa a otra más avanzada, que lo sitúa cerca del estado final deseado para el producto. Cualquier operación de procesamiento utiliza energía para alterar la forma, las propiedades físicas o el aspecto de una pieza de trabajo a fin de agregar valor al material. Las formas de energía incluyen la mecánica, térmica, eléctrica o química. La energía se aplica de forma controlada mediante la maquinaria y su herramental. La mayoría de estas operaciones producen desechos o desperdicios.

Comúnmente se requiere más de una operación de procesamiento para transformar el material inicial a su forma final. Las operaciones se realizan en una sucesión particular que se requiera para lograr la geometría y las condiciones definidas por las especificaciones de diseño.

Las operaciones de procesamiento las podemos clasificar de la siguiente manera:

- Procesos de fundición.
- Procesos de deformación volumétrica.
- Procesos de conformado de lámina.
- Procesos convencionales de maquinado.
- Procesos de maquinado no tradicional.
- Metalurgia de polvos.
- Procesos de mejora de propiedades.
- Operaciones de procesamiento de superficies.

- **FUNDICIÓN DE METALES**

Conjunto de operaciones que permite dar forma a los materiales metálicos mediante su fusión, colado sobre molde apropiado y posterior solidificación dentro de él.

Existen diversos métodos para la fundición de formas, lo cual hace de este proceso uno de los más versátiles en manufactura.

Los procesos de fundición se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Fundición con arena
- b) Fundición en molde permanente

- c) Fundición por centrifugación
- d) Fundición en molde de yeso
- e) Fundición en molde de cerámica
- f) Fundición a presión

a) Fundición en molde de arena: La fundición en arena consiste en vaciar el metal fundido a un molde de arena (generalmente sílice arcilla de bentonita, aditivos orgánicos y agua) previamente apisonado y comprimido. Dejar solidificar el metal y romper después el molde para remover la fundición. Posteriormente la fundición pasa por un proceso de limpieza e inspección, pero en ocasiones requiere un tratamiento térmico para mejorar sus propiedades metalúrgicas. La figura 3 muestra una serie de fotografías que describen el proceso de fundición en molde de arena.

b) Fundición en molde permanente: En la fundición o colada con molde permanente se vierte metal fluido en moldes de metal y se sujeta solo a presión hidrostática. Los moldes se hacen comúnmente de acero o hierro fundido y consta de dos secciones que están diseñadas para cerrar y abrir con precisión y facilidad.

El método de fundición en moldes permanentes se emplea para casos de esfuerzo mecánico importante, a menudo con huecos y geometría interior intrincada. Para tales casos este sistema de trabajo es técnicamente insustituible.

Figura 3. Desarrollo del proceso de fundición en molde de arena.



a) Medio molde de arena



b) Corazón de arena en medio molde



c) Ensamblando las mitades del molde



d) Vaciando acero fundido



e) Llenando un molde



f) Vaciado con tratamiento de arena

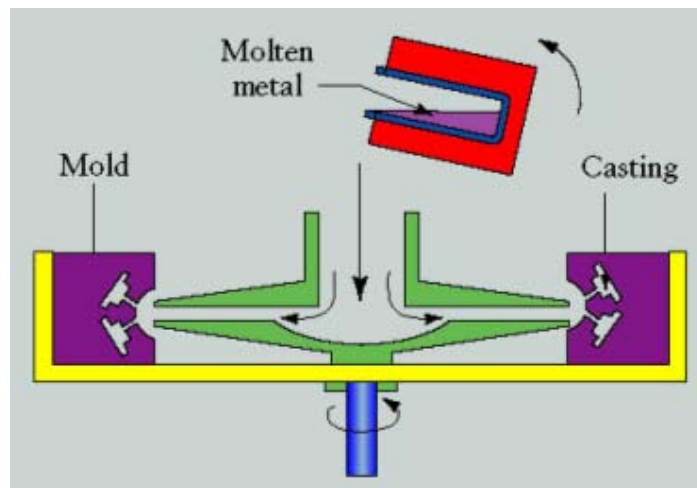
Fuente: Documento PDF. Disponible en Internet. De la Universidad Mayor de San Simón-Facultad de Ciencias y tecnología. Ing. Mecánica.nc

c) Fundición por centrifugación: La fundición centrífuga se refiere a varios métodos de fundición caracterizados por utilizar un molde que gira a alta

velocidad para que la fuerza centrífuga distribuya el metal fundido en las regiones exteriores de la cavidad del dado (figura 4), con costos razonables para producir piezas cilíndricas huecas y discos así como piezas complicadas.

La fundición por centrifugación se puede clasificar en tres tipos generales: centrífuga, semicentrífuga y totalmente centrífuga.

Figura 4. Fundición centrífuga.



Fuente: <http://www.nd.edu/~manufact/powerpoint/mpemch05.ppt>

d) Fundición en molde de yeso: La fundición con moldes de yeso es similar a la que se hace con moldes de arena, con la diferencia de que el molde y los corazones se hacen con yeso, el cual, se suele mezclar con aditivos como el talco y la arena de sílice para controlar la contracción y el tiempo de fraguado, reducir los agrietamientos e incrementar la resistencia.

Para fabricar el molde, se hace una mezcla de yeso y agua, se vacía en un modelo de plástico o metal en una caja de moldeo y se deja fraguar. La consistencia permite a la mezcla de yeso fluir fácilmente alrededor del patrón, capturando los detalles y el acabado de la superficie. Ésta es la causa de que las fundiciones hechas en moldes de yeso sean notables por su fidelidad al patrón.

e) Fundición en molde de cerámica: La fundición en molde de cerámica es similar a la hecha en molde con yeso, salvo que los materiales del molde son más refractarios, requieren mayor precalentamiento y son adecuados para las aleaciones más fáciles de vaciar, en especial las ferrosas. La pasta aguada refractaria consiste en circonio de grano fino de alta alúmina calcinado o, en algunos casos, sílice fundida.

f) Fundición a presión: En el proceso de fundición a presión el metal fundido es inyectado a alta presión en una matriz metálica dividida, por cuya razón este sistema se denomina por inyección. La fundición a presión es un proceso que necesariamente utiliza moldes permanentes (el molde se reutiliza muchas veces) y se puede clasificar en: fundición a baja presión, fundición con molde permanente al vacío y fundición en dados.

- **PROCESOS DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA**

En los procesos de deformación volumétrica se usa la deformación plástica para cambiar la forma de las piezas metálicas. La deformación resulta del uso de una herramienta que usualmente es un dado para formar metales, el cual aplica esfuerzos que exceden la resistencia a la fluencia del metal. Por tanto,

el metal se deforma para tomar la forma que determina la geometría del dado.

En general, se aplica el esfuerzo de compresión para deformar plásticamente el metal. Sin embargo, algunos procesos de formado estiran el metal, mientras que otros lo doblan y otros más lo cortan. Para formar exitosamente un metal éste debe poseer ciertas propiedades. Las propiedades convenientes para el formado son generalmente una baja resistencia a la fluencia y alta ductilidad. Estas propiedades son afectadas por la temperatura. La ductilidad se incrementa y la resistencia a la fluencia se reduce cuando se aumenta la temperatura de trabajo. El efecto de la temperatura da lugar a la distinción entre trabajo en frío, trabajo en caliente. El trabajo en caliente toma lugar por encima de la temperatura de recristalización o rango de endurecimiento por trabajo. El trabajo en frío debe hacerse a temperaturas abajo del rango de recristalización y frecuentemente es realizado a temperatura ambiente. Se realizan las operaciones en frío cuando la deformación no es tan significativa y se requiere mejorar las propiedades mecánicas de las partes con un buen acabado superficial. El trabajo en caliente se realiza cuando la deformación es significativa comparada con la parte original.

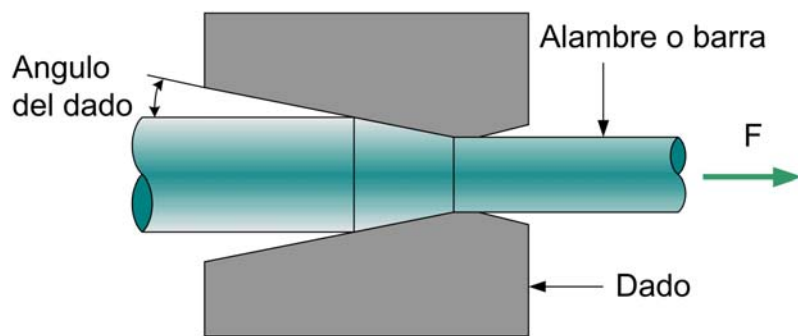
Los procesos de deformación volumétrica se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Estirado
- b) Forjado
- c) Laminado
- d) Extrusión
- e) Doblado de tubos y perfiles

a) Estirado: Es un proceso que consiste en reducir el espesor (o modificar la sección transversal de una pieza larga). La operación consiste en deformar el metal mediante la aplicación de una fuerza delantera que obliga al metal a pasar por la abertura de la matriz, que controla la geometría, y el tamaño de la sección de salida como se muestra en la figura 5.

El estirado puede comprender la deformación de láminas, planos, tubos, alambres, barras y secciones especiales.

Figura 5. Estirado de barras, varillas o alambre.



Fuente: Autores del proyecto

b) Forjado: El Forjado cambia el tamaño y la forma de un pedazo de metal, pero no afecta el volumen. Este cambio es realizado aplicando una fuerza mayor al punto de fluencia del metal, lo cuál le obliga a deformarse acorde con la fuerza y los límites físicos de la misma. Si bien la fuerza tiene que ser lo suficientemente fuerte para deformar el metal, esta última tiene que tener cuidado de no destruir el material, es decir no tiene que forzar al material al punto de llegar a su punto de fractura.

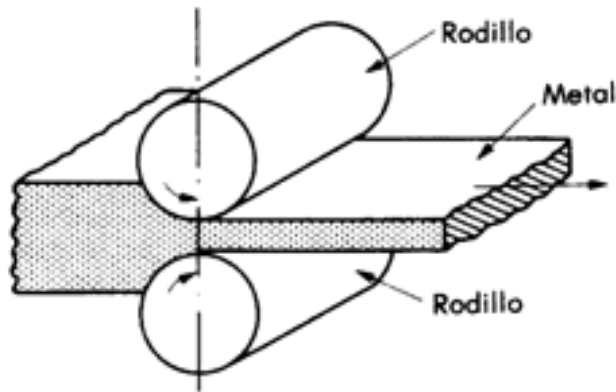
La estructura de grano controlada es el beneficio que distingue a la forja. La dureza, ductilidad y resistencia al impacto a lo largo del grano son significativamente mayores que los del metal vaciado o soldado, con los cristales orientados al azar.

Las operaciones convencionales de forja son clasificadas según se realicen en dado abierto o cerrado. Sin embargo, existen otras operaciones de formado para metal que están relacionadas y se asocian muy cerca con el forjado, entre éstas están: el recalado en frío y el estampado por rotación.

c) Laminado: Es un proceso que consiste en modificar una masa metálica haciéndola pasar entre rodillos superpuestos, que giran en sentido inverso. 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.

Existen varias clases de laminado, dentro de las más importantes podemos señalar: laminado plano, de perfiles, de anillos, de cuerdas, de engranes, etc. La siguiente figura representa el proceso de laminado plano.

Figura 6. Representación esquemática del proceso de laminado plano.



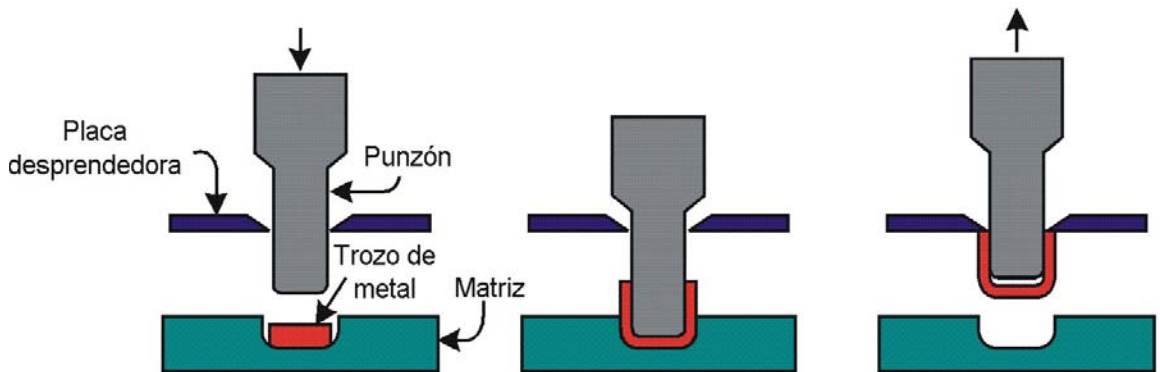
Fuente: Documento PDF. Disponible en Internet. De la Universidad Mayor de San Simón-Facultad de Ciencias y tecnología. Ing. Mecánica.

d) Extrusión: La extrusión, es un proceso en el que una barra o lingote de metal se comprime arriba de su límite elástico en una cámara en la cual, por medio de un émbolo impulsado mecánica o hidráulicamente, se fuerza a través un dado, tomando la forma de éste. Una analogía cotidiana es la extracción de pasta de un tubo que se comprime.

El producto puede ser sólido y hueco y el proceso puede hacerse en caliente o en frío pero es predominantemente un proceso de trabajo en caliente. Otra forma de clasificar las operaciones de extrusión, es atendiendo a la configuración física del equipo, se distinguen dos tipos principales: extrusión directa y extrusión indirecta. En el primer caso, 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. En el proceso de extrusión indirecta, el dado y el émbolo están del mismo lado del lingote y el dado es forzado dentro del lingote, por el movimiento del émbolo.

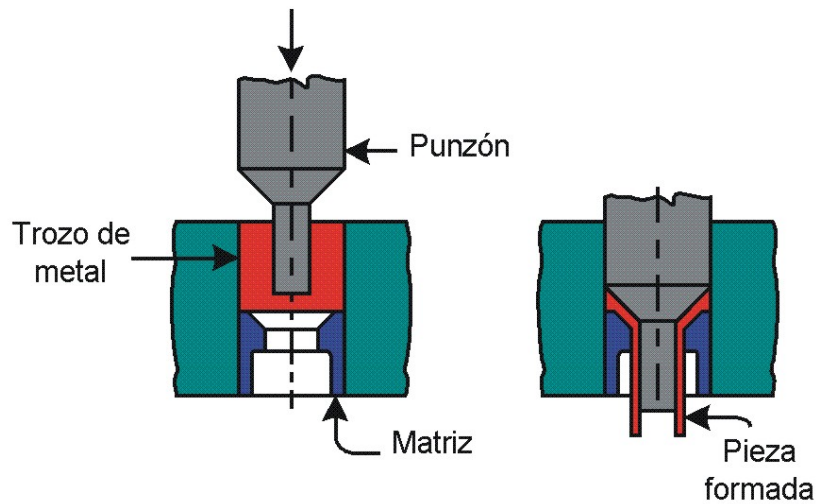
Las siguientes figuras ilustran los procesos de extrusión indirecta y directa respectivamente.

Figura 7. Ilustración esquemática del proceso de extrusión indirecta.



Fuente: Autores del proyecto

Figura 8. Ilustración esquemática del proceso de extrusión directa.



Fuente: Autores del proyecto

e) Doblado de tubos y perfiles: Las barras, varillas, alambre, tubos y perfiles estructurales se doblan con el fin de adecuarlos para una función específica.

Entre los métodos comunes de doblado están el doblado por compresión, doblado por arrastre, doblado por prensado con cabezal, doblado por rodillos, doblado por tracción, doblado por arrugado, doblado por rodillos y extrusión.

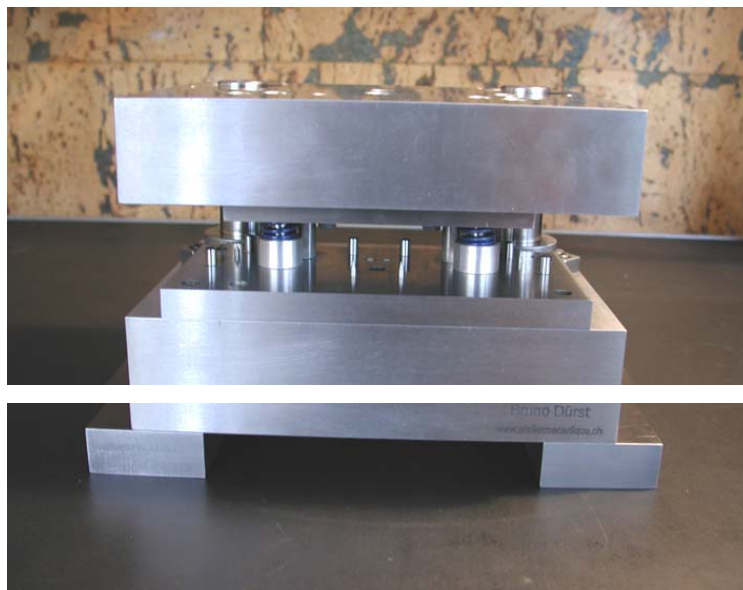
- **PROCESOS DE CONFORMADO DE LÁMINA**

Los procesos de trabajo con láminas metálicas son operaciones de formado o preformado de láminas de metal, tiras y rollos. La relación entre el área superficial y el volumen del material inicial es alta; por lo que esta relación es un medio útil para diferenciar la deformación volumétrica de los procesos con láminas metálicas.

La mayoría de los procesos de trabajo de láminas metálicas se llevan a cabo en prensas; estos procesos se conocen como operaciones de troquelado. Sin embargo existen otros procesos para el trabajo de láminas metálicas que no se realizan en prensas y que requieren un estudio diferente.

a) Troquelado: En términos sencillos, el troquelado es un método para trabajar láminas metálicas, en forma y tamaño predeterminados, por medio de un troquel y una prensa. El troquel determina el tamaño y forma de la pieza terminada y la prensa suministra la fuerza necesaria para efectuar el cambio.

Figura 9. Troquel para conformado de lámina.



Fuente: www.ateliermecanique.ch

La mayoría de los procesos con láminas metálicas se realizan en frío excepto cuando el material es grueso, frágil o la deformación es significativa, en estos casos el trabajo se realiza en caliente.

Quizá la principal característica de las piezas metálicas troqueladas es que, con unas cuantas excepciones, el espesor de la pared es esencialmente el mismo en toda la pieza. Las piezas troqueladas terminadas son, algunas veces, bastante complicadas en forma, con muchas salientes, brazos, agujeros de varias formas, huecos, cavidades y secciones levantadas.

Existen varias clases de troquelado dependiendo del tipo de máquina y del herramental utilizado; así, podemos encontrar: troquelado convencional, troquelado para bajos volúmenes de producción y troquelado fino.

- **Troquelado convencional:** En el troquelado convencional se emplean troqueles para una aplicación en una operación particular (herramental de tipo permanente). Como cada equipo está diseñado para realizar una tarea específica, la calidad de las piezas producidas con el herramental de tipo particular es usualmente superior que la producida con herramientas universales y, por tanto, la intercambiabilidad de las piezas producidas es mejor. La producción es más rápida (de 35 a 500 o más golpes por minuto) que en los métodos para bajos volúmenes que emplean herramientas universales, otra ventaja con respecto a este método es que los costos de mano de obra por pieza son menores.

Las operaciones para troquelado de láminas metálicas incluyen:

- Punzonado
- Doblado
- Embutido
- Acuñado
- Estampado
- Repujado

- **Métodos de troquelado para bajos volúmenes de producción:** Difieren de los procesos de troquelado convencional en que se emplean herramientas universales o de rangos muy amplios de aplicación, en lugar de troqueles hechos para una sola operación. Dependen más de la habilidad del operador que de la precisión del herramental. Sus velocidades de producción son bastante más bajas que las del troquelado convencional.

Los métodos más comunes para el procesado de láminas metálicas por este método incluyen:

- Cizallado

- Recorte en ángulo
- Punzonado de extremos
- Cizallado rotatorio
- Doblado en máquina dobladora
- Doblado en prensa de cortina
- Punzonado con torreta
- Otros métodos que utilizan herramental especial

➤ **Troquelado fino:** El proceso de troquelado fino es una técnica de prensado que utiliza una prensa especial, herramientas y troqueles de precisión para la producción de piezas que quedan casi terminadas y listas para usar cuando salen de la prensa de troquelado; prescindiendo de operaciones secundarias de acabado como rebabeado, rectificado, escariado, pulido, etc.

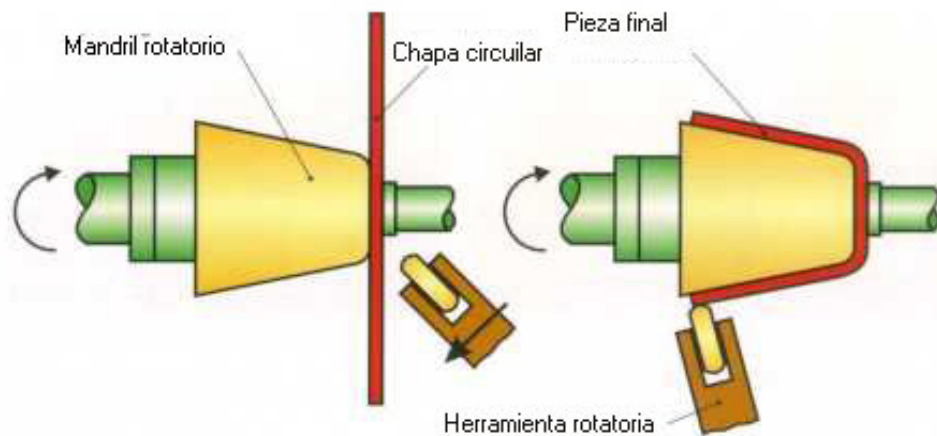
Las operaciones que pueden efectuarse en los troqueles progresivos para troquelado fino son las siguientes:

- Achaflanado (interno o externo).
- Doblado (laterales, lengüetas, salientes, etc.)
- Acuñaado para abocardados, adelgazado del material en componentes tipo martillo, bridas y monedas o medallas.
- Formado (“embutidos” superficiales son posibles en ciertas piezas y materiales).

b) Operaciones con láminas metálicas no realizadas en prensas: Algunas operaciones de conformado de lámina no se realizan en prensas de troquelado. Dentro de estas operaciones están el rechazado y los procesos de formado que utilizan altas velocidades de energía.

- **Rechazado:** el proceso de rechazado de metales se usa comercialmente para conformar o formar placas circulares gruesas de alguna forma sobre un cuerpo giratorio como se muestra en la siguiente figura.

Figura 10. Representación esquemática de un proceso de repujado.



Fuente: http://www.premio.terniumsiderar.com/files/JC_2006_Procesos.pdf#search=%22piezas%20estampadas%20%22

Una especie de torno se usa para hacer girar la pieza rápidamente, el formado se hace con una herramienta de presión roma o rodillo que entra en contacto con la superficie de la pieza en rotación provocando su conformación a un mandril (platillo), lográndose así la forma deseada.

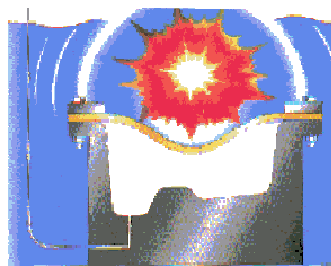
- **Formado por alta velocidad de energía:** las fuerzas aplicadas a velocidades altas sobre periodos cortos de tiempo para cortar o formar el metal dan resultados excepcionales en algunos casos. Un número de procesos realizan el formado a tasa alta de energía (HERF). Las operaciones realizadas principalmente para formar lámina de metal son la formación por explosivos, la formación electrohidráulica y la

formación electromagnética. Por lo general debe aplicarse un poco más de energía a una operación HERF que a una operación ordinaria.

- **Formado por explosión:** El formado con explosivos, aprovecha el fenómeno metalúrgico que muchos metales parecen deformarse más fácilmente con aplicaciones de cargas del tipo ultrarrápido. La rápida liberación de alta energía es obtenida de la explosión de varias formas de dinamita, pólvora negra o gases, la figura 11 esquematiza el proceso.

Hay cierto número de variaciones del proceso, incluyendo la "operación de contacto explosivo" (la carga se fija a la pieza de trabajo) y la "operación a distancia" (la carga está separada de la pieza de trabajo). En este último caso, un medio fluido, por lo general agua, transmite la onda de choque.

Figura 11. Representación esquemática del proceso de formado con explosivos.



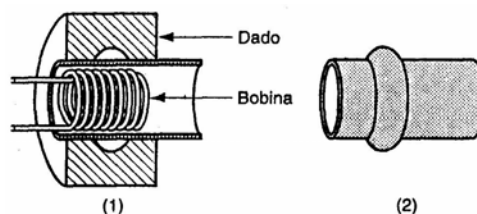
Fuente: Departamento de Materiales Ciencia e Ingeniería de la Universidad de Ohio. Artículo disponible en Internet.

- **Formado electrohidráulico:** El formado electrohidráulico (EHF) es un proceso de alta energía en el cual se genera una onda de choque para

deformar el material de trabajo en la cavidad de un dado a través de una descarga eléctrica entre dos electrodos sumergidos en un fluido de transmisión (agua). Otra forma es descargar una gran corriente a través de un alambre en el líquido; el alambre explota bajo la carga pesada y envía una onda de choque.

- **Formado electromagnético:** Desarrollado en 1960, el formado electromagnético es el proceso de alta energía más extensamente usado en la actualidad. Es una técnica en la cual se emplea un campo magnético de alta intensidad para formar piezas metálicas de formas casi siempre tubulares como se ilustra en la figura 12. La pieza se forma por medio del paso de un pulso de corriente eléctrica a través de una bobina formadora sin que haya contacto mecánico. La corriente eléctrica produce un campo magnético muy intenso que dura unos cuantos microsegundos. Las corrientes de Eddy resultantes, inducidas en una pieza de metal conductor, interactúan con el campo magnético, lo cual origina una repulsión entre la pieza de trabajo y la bobina formadora. Con la ayuda de esta fuerza de repulsión y de una matriz o de un mandril, el metal de la pieza de trabajo se fuerza bastante más allá de su límite elástico.

Figura 12. Formado electromagnético (1) disposición en la cual se inserta una bobina en la parte tubular rodeada por el dado, (2) parte formada.



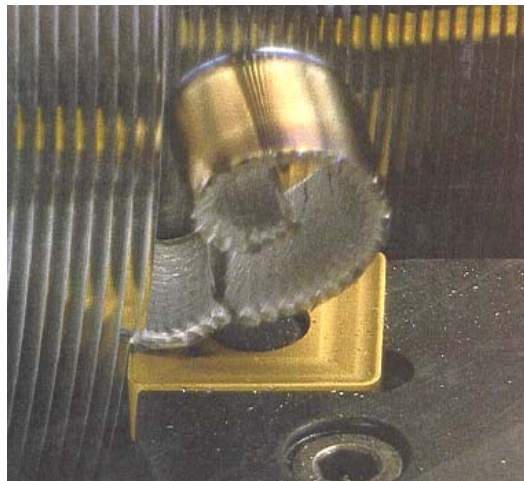
Fuente: Documento pdf. Disponible en Internet. De la Universidad Mayor de San Simón-Facultad de Ciencias y tecnología. Ing. Mecánica.

- **PROCESOS CONVENCIONALES DE MAQUINADO**

Los procesos de conformado por eliminación de material, habitualmente denominados procesos de mecanizado, se caracterizan por la obtención de la geometría final de la pieza mediante la eliminación del material sobrante de una preforma de partida. La eliminación de material se realiza fundamentalmente por medios mecánicos, utilizando herramientas de corte que son más duras y más fuertes que el metal de trabajo como se muestra en la figura 13.

Si no es necesaria una gran exactitud dimensional, las piezas troqueladas, fundidas, conformadas o moldeadas, tal como están acabadas, resultan más económicas. Sin embargo, cuando hay que tener en cuenta el acabado de superficie, planicidad, redondez, circularidad, paralelismo y ajuste preciso, casi siempre se necesita cierto maquinado de la pieza.

Figura 13. Proceso convencional de maquinado.



Fuente: [http://fabetsia.dmpa.upm.es/solo_alumnos/sp1/Apuntes_sp1 / Mecanizado%20r03%20passwd.pdf#search=%22mecanizado%20titanio%20filetype%3Apdf%22](http://fabetsia.dmpa.upm.es/solo_alumnos/sp1/Apuntes_sp1/Mecanizado%20r03%20passwd.pdf#search=%22mecanizado%20titanio%20filetype%3Apdf%22)

Los procesos convencionales de maquinado los podemos clasificar así:

- a) Torneado
- b) Fresado
- c) Procesos para maquinar agujeros
- d) Esmerilado
- e) Procesos abrasivos relacionados al esmerilado
- f) Brochado
- g) Cepillado
- h) Aserrado
- i) Limado
- j) Machuelado y tarrajado

a) Torneado: Se suele efectuar al hacer que las herramientas de corte, de diferente configuración y que trabajan en forma separada o simultánea, se muevan en una trayectoria precisa con respecto a una pieza de trabajo en rotación. Las piezas de trabajo que por lo general son de metal en forma de barras, tubos, piezas fundidas y forjadas, se sujetan por medio de platos, boquillas y puntas. La pieza de trabajo gira en torno a su eje central y a la línea de centros del husillo de la máquina.

Dependiendo de la herramienta de corte utilizada, así como de la disposición de ésta con la pieza de trabajo, se pueden realizar varias operaciones de torneado las más importantes son:

- Cilindrado
- Refrentado
- Roscado
- Cajado o rasurado
- Taladrado

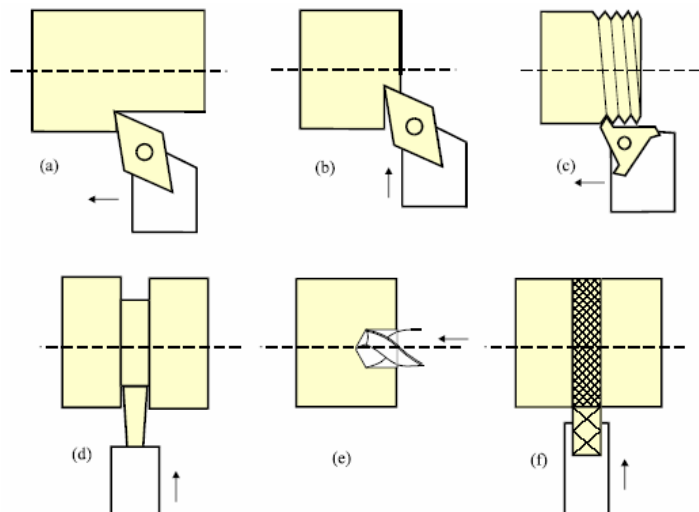
- Moleteado

En la figura 14 se representan cada una de las operaciones señaladas.

b) Fresado: El fresado permite mecanizar superficies planas, ranuras, engranajes e incluso superficies curvas o alabeadas. Constituye junto con el torneado, el grupo de operaciones mayoritariamente empleadas en el mecanizado.

El movimiento principal en el fresado es de rotación, y lo lleva la herramienta o fresa. Los movimientos de avance y penetración son generalmente rectilíneos, pudiendo llevarlos la herramienta o la pieza según el tipo de maquina-herramienta y la operación realizada.

Figura 14. Diferentes operaciones de torneado. a) Cilindrado, b) refrentado, c) roscado, d) cajeadado, e) taladrado, f) moleteado.



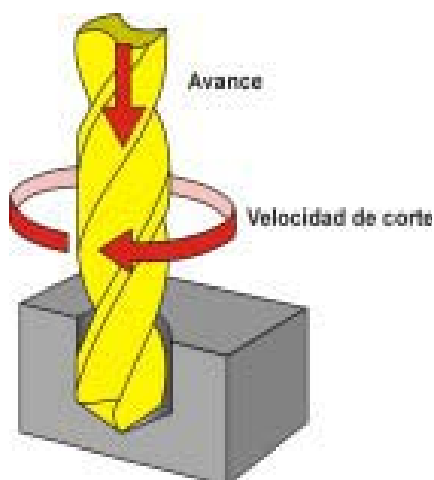
Fuente: Documento PDF. Disponible en Internet. De la Universidad Mayor de San Simón-Facultad de Ciencias y tecnología. Ing. Mecánica.

b) Procesos para maquinar agujeros: Los agujeros se maquinan en las piezas de trabajo siempre que con el método primario para producción (por ejemplo, fundición, forja, moldeo, extrusión, troquelado, etc.) no se produzcan o no tengan el tamaño, exactitud, rectitud, acabado de superficie u otras características que requiere la función de la pieza. Entre los procesos para maquinar agujeros están:

- Taladrado
- Rimado
- Ensanchado

➤ **Taladrado:** Se entiende por operación de taladrado la obtención de un agujero cilíndrico o cónico por medio de una herramienta multifilo llamada broca, que penetra en el material arrancando viruta como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15. Esquematización y desarrollo de una operación de taladrado común.



Fuente: Página Internet empresa: SECO

En el proceso de taladrado 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.

- **Rimado:** El rimado (escariado) es un proceso relacionado con el taladrado en el cual se agranda un agujero redondo ya hecho hasta un tamaño exacto (diámetro y rectitud) y se da un acabado fino por medio de una herramienta rotatoria de corte en el extremo, o sea una rima (escariador), en este proceso la remoción de material es poca. Para obtener resultados apropiados, la cantidad de material a remover debe ser tan pequeña como 0.005 pulgadas, y en ningún caso debe exceder las 0.015 pulgadas.

- **Ensanchado:** El ensanchado se utiliza para agrandar un agujero mediante la remoción de metal con una herramienta de corte de una punta de montaje rígido. La pieza de trabajo o la herramienta giran en la línea de centro del agujero o se avanza la herramienta contra la pieza paralela con el eje de rotación.

Los agujeros ensanchados de rectificadas se hacen en componentes en donde se requiere gran exactitud del diámetro, ubicación, rectitud o sentido.

d) Esmerilado: El esmerilado es capaz de producir superficies exactas y finas porque trabaja mediante filos pequeños de corte abrasivo, cada uno de los cuales da una mordida ligera. La herramienta de trabajo puede ser una rueda, un disco, una banda, etc. en cualquier caso, el corte se produce por un conglomerado de partículas abrasivas, adheridas por un aglutinante.

El esmerilado se emplea casi exclusivamente en operaciones de acabado, obteniéndose unos valores de tolerancias superficiales y grado de acabado superficial superiores a los obtenidos con otras operaciones como torneado, fresado, limado, cepillado, etc.

Los procesos de esmerilado se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Esmerilado de superficies planas
- Esmerilado cilíndrico

- **Esmerilado de superficies planas:** El rectificado de superficies es un proceso en el cual se mueve una pieza de trabajo en un plano horizontal para que pase debajo de una rueda abrasiva de modo que se elimine una cantidad precisa de material y se produzca una superficie plana. El proceso se realiza ya sea con la periferia de la rueda de esmeril o con la cara plana de la rueda.

- **Esmerilado cilíndrico:** Como su nombre lo indica, el esmerilado cilíndrico se usa para partes rotacionales. El movimiento de corte consiste en una rápida rotación de la rueda en torno a su eje, con un sentido tal que la velocidad periférica en la zona de contacto con la pieza se dirija hacia abajo. Esta velocidad debe ser la máxima posible en compatibilidad con la resistencia de la rueda, cuyo aglomerado está solicitado por fuerzas centrífugas. Otra técnica de esmerilado cilíndrico no utiliza rueda abrasiva maciza, sino, una banda recubierta con material abrasivo para producir el desbaste necesario.

Los procesos de esmerilado cilíndrico comprenden las operaciones de rectificado interno, externo y con banda abrasiva.

- **Esmerilado interno:** Este tipo de operación es empleada para la producción de piezas cilíndricas y cónicas, en agujeros pasantes o ciegos, o agujeros que tienen más de un diámetro, produciendo alta calidad superficial y precisión en las medidas. Se caracteriza por la gran superficie de contacto entre la rueda y la pieza a trabajar. El proceso implica los mismos movimientos relativos entre pieza y herramienta que las demás operaciones de rectificado, pero con complicaciones derivadas de la clase especial del trabajo. La siguiente figura muestra una operación de rectificado para superficies internas.

Figura 16. Desarrollo de una operación manual de rectificado interno.



Fuente: Página Internet empresa: PMF (Precisión Metal Forming) INDUSTRIES, Inc.

- **Esmerilado externo:** Se utilizan dos procesos básicos para el rectificado de superficies cilíndricas externas: rectificado con centros, en el cual la pieza de trabajo se fija en el husillo de la máquina, y rectificado sin centros, en el cual la pieza de trabajo gira libremente entre dos ruedas de rectificar opuestas.

Estos procesos se utilizan para la producción de piezas cilíndricas y cónicas con alta calidad superficial y precisión en las medidas. Se caracterizan por tener una pequeña área de contacto con menor tiempo de contacto, entre la rueda y la pieza a trabajar, con menor generación de calor, y velocidades periféricas mas elevadas. Las operaciones de esmerilado externo se dividen en:

- Esmerilado externo con centros
- Esmerilado externo sin centros
- Esmerilado con banda abrasiva

Figura 17. Desarrollo de una operación de esmerilado externo.



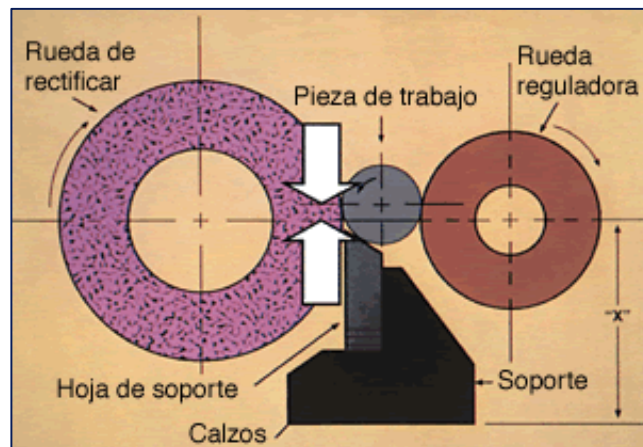
Fuente: [http://educ2.educ.udec.cl/ETP_AHurtado_MecInd.nsf/da230b32c4fc40f784256fda007ec78c/743eee7ca52393428425705f004dee7f/\\$FILE/andres%20s%20%20%20%20%20s%20d%20f%20g%20h%20jh%20h%20%20j.ppt#278,23,](http://educ2.educ.udec.cl/ETP_AHurtado_MecInd.nsf/da230b32c4fc40f784256fda007ec78c/743eee7ca52393428425705f004dee7f/$FILE/andres%20s%20%20%20%20%20s%20d%20f%20g%20h%20jh%20h%20%20j.ppt#278,23)

- **Esmerilado cilíndrico externo del tipo con centros:** En el rectificado con centros, se suele sujetar la pieza de trabajo entre centros puntiagudos, igual que en un torno. Sin embargo, también se puede sujetar con un

plato o montarla en el plato de sujeción. La rueda abrasiva o de rectificar, excepto para superficies cónicas, gira sobre un eje paralelo al de la pieza de trabajo y tiene avance perpendicular hacia y en alejamiento de esta.

- **Esmerilado cilíndrico del tipo sin centros:** En este proceso se hace girar una pieza de trabajo en la parte superior de una hoja que soporta el trabajo entre dos ruedas abrasivas como se muestra en la figura 18. El proceso difiere del rectificado con centros en que acá, las piezas de trabajo no están montadas; sino que pasan entre las ruedas de rectificado opuestas.

Figura 18. Desarrollo de una operación de rectificado cilíndrico externo sin centros.

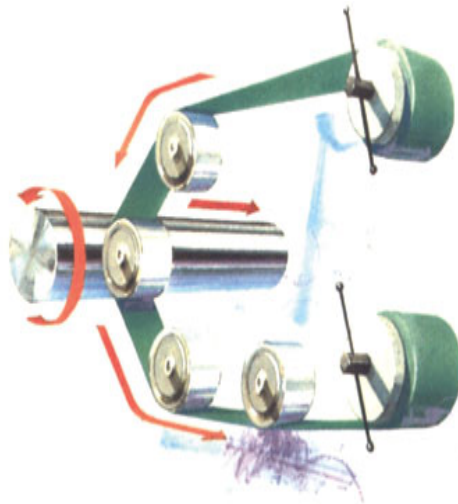


Fuente: <http://lim.ii.udc.es/docencia/iintecmec/docs/TemaV.pdf#search=%22taladro%20de%20husillos%20m%C3%BAltiples%22>

Existen algunas variantes de este proceso como son el rectificado sin centros con avance continuo, rectificado sin avance, rectificado con avance limitado y el rectificado interno sin centros.

- o **Rectificado con banda abrasiva:** El rectificado con banda abrasiva, llamado a veces maquinado con banda abrasiva, emplea una banda de tela revestida con abrasivo en vez de una rueda maciza. La principal característica de este proceso radica en la versatilidad para el esmerilado de superficies irregulares o curvadas, esto debido a la mayor adaptabilidad de la banda a este tipo de superficies comparado con la adaptabilidad de una rueda de esmerilado. La banda pasa sobre varias poleas y una de ellas, llamada rueda de contacto, aplica presión de oposición en la pieza de trabajo en el punto de contacto como se ilustra en la figura 19.

Figura 19. Desarrollo del proceso de rectificado con banda abrasiva.



Fuente: [http://educ2.educ.udec.cl/ETP_AHurtado_MecInd.nsf/da230b32c4fc40f784256fda007ec78c/743eee7ca52393428425705f004dee7f/\\$FILE/andres%20s%20%20%20%20s%20d%20f%20g%20h%20j%20h%20%20j.ppt#278,23](http://educ2.educ.udec.cl/ETP_AHurtado_MecInd.nsf/da230b32c4fc40f784256fda007ec78c/743eee7ca52393428425705f004dee7f/$FILE/andres%20s%20%20%20%20s%20d%20f%20g%20h%20j%20h%20%20j.ppt#278,23),

- e) **Procesos abrasivos relacionados al esmerilado:** Aun cuando el rectificado permite obtener calidades superficiales muy buenas (hasta 1 milipulgada con muelas especiales), origina una delgada capa superficial en estado amorfo (capa de Beilby, de unas 5 μm de espesor), como consecuencia de una serie de transformaciones y calentamientos que alteran su estructura

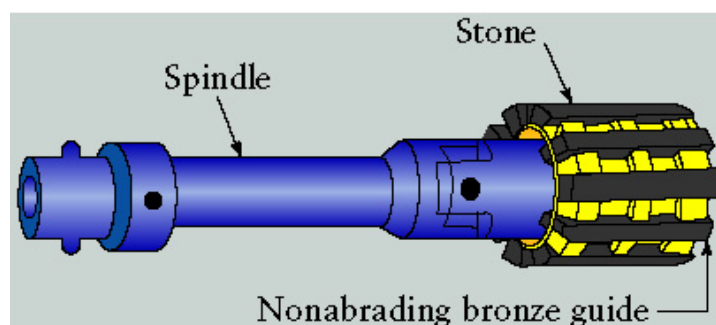
cristalina. Para algunas aplicaciones específicas, se requiere un acabado superficial todavía mejor.

El pulimento con piedras, el asentamiento (“lapeado”) y el superacabado son procesos abrasivos de baja velocidad bastante relacionados con el esmerilado. Debido precisamente a las bajas velocidades, se reducen el calor y la presión obteniéndose un excelente control metalúrgico y dimensional.

- **Pulido:** Empleado para el acabado y redondeado de agujeros, el pulimento con piedras es el más común de los procesos para maquinado con abrasivo a baja velocidad. En él se utilizan piedras de grano fino abrasivas para eliminar cantidades muy pequeñas de metal, que por lo general dejan otros procesos de esmerilado.

Incluye poner una o más piedras abrasivas en contacto por zonas con la pieza de trabajo (en vez de que sea contacto lineal como en otros procesos de rectificado), con presión controlada con precisión y movimiento lento y simultáneo en varios sentidos. La siguiente figura esquematiza la herramienta utilizada en el proceso.

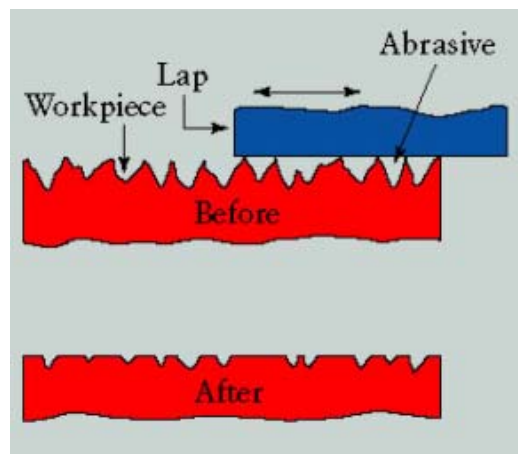
Figura 20. Ilustración esquemática de una herramienta de pulido.



Fuente: <http://www.nd.edu/~manufact/powerpoint/mpemch08.ppt>

- **Asentado o lapeado:** Este proceso incluye el empleo de una forma maestra, llamada asentador, y un abrasivo que se mueve en forma continua al azar sobre la superficie de la pieza de trabajo a baja velocidad y con poca presión. Durante el proceso el abrasivo se transporta entre el asentador y la superficie a trabajar por medio de un vehículo tal como grasa aceite o agua. Las crestas de la superficie se eliminan mediante el contacto continuo de frotamiento hasta que se logran la configuración, dimensiones y acabado deseados. Se elimina una cantidad muy pequeña de metal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. Representación esquemática del proceso de asentado o lapeado.



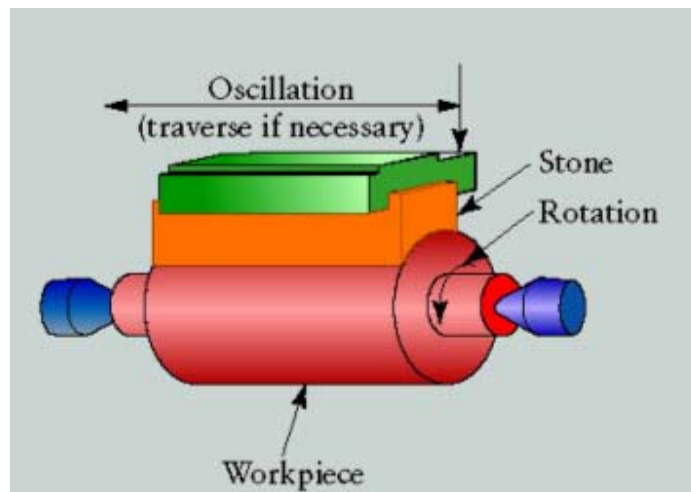
Fuente: <http://www.nd.edu/~manufact/powerpoint/mpemch08.ppt>

Este proceso difiere del pulimento con piedras en que el movimiento se hace al azar, se aplica poca presión y el abrasivo está suelto. El asentamiento elimina menos material que el pulimento con piedras.

- **Superacabado:** Este proceso se considera como intermedio entre el pulimento con piedras y el asentamiento. Una operación de superacabado

se hace moviendo con rapidez, en forma recíproca, una piedra de grano fino con una liga suave y presionándola contra una pieza redonda de trabajo que gira como se muestra en la figura 22. La pieza de trabajo y la herramienta en el superacabado se inundan con fluido de corte para disipar el calor y arrastrar las partículas de metal y abrasivo.

Figura 22. Ilustración esquemática de una operación de superacabado de una parte cilíndrica.



Fuente: <http://www.nd.edu/~manufact/powerpoint/mpemch08.ppt>

- **Bruñido:** El bruñido con rodillos es un método para refinar superficies mediante "rolado" a presión sin eliminar material. La herramienta bruñidora consta de una serie de rodillos muy pulimentados y endurecidos, colocados en ranuras dentro de una jaula de sujeción como se muestra en la figura 23. El tamaño de la herramienta es tal, que los rodillos producen una presión, dentro de la pieza de trabajo, mayor que el punto de cedencia de la pieza de trabajo, que es más blanda. Cuando giran los rodillos, comprimen las crestas del dibujo de la superficie de la

pieza hacia dentro de los valles. Endurecen por trabajo y compactan ligeramente la superficie porque producen deformación plástica local.

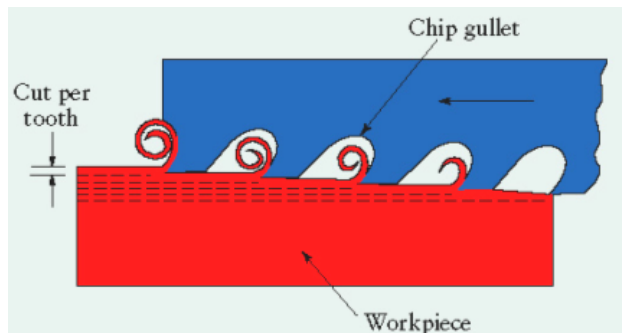
Figura 23. Mandril de bruñir.



Fuente: Página Internet empresa: COGSDILL PRODUCTS, INC.

f) Brochado: El brochado es el corte de un material mediante el empleo de una herramienta denominada brocha; ésta es una herramienta que presenta una serie de filos de sección creciente, cuya geometría es semejante a la de la forma final que se desea obtener, cada uno de los filos arranca una pequeña sección de viruta, de forma tal que al completarse el corte de todos los filos de la brocha, queda en el interior de la pieza la geometría final buscada, la operación se muestra en la figura 24.

Figura 24. Ilustración esquemática de una operación de brochado.

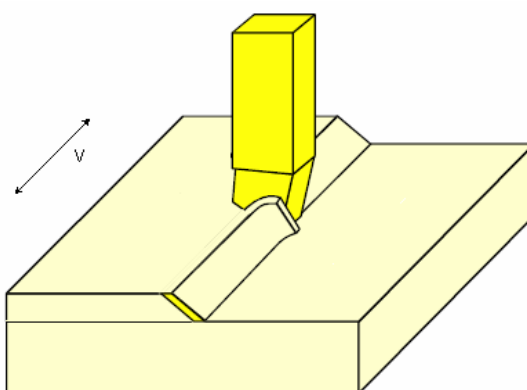


Fuente: <http://www.nd.edu/~manufact/powerpoint/mpemch08.ppt>

El brochado se puede realizar tanto en superficies externas como internas.

g) Cepillado: El proceso de cepillado es una operación de mecanizado en la cual se utiliza una máquina llamada cepillo y se utiliza como herramienta de corte un buril. La pieza de trabajo se fija en la mesa de la máquina y se le proporciona movimiento alternativo contra la herramienta produciendo el desprendimiento de viruta como se ilustra en la figura 25.

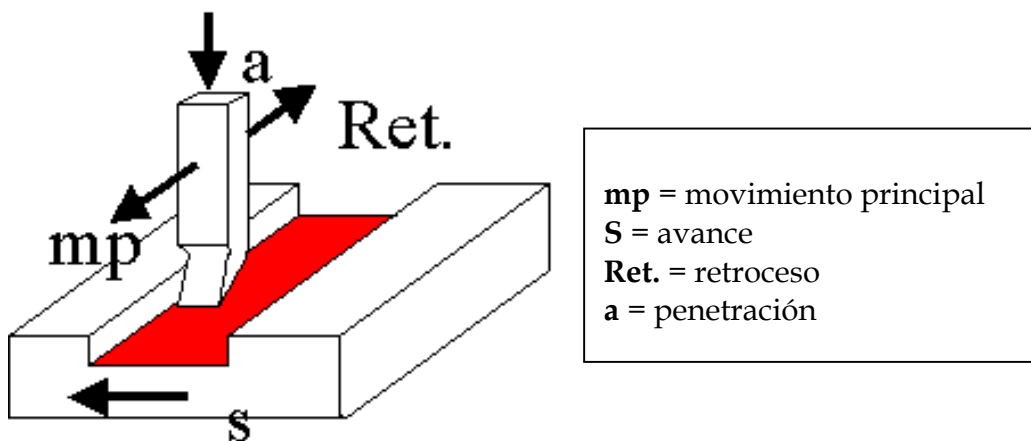
Figura 25. Esquema de un proceso de cepillado.



Fuente: Documento PDF. Disponible en Internet. De la Universidad Mayor de San Simón-Facultad de Ciencias y tecnología. Ing. Mecánica.

- h) Aserrado:** El aserrado es un proceso para corte de metal, el cual se remueve por la acción de muchos dientes pequeños en la herramienta de trabajo. Los dientes de sierra son delgados y actúan en un surco estrecho. Por tanto, en muchos casos el trabajo puede hacerse con más rapidez, ahorro de material y con menos requerimiento de potencia mediante aserrado que utilizando cualquier otro método de corte de metal.
- i) Limado:** Es un proceso similar al cepillado pero se utiliza para piezas de trabajo o superficies pequeñas. Difiere del cepillado en que acá la pieza de trabajo está estacionaria, excepto por el avance entre las carreras de la máquina, y el buril es movable como se indica en la figura 26. La herramienta se sujeta a un carro que tiene movimiento alterno (reciprocante) lineal.

Figura 26. Esquema de un proceso de limado.



Fuente: Documento PDF. Disponible en Internet. De la Universidad Mayor de San Simón-Facultad de Ciencias y tecnología. Ing. Mecánica.

- j) Machuelado y tarrajado:** Son procesos utilizados para el tallado de roscas. Para el machuelado, el roscado se hace mediante un dispositivo cortante

multifilo llamado machuelo o macho (mostrado en la figura 27), el proceso es utilizado para hacer una rosca interior o hembra (como la de una tuerca).

El machuelado exige perforar previamente un agujero de diámetro igual o ligeramente menor que el diámetro menor de la rosca deseada. Dicho agujero debe hacerse previamente al roscado, mediante taladradora o alesadora o bien puede ya existir en el caso de piezas fundidas.

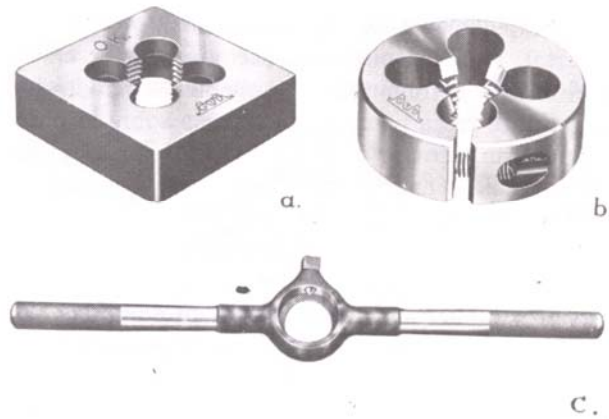
Figura 27. Machuelado de roscas.



Fuente: [http:// www.maneklalexports.com](http://www.maneklalexports.com)

El tarrajado es un proceso que se utiliza para hacer una rosca exterior o macho (como la de un tornillo) utilizando como herramientas de corte terrajas, éstas son similares a tuercas con surcos que proveen bordes cortantes expuestos, la figura siguiente muestra algunos ejemplos.

Figura 28. (a) Terraaja enteriza, (b) Terraaja enteriza ajustable, (c) Mango portaterraajas.



Fuente: DeGarmo, Paul. Materiales y procesos de fabricación. Editorial Reverté S. A.

- **PROCESOS DE MAQUINADO NO TRADICIONAL**

A diferencia de los denominados procesos convencionales de maquinado, en los cuales la eliminación de material en la pieza de trabajo se realiza fundamentalmente por medios mecánicos, utilizando herramientas de corte para producir el desprendimiento o cizallamiento del material en forma de viruta, en los procesos de maquinado no tradicional, se emplean otro tipo de medios como el rayo láser, haces de electrones, erosión química, descargas eléctricas y energía electroquímica, entre otros. Muchos de estos procesos resultan adecuados también para otras operaciones que no caben dentro del mecanizado como por ejemplo el moldeado y unión de partes.

Los procesos de maquinado no tradicional se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Procesos de energía mecánica
- b) Procesos de energía térmica
- c) Procesos de maquinado químico
- d) Procesos electroquímicos de maquinado

a) Procesos de energía mecánica: En estos procesos se usa energía mecánica en alguna forma diferente a la acción de una herramienta de corte convencional. La forma común de acción mecánica en los procesos es el trabajo mediante una corriente de alta velocidad de abrasivos o fluidos (o ambos). Entre los procesos comunes de energía mecánica se encuentran:

➤ **Maquinado ultrasónico:** La mecanización ultrasónica (USM, del inglés ultrasonic machining) utiliza vibraciones de alta frecuencia y baja amplitud para crear orificios y otras cavidades en materiales de alta dureza. El mecanizado se logra mediante la oscilación muy rápida de una herramienta de forma especial sumergida en una pasta aguada de abrasivo, la cual también está en contacto con la pieza de trabajo. Esta oscilación lanza las partículas de abrasivo contra la pieza, cortándola poco a poco hasta lograr una cavidad de la misma configuración que la herramienta.

➤ **Maquinado con chorro de agua y con chorro de agua abrasiva:** En el maquinado con chorro de agua (maquinado hidrodinámico), se utiliza un chorro estrecho de líquido a alta velocidad con agente cortante. El

choque del chorro contra la pieza elimina el material. La siguiente figura muestra el proceso.

Figura 29. Desarrollo del proceso de maquinado con chorro de agua.



Fuente: http://www.flowgmbh.com/pdf/flyer/DWJ_SP_1004.pdf#search%22corte%20con%20chorro%20de%20agua%20filetype%3Apdf%22

Una variante del maquinado hidrodinámico es el corte con chorro de agua abrasiva, utilizado generalmente para el corte de superficies en materiales de alta resistencia en donde deben agregarse partículas abrasivas a la corriente a chorro para facilitar el corte.

- **Maquinado por chorro de abrasivo:** En el proceso de maquinado por chorro de abrasivo (AJM, del inglés abrasive-jet machining) se logra la acción cortante con el abrasivo en polvo que se hace chocar contra la pieza de trabajo mediante una corriente de alta velocidad de un gas portador.

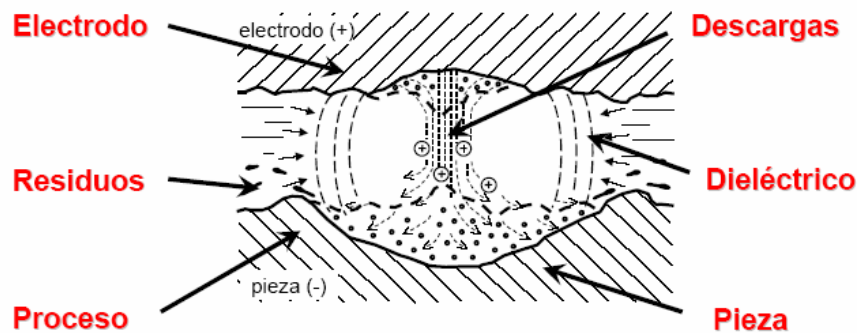
Una razón primaria para el chorro es la limpieza de superficies. Esto puede significar eliminar escamas, óxido o arena quemada de las fundiciones por medio de granalla o arena, entre otras aplicaciones.

b) Procesos de energía térmica: Los procesos de remoción de material basados en la energía térmica se caracterizan por temperaturas locales muy altas con calor suficiente (del orden de 10^6 a 10^8W/cm^2) para remover material mediante fusión o vaporización. Debido a las altas temperaturas, estos procesos producen daños físicos y metalúrgicos en la nueva superficie de trabajo. En algunos casos, el acabado resultante es tan pobre que se requiere un procesamiento posterior para alisar la superficie.

Los procesos no convencionales de maquinado de energía térmica comprenden:

➤ **Maquinado por electrodescarga:** Durante el proceso de EDM (Electrical-Discharge Machining) de maquinado por electrodescarga (conocido como maquinado por electroerosión), la pieza y el electrodo (ambos de materiales conductores) se sitúan muy próximos, al aplicar una diferencia de tensión continua (y pulsante) entre ambos, se crea un campo eléctrico intenso que provoca el paulatino aumento de la temperatura, hasta que el dieléctrico se vaporiza. Al desaparecer el aislamiento del dieléctrico, salta la chispa, incrementándose la temperatura hasta los 20.000°C , vaporizándose una pequeña cantidad de material de la pieza y el electrodo (figura 30). El ciclo completo se repite del orden de miles de veces por segundo. El resultado del proceso es la erosión uniforme de la pieza, reproduciendo las formas del electrodo.

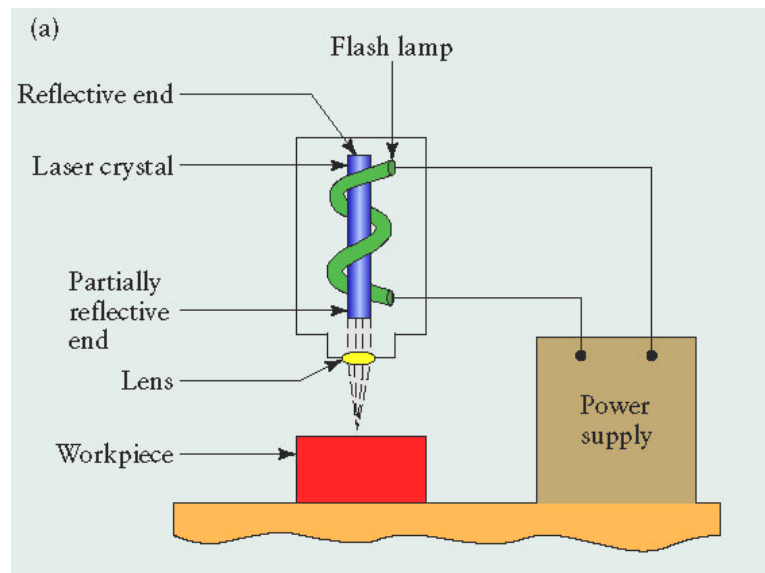
Figura 30. Representación esquemática del proceso de maquinado por electrodescarga.



Fuente: www.ateliermecanique.ch

- **Maquinado con haz de electrones:** En el maquinado con haz de electrones (EBM, del inglés electron-beam machining), un haz de electrones a alta velocidad (tres cuartas partes de la velocidad de la luz), afocado en un punto pequeño de la pieza de trabajo produce un intenso calor en ese lugar y el material se funde y vaporiza. Como un haz de electrones se puede desviar con una bobina electromagnética, se hacen cortes de alta calidad en patrones complejos, prácticamente en cualquier material.
- **Maquinado con rayo láser:** El estrecho haz de luz coherente de intensidad sumamente alta, afocado con precisión funde y vaporiza el material en el lugar en que choca con la pieza de trabajo. En la figura 31 se esquematiza el desarrollo del proceso.

Figura 31. Ilustración esquemática del proceso EBM.

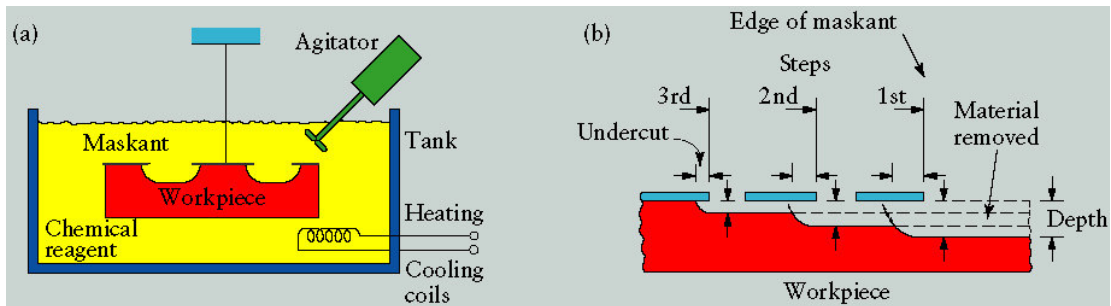


Fuente: http://www.dimeg.unipd.it/didattica/tecme4/8_Non_conventional.pdf?PHPSESSID=38155213209be79aa4be87653d1e0fdd#search=%22abrasive%20jet%20machining%20AJM%22

El haz puede ser de pulsos intermitentes o continuos. Un punto típico afocado en la pieza de trabajo tiene una anchura de 0.025 a 0.050 mm. La densidad de la energía en ese punto es muy alta, millones de watts por centímetro cuadrado. Cuando este nivel de energía choca con la pieza de trabajo, el material que está en el punto de incidencia se vaporiza o se funde y se aleja y se barre alejándolo del haz.

c) Procesos de maquinado químico: El punzonado, el fresado, el grabado y el rebabeado químicos son procesos muy relacionados entre sí. En todos ellos, se remueve el metal por la acción corrosiva de una solución ácida o alcalina que actúa contra las superficies descubiertas de la pieza de trabajo. La acción química sustituye al corte mecánico del maquinado convencional. La siguiente figura esquematiza el proceso.

Figura 32. a.) Ilustración esquemática del mecanizado químico. b.) diferentes fases del proceso durante la producción de una cavidad perfilada.



Fuente: http://www.dimeg.unipd.it/didattica/tecme4/8_Non_conventional.pdf?PHPSESSID=38155213209be79aa4be87653d1e0fdd#search=%22abrasive%20jet%20machining%20AJM%22

Todos estos procesos necesitan una secuencia de operaciones, algunas comunes para todos y que son: limpieza y enjuague, enmascarado, acción corrosiva (maquinado químico), desprendimiento de la mascarilla, limpieza, enjuague y secamiento final.

- **Fresado químico:** Es un proceso para remover material atacando áreas seleccionadas de piezas de trabajo completas. El fresado químico implica cuatro pasos: limpieza, enmascarado, atacado y desmascarado.

El maquinado tiene lugar cuando se sumerge la pieza ya limpia y enmascarada, en la solución química. Se necesita agitar la pieza o hacer circular la solución para eliminar uniformemente el metal de la superficie descubierta.

- **Grabado químico:** Es un proceso muy semejante al fresado químico, en el cual se emplea maquinado químico para eliminar metal de zonas seleccionadas de rótulos o letreros metálicos, u otros componentes, para

producir las letras, figuras y otras configuraciones deseadas. El grabado químico es un sustituto del grabado mecánico con pantógrafo. Las letras pueden estar realizadas o acanaladas.

➤ **Punzonado fotoquímico:** En el punzonado fotoquímico se cubre la lámina con una mascarilla de precisión hecha con técnicas fotográficas y se elimina el metal por maquinado químico. El material fotorresistente se aplica por inmersión, aspersión, recubrimiento por chorro o con rodillo. La pieza es cubierta después con un modelo opaco y expuesta a la luz de una lámpara de vapor de mercurio o de arco voltaico. La luz actúa sobre el material fotosensible de las áreas expuestas, y después del revelado se quita el material de las áreas no expuestas mediante lavado. Este proceso simplifica considerablemente la tarea del enmascaramiento.

➤ **Rebabeado químico:** El maquinado químico ha resultado muy eficaz para eliminar rebabas. Las piezas que se van a rebabear se colocan en un barril horizontal o una rejilla giratoria. Las piezas, la solución química o ambas se mantienen en movimiento durante el trabajo.

Dado que la solución para rebabeado químico quita material de todas las superficies y no solo las rebabas, a veces se necesita proteger la superficie contra la pérdida de metal, para lo cual se cubre con una mascarilla.

d) Procesos electroquímicos de maquinado: Un grupo importante de procesos no tradicionales utiliza la energía eléctrica para remover el material. Este grupo se identifica con el término de procesos electroquímicos, debido a que se usa la energía eléctrica junto con remociones químicas para obtener la remoción.

La operación de desbaste se realiza mediante la confección de un dispositivo llamado cátodo, especialmente diseñado para cada aplicación que se conecta al polo negativo de una fuente de corriente continua, y que se localiza de forma muy precisa enfrente a la zona a maquinar. Mediante la aplicación de una corriente de alto amperaje y bajo voltaje se logra la disolución del material a través de la oxidación del metal que lo constituye.

Los procesos electroquímicos de maquinado se clasifican en:

- Proceso de maquinado electroquímico
- Proceso de rectificado electroquímico

- **Maquinado electroquímico:** El maquinado electroquímico (ECM) consiste en la remoción controlada de metal de la pieza de trabajo por disolución anódica en una celda electrolítica. La pieza de trabajo es el ánodo y una herramienta de configuración especial es el cátodo. El electrolito fluye por una pequeña abertura entre la herramienta y la pieza de trabajo. La corriente eléctrica quita electrones de la superficie de la pieza de trabajo y libera iones, los cuales se combinan con los iones hidroxilo de la solución y forman un lodo que se arrastra por el flujo del electrolito. Se libera hidrógeno en la herramienta y no se remueve o añade metal a ella, de modo que la herramienta no cambia de tamaño o forma. El electrodo (herramienta) se alimenta a una constante en la pieza de trabajo y el agujero o cavidad se forma con la misma forma de la herramienta.

- **Rectificado electroquímico:** El rectificado electroquímico (ECG) es muy similar al maquinado electroquímico (ECM). El proceso difiere del ECM en que en éste se emplean grandes volúmenes de electrolito para

remover las sales metálicas que se forman; en el ECG se utiliza el electrodo en rotación a alta velocidad superficial (1200 a 1800 m/min para producir acción abrasiva).

En el ECG la rueda abrasiva es conductora, excepto los granos de abrasivo que sobresalen alrededor de 0.025 mm de la superficie de la rueda. Se inunda la pieza con el electrolito y el que fluye por la abertura estrecha entre los granos de abrasivo salientes queda muy ionizado y produce el desprendimiento del metal. Los granos de abrasivo impiden que la rueda haga corto circuito con la pieza de trabajo. En el proceso, la rueda de esmerilado es el cátodo y la pieza de trabajo el ánodo.

• METALURGIA DE POLVOS

Los procesos de metalurgia de polvos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Consolidación de polvos
- b) Sinterización

a) Consolidación de polvos: Este proceso consiste en calentar a la temperatura de forja una preforma compactada sinterizada, usualmente recubierta con una capa protectora de grafito, para después forjarla a su forma definitiva. No hay desperdicio ni rebabas y la pieza queda lista para su empleo. El proceso consta de las siguientes etapas:

- o Mezclado de polvos metálicos y aditivos.
- o Prensado.
- o Sinterizado.

- o Calibrado.
- o Tratamientos térmicos.

b) Sinterización: Las piezas de polvo de metal se forman comprimiendo polvos de metal con una prensa y sinterizando la pieza después. El proceso básico consta de la selección de los metales puros o aleaciones en forma de polvo, el pesado y mezclado de ellos, con o sin materiales no metálicos.

La mezcla exacta de polvo se coloca en matrices adecuadas montadas en prensas compactadoras. El polvo se moldea a la forma requerida a temperatura ambiente, por medio de la aplicación de altas presiones de compactación. Sin ningún pegamento o adhesivo.

Después de la compactación, se aplica el proceso térmico de sinterizado, para inducir la resistencia adecuada. Los hornos de sinterizado emplean atmósferas controladas con gran precisión para adecuarlas al material en proceso. En algunos casos, la manufactura queda completa después del sinterizado y no requiere procesamiento adicional.

• PROCESOS DE MEJORA DE PROPIEDADES

Los procesos para mejora de propiedades son conocidos como tratamientos térmicos.

El tratamiento térmico es un término general, el proceso consiste en calentar un material buscando un cambio en sus propiedades físicas. Al calentar y enfriar a temperatura ambiente, el material se ablanda o se endurece. El resultado del proceso depende, del material, de la temperatura a que se lo calienta y, del método y rapidez de enfriamiento. La atmósfera en la cual se

efectúa el calentamiento y la duración de este ciclo también son factores importantes que intervienen en las propiedades de la pieza terminada.

a) **Tratamiento térmico del acero:** Existen dos tipos principales de tratamientos térmicos para el acero, para ablandarlo, o para endurecerlo.

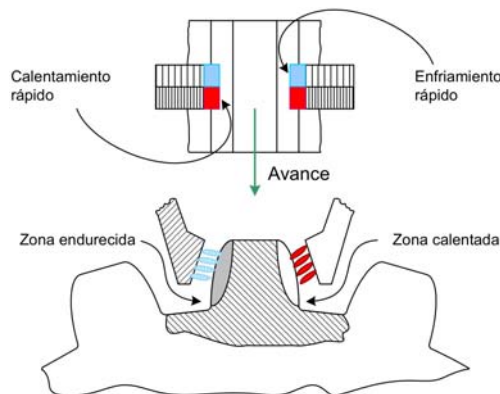
➤ **Procesos para ablandar**

- **Desesforzado:** Se emplea para reducir los esfuerzos internos que ocurren por el trabajo mecánico en frío del metal al maquinar, estampar, estirar, doblar, etc. El proceso consiste en elevar la temperatura hasta cierto valor inferior a la temperatura crítica y, luego, se deja enfriar muy lentamente a la temperatura ambiente.
- **Recocido:** Se utiliza para ablandar el material con el fin de facilitar su procesamiento mecánico con estirado en frío, doblado, maquinado, etc. Se debe calentar la pieza a una temperatura superior a la de austenización y mantenerla a esa temperatura el tiempo suficiente para permitir que cambie su estructura; después, se deja enfriar al aire.
- **Normalización:** Este proceso revierte la estructura a su estado normal y se efectúa después de procesos de trabajo en caliente, como la forja; para ello se calienta la pieza a una temperatura superior a la de austenización, se la mantiene así hasta la transformación y se deja enfriar al aire. La estructura resultante es uniforme y un poco más dura que la que se obtiene utilizando recocido completo.

➤ Procesos para endurecimiento

- **Procesos para templar:** Para templar el acero, primero debe calentarse a una temperatura superior a la de austenización y después enfriarlo con rapidez. El tiempo a la temperatura alta y la rapidez del enfriamiento dependen del tipo de acero. Se puede modificar la estructura obtenida calentando y enfriando subsecuentemente a temperaturas más bajas.
- **Cementado:** Para cementar hay que difundir carbono o nitrógeno en la superficie, a una alta temperatura. Después, se enfría la pieza rápidamente para templar la superficie. Las técnicas que se emplean son: carburización, cianuración, nitruración y carbonitruración.
- **Templado de superficie:** El templado de superficie busca templar una capa superficial de poco espesor calentando rápidamente la superficie, lo cual se suele hacer con sopletes (endurecimiento por flama) o con inducción eléctrica de alta frecuencia. La superficie caliente se enfría por inmersión en agua o aceite. Figura 33

Figura 33. Endurecimiento por flama de un diente de engrane.



Fuente: autores del proyecto.

- **Templado total:** Se calienta la pieza a una temperatura mayor que la crítica y se la mantiene hasta que toda la pieza tiene temperatura uniforme; después se enfría por inmersión en un medio adecuado.

El medio para enfriamiento depende del tamaño y forma de la pieza y del grado del acero. Es común emplear agua, aceite o aire con grados variables de agitación para dar el enfriamiento necesario para templar la pieza.

Generalmente las piezas con templado total se someten a revenido después de templarlas para reducir los esfuerzos de temple y aumentar el revenido. Para ello, se calientan a una temperatura inferior a la crítica y se enfrían al aire.

- **Revenido martensítico:** Técnica especial con la cual se logra templado total y poca deformación, mediante enfriamiento por inmersión de la pieza a una temperatura superior a la cual se temple el acero, luego, se la deja enfriar lentamente.
- **Revenido austenítico:** Con en este proceso se busca producir mayor ductilidad con aproximadamente el mismo temple que el obtenido con el templado convencional, se logra utilizando la técnica de enfriamiento por inmersión interrumpida.

b) Tratamiento térmico del hierro fundido

➤ Procesos para ablandar y desesforzar

- **Recocido:** El hierro fundido, se puede recocer para ablandarlo y darle más facilidad de maquinado. Las propiedades del recocido se determinan por la temperatura de recalentamiento y la rapidez de enfriamiento. Con temperaturas entre 700 y 815°C (1300 y 1500°F) se descompone el carburo de hierro en ferrita; con temperatura de 790 a 900°C (1450 a 1650°F) se tiene recocido completo de hierro con alto contenido de aleación; con temperatura de 900 a 950°C (1650 a 1750°F) se transforman los carburos macizos (hierro blanco) en una estructura que se puede maquinar después de un enfriamiento lento, a razón de menos de 110°C/h (230°F/h).
- **Normalizado:** La normalización incluye enfriar el hierro en aire sin agitar; con esto se restauran las propiedades que tuvo al ser fundido y se mejoran la dureza y la resistencia a la tracción.

➤ **Procesos para endurecer**

- **Templado martensítico y austenítico:** Se puede aplicar al hierro gris estos procesos para darle las propiedades del tratamiento térmico sin someterlo a los grandes esfuerzos ocasionados por el enfriamiento completo por inmersión. La dureza depende del contenido de carbono y aleación de la austenita a la temperatura de austenización.
- **Endurecimiento por llama:** Es el tratamiento térmico más común para el hierro gris. Va seguido por desesforzado entre 150 y 200°C (300 a 400°F) para reducir las grietas en la superficie endurecida.

c) **Tratamiento térmico de aceros inoxidables:** El tratamiento térmico de estos aceros depende principalmente de su estructura.

- **Aceros inoxidables martensíticos:** Se templean con procesos similares a los empleados con acero simple al carbono o de bajo contenido de aleación. Puesto que tienen alto contenido de aleación, el templeado máximo se puede producir con enfriamiento al aire.
- **Aceros inoxidables austeníticos:** se recuecen después del templeado por trabajo mediante calentamiento completo a unos 1100°C (2000°F) y luego con enfriamiento rápido en agua o con un chorro de aire.
- **Aceros inoxidables ferríticos:** Se recuecen después del templeado por trabajo mediante calentamiento completo entre 700 y 800°C (1300 y 1450°F) y se enfrían por inmersión en agua o con aire.
- **Aceros inoxidables semiausteníticos:** se templean por calentamiento a 1040°C (1900°F) y se enfrían al aire para dejarlos en la condición de tratados en solución. Después se efectúa el templeado por precipitación con calentamiento de la pieza a una temperatura subcrítica, entre 480 y 620°C (900 y 1150°F).

d) **Tratamiento térmico de metales no ferrosos:** Estos metales pueden ser sometidos a desesforzado, recocido, tratamiento en solución y endurecimiento por precipitación. Generalmente, el tratamiento con solución y el endurecimiento por precipitación o envejecimiento, se efectúan en secuencia.

El tratamiento en solución consta de un calentamiento de la pieza a una temperatura justamente inferior a la temperatura de fusión eutéctica. Después, el enfriamiento rápido por inmersión conserva la solución.

El endurecimiento por precipitación se realiza calentado la pieza a una temperatura un poco más baja durante cierto tiempo. Los constituyentes de las aleaciones se precipitan a través de la pieza y le dan mayor resistencia. Con algunas aleaciones, la precipitación ocurre después de varios días a temperatura ambiente.

- **OPERACIONES DE PROCESAMIENTO DE SUPERFICIES**

a) Limpieza y tratamiento de superficies: La limpieza consiste en la eliminación de cuerpos extraños, materias líquidas, o sólidas indeseadas, de las superficies de una pieza. Las operaciones de limpieza se usan para dejar a un componente en condiciones adecuadas para un trabajo siguiente. La limpieza se aplica para preparar la pieza para una operación de manufactura, o ensamble. También, antes de almacenar, para eliminar residuos corrosivos, y como paso final antes de la entrega del producto.

La limpieza consiste en la eliminación de cuerpos extraños, materias líquidas, o sólidas indeseadas, de las superficies de una pieza. Las operaciones de limpieza se usan para dejar a un componente en condiciones adecuadas para un trabajo siguiente. La limpieza se aplica para preparar la pieza para una operación de manufactura, o ensamble. También, antes de almacenar, para eliminar residuos corrosivos, y como paso final antes de la entrega del producto.

➤ Limpieza química

- **Limpieza con disolventes:** Este proceso emplea hidrocarburos líquidos. La pieza se puede limpiar con uno o la combinación de los siguientes métodos: por inmersión o en tanque para remojo, desengrasado por aspersion y desengrasado con vapores de disolventes.
- **Limpieza por inmersión:** Con este proceso se eliminan aceite, grasa y mugre retenida por el aceite, pero no se produce un alto grado de limpieza porque los disolventes se contaminan rápidamente. Es eficaz para limpieza durante el proceso.
- **Desengrasado con vapores de disolventes.** En el desengrasado con vapores de disolventes se vaporiza una pequeña cantidad de ellos, los vapores se retienen en un tanque contra sus paredes y con un serpentín de enfriamiento. Al introducir una pieza en los vapores, éstos se condensan en su superficie y escurren para caer a la parte inferior del tanque. Cuando los vapores calientes aumentan la temperatura de la pieza, se detiene la condensación y se seca la pieza; se la saca del tanque, caliente y libre por completo de aceite y grasa. Pero, los vapores no son suficientes para eliminar muchos residuos sólidos y es necesario emplear procesos de inmersión y aspersion para desengrasar antes de aplicar los vapores.
- **Limpieza ultrasónica:** En este proceso se emplean vibraciones ultrasónicas para agitar la solución limpiadora, se utilizan generalmente disolventes clorados o soluciones alcalinas. Este

proceso es eficaz para la limpieza completa de piezas pequeñas y complicadas, difíciles de limpiar con otros métodos.

- **Limpieza en emulsión:** Es un excelente método para eliminar materiales apelmazados, como compuestos pulidores gruesos o grasa cargada con partículas de sólidos. El limpiador líquido es una mezcla de agua, un disolvente de hidrocarburos y agentes emulsificadores. El disolvente, a base de petróleo, se dispersa en el agua en forma de glóbulos pequeños en una relación de 1 a 10 partes de disolvente por 100 partes de agua. Los agentes emulsificadores más usados son jabones, glicerol, poliéteres y polialcoholes. EL limpiador en emulsión se aplica por aspersion o inmersión, generalmente a una temperatura de 54 a 60°C (130 a 140°F). Se recomienda agitar el líquido antes de sumergir las piezas. Después de la limpieza se lava con agua caliente.
- **Limpieza alcalina:** El limpiador consiste en una solución de sales alcalinas y detergentes en agua. Las sales comúnmente están mezcladas y son sosa cáustica, fosfato trisódico, silicatos, boratos o carbonatos. La limpieza se hace en tanques, muchas veces con agitación y a temperaturas de 60 a 93°C (140 a 200°F) y también por aspersion a presión. La limpieza alcalina es eficaz para eliminar aceite, grasa, suciedad y compuestos para pulir, abrillantar y estirar. También puede eliminar costras ligeras, herrumbre y tizne, pero con más lentitud y a mayor costo que con limpieza con ácido. Después, se debe aplicar enjuague con agua.

- **Limpieza con ácido:** Se utiliza como limpiador una solución de ácidos y sales de ácidos, generalmente se pueden utilizar ácidos minerales u orgánicos, además de un agente humectante y un detergente. Los métodos comunes son por inmersión, aspersión a presión y frotación con trapos para la solución caliente o a temperatura ambiente. La limpieza con ácido elimina depósitos delgados de herrumbre, decoloración y costras; también se pueden eliminar compuestos para estirado, aceite y grasa. No es un método muy eficaz cuando hay capas espesas de aceite o grasa.

Durante la limpieza con ácido ocurre cierto mordentado de la superficie, lo cual la ayuda a tener una buena adherencia de la pintura.

- **Limpieza con baño de ácido:** El proceso se efectúa por inmersión de la pieza en el baño de ácido y, es el más eficaz para eliminación de costras, porque la solución ataca la superficie del metal y destruye la adherencia de las costras. Después del baño, se utiliza un enjuague alcalino para neutralizar el ácido.

Se emplea para eliminar óxidos, costras y mugre de las superficies de los metales. La solución limpiadora es una solución acuosa de ácido con un agente humectante; el tipo de ácido depende del metal que se vaya a limpiar. En los metales ferrosos, se utilizan ácido sulfúrico, clorhídrico, y fosfórico.

- **Limpieza con baño de sal:** Este proceso incluye la inmersión de la pieza de trabajo en un baño de sales en fusión, a una temperatura de

440 a 524°C (825 a 975°F). Las sales del baño reducen las incrustaciones y las aflojan un poco en la superficie de la pieza. Cuando se coloca la pieza en un baño para enjuague con agua, ésta se vaporiza con el calor de la pieza y arranca las incrustaciones de la superficie. Para terminarlo, se utilizan inmersión para neutralizar el ácido y enjuague final; no se alteran las dimensiones de la pieza y queda con superficie brillante.

Este método se utiliza para eliminar incrustaciones, óxidos, arena, carbón y grafito en gran variedad de metales; es eficaz para rebajos y otras irregularidades en la superficie. El calor del baño de sal puede deformar materiales delgados y también puede alterar la dureza de la pieza.

➤ **Limpieza mecánica**

- **Cepillado:** Se realiza con cepillos de alambre o de fibra. Se utilizan diferentes materiales, espesores y longitudes en las cerdas para tener gran variedad de acciones abrasivas. La acción suave con cerdas no metálicas; la mediana con alambre delgado de metal no ferroso y la fuerte con alambre rígido y grueso.

Los cepillos se utilizan para eliminar herrumbre, pintura floja y capas de suciedad. Generalmente, es la primera operación de una serie que incluye uno o más pasos con limpiadores líquidos. Se aplica principalmente en piezas planas, tubulares o con contornos regulares.

El proceso es menos adecuado para piezas forjadas, fundidas u otras con irregularidades en la superficie. Esta limitación es mayor con cepillos automáticos, que resultan costosos de fabricar para componentes con superficie irregular.

- **Chorro de abrasivo:** Consiste en lanzar partículas de abrasivo a alta velocidad contra la superficie de trabajo. El abrasivo puede ser duro, como óxido de aluminio, arena, carburo de silicio, perdigones o granalla de acero; o bien, puede ser blando, como la cascarilla de arroz, tusa de maíz, cáscaras de nuez o cuentas de plástico.

Este método es conveniente para eliminar herrumbre, costras y otros productos de la corrosión, suciedad y pintura secas. No es muy adecuado para eliminar grasa. No obstante, se emplea para eliminar rebabas, limpiar superficies ásperas y mejorar las superficies. Cuando el abrasivo se mezcla con agua se puede emplear uno más fino. El chorro con abrasivo seco no es satisfactorio cuando las superficies son irregulares o se necesitan tolerancias dimensionales y acabados de superficie muy precisos.

- **Limpieza con chorro de vapor:** Es eficaz para eliminar aceite, grasa y suciedad en equipos o en piezas muy voluminosas para poder sumergirlas en un tanque para limpieza. A veces, se utiliza chorro de llama para eliminar costras o pintura vieja en componentes grandes de hierro o acero.
- **Frotación en barril:** Es un método eficaz y de bajo costo para eliminar herrumbre y costras y limpieza de piezas pequeñas así como para

acabado de superficies. Se emplea para limpieza durante el proceso y como parte de la preparación para pintar o electrodeposición.

➤ **Limpieza electroquímica**

- **Limpieza alcalina electrolítica:** En este proceso la pieza se convierte en un electrodo y el tanque, o una placa de acero, en otro. La solución alcalina es el electrolito. Cuando se aplica electricidad, se desprende hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo. Las burbujas de gas producen una acción de frotación en la superficie de trabajo, que desintegra los residuos con facilidad. La formación de cargas eléctricas iguales en la pieza y en los residuos hace que éstos se separen.

Debido a que el electrolito se contamina rápidamente con los residuos, disminuye la eficacia de la limpieza; por lo general se efectúa como operación final después de la limpieza alcalina.

- **Baño de ácido electrolítico:** La pieza de trabajo es el cátodo y la solución de ácido es el electrolito. El gas que se desprende de la pieza afloja las incrustaciones y apresura su eliminación. Se debe controlar con precisión la temperatura y concentración del baño para evitar cambios dimensionales o picaduras de la superficie de la pieza.

b) Recubrimiento y procesos de deposición

- **Electrodeposición:** La electrodeposición se utiliza para aplicar revestimientos metálicos en las piezas, por lo general, metálicas. El

proceso varía según el material que se va a depositar y el sustrato que se va a revestir, y consiste en la transferencia de metal desde el ánodo, fuente de metal, mediante energía eléctrica hasta el cátodo, la pieza, en una solución de productos químicos.

Se puede depositar más de un metal en etapas sucesivas y se puede aplicar conversión química u otros tipos de revestimientos sobre el metal ya con electrodeposición.

Hay que efectuar una limpieza minuciosa, antes de la electrodeposición, y después enjuagar.

Los métodos principales de aplicación para electrodeposición son:

- o Deposición en tambor.
 - o Deposición en estantes.
 - o Recubrimiento en tiras.
-
- **Electroformado:** El electroformado es la producción de artículos por electrodeposición. De manera similar al proceso de galvanización. El proceso varía según el material a depositar y el material base, e implica la transferencia de metal desde el ánodo, fuente de metal, mediante corriente eléctrica continua hasta el cátodo, la pieza, en una solución electrolítica de sales metálicas. Sin embargo hay tres pasos generales:
 - o Preparar un mandril o “master” del tamaño, forma y acabado apropiado.
 - o Electrodepositar al espesor requerido.
 - o Separar el mandril del material electrodepositado.

- **Recalcado con perdigones:** El recalcado con perdigones consiste en lanzar contra una superficie muchas esferas o perdigones pequeños, con el fin de producir una película superficial esforzada por compresión en los metales. Los perdigones se lanzan mediante una boquilla o con una rueda y dejan la superficie de la pieza marcada con pequeños hoyuelos.

Generalmente el recalcado es la última operación antes de ensamblar, pintar o electrodepositar. El calentamiento a una temperatura demasiado alta o la deformación plástica por operaciones de formación o enderezado, anula el efecto del recalcado. Se puede realizar un acabado fino después de recalcar, siempre y cuando no se elimine mucho material y no se produzca demasiado calor, durante el proceso.

- **Deposición sin electricidad:** Este revestimiento se aplica utilizando un agente reductor químico para una sal metálica, sin necesidad de electricidad. El metal se deposita en una superficie catalítica de la pieza de trabajo. Los metales más utilizados para revestimiento sin electricidad son el níquel y el cobre. La superficie de la pieza de trabajo es catalítica, y el proceso puede continuar por tiempo indefinido.

Este proceso produce una capa de espesor uniforme incluso dentro de los tubos, rebajos y cavidades que no son fáciles para electrodeposición. Se utiliza cuando no es posible ni práctico emplear la electrodeposición normal debido a factores físicos o a la necesidad de propiedades especiales.

- **Otros revestimientos metálicos**

- **Revestimientos metálicos por inmersión en caliente:** El revestimiento metálico por inmersión en caliente, o galvanización en caliente, consiste en sumergir una pieza en un baño de metal fundido. Comúnmente se sumerge acero en zinc.

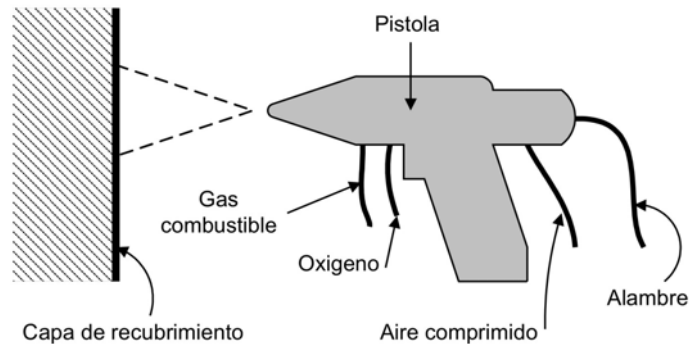
El proceso comienza con la limpieza, después de limpiar se sumerge el material en un baño de zinc fundido, luego se aplica el revestimiento por inmersión en el baño fundido por periodos que varían desde unos segundos para objetos pequeños hasta algunos minutos para formas estructurales. La temperatura del baño para revestir con zinc es alrededor de 450°C (842°F); y para aluminizar de 700°C (1290°F). Cuando se va a revestir un objeto de un tamaño mayor que el del baño fundido, se puede utilizar la técnica de doble inmersión. La finalización del proceso varía de acuerdo con la pieza.

Los tipos más comunes de instalaciones o procedimientos de galvanización son:

- o Instalaciones discontinuas.
- o Instalaciones automáticas o semiautomáticas.
- o Instalaciones continuas.

- **Revestimientos por aspersion en caliente:** Proceso llamado también aspersion con llama o metalización, se utiliza una pistola la cual funde y lanza metal, cerámica u otro material pulverizado hacia el artículo que se va a revestir, utilizando una llama de combustión, un arco de plasma o un arco eléctrico. Figura 34

Figura 34. Esquema del proceso de aspersion en caliente.



Existen muchos métodos de metalización en caliente los más comunes son:

- o Metalización con alambre.
- o Aspersion con polvo con pistola de llama.
- o Aspersion con pistola con arco de plasma.
- o Aspersion con arco eléctrico.
- o Aspersion con pistola de detonación.

Después de limpiar muy bien la superficie hay que prepararla para lograr mejor adherencia, comúnmente se emplea uno de los siguientes métodos:

- o Maquinado de desbastado.
- o Chorro de abrasivo de grano grueso.
- o Aplicación de una capa inicial de material para adherencia o liga.
- o Lijado o esmerilado.
- o Pre calentamiento de la pieza.

Se debe utilizar mascarillas para evitar que el revestimiento se adhiera en lugares en los que no se necesita; es conveniente ponerlas antes de tornar áspera la superficie.

Después de revestir se efectúan operaciones adicionales, según la naturaleza y función del revestimiento y de la pieza. Algunas de ellas son: Fusión del revestimiento, sellado, y maquinado o Esmerilado.

- **Superficies metalizadas al vacío:** En la metalización al vacío se depositan revestimientos de metales o compuestos metálicos sobre las superficies de una pieza de trabajo, dentro de una cámara de vacío. El material para el revestimiento se calienta hasta su punto de evaporación, esos vapores se condensan sobre la superficie de la pieza y se solidifican. Las piezas se cuelgan orientadas alrededor de la fuente de vapores. Los vapores avanzan en línea recta, y se puede hacer girar la pieza si se requiere cobertura en más de un lado.

El calentamiento del material a depositar se realiza comúnmente por resistencia eléctrica, pero también se utilizan la inducción y el bombardeo con haz de electrones.

La buena adherencia del material aplicado requiere que la superficie de la pieza este muy limpia. En muchas ocasiones se debe aplicar una capa preliminar, la cual alisa la superficie para el revestimiento metálico y, en algunos materiales base, impide el escape de sustancias volátiles que interfieren con el proceso de metalización. Después de revestir con metal, se aplica una capa de laca u otro material no metálico para proteger contra la corrosión y la abrasión.

- **Recubrimientos orgánicos:** La pintura o revestimiento con material orgánico es la aplicación de un material para formar una película en la superficie de una pieza con el fin de brindar protección o decoración. La

pintura se puede aplicar en estado líquido, pastoso o como polvo seco. El acabado de la película se obtiene con la evaporación y posterior reacción química de polimerización, usualmente con aplicación de calor.

Antes de pintar las superficies deben ser adecuadas para ello mediante limpieza. Los siguientes son procesos comunes para aplicación de pintura:

- o Brocha.
- o Rodillo.
- o Pintura con cortina.
- o Pintura por inmersión.
- o Pintura por flujo.
- o Aspersión con aire.
- o Aspersión sin aire.
- o Pintura electrostática.
- o Pintura con polvo.
- o Electrodeposición.

2.4.2. Operaciones de ensamble. Las operaciones de ensamble pretenden lograr una pieza nueva, en algunos casos de mayor complejidad, como producto de la unión de piezas sencillas. Hay muchas maneras de lograr conjuntos, los procesos mas importantes son los de soldadura, las uniones mecánicas y, la utilización de adhesivos.

a) Procesos de unión permanente: Los procesos de unión permanente, no permiten el desmontaje de las partes individuales del ensamble, generalmente implican la fusión de las partes a unir.

➤ **Procesos de soldadura:** La soldadura es un procedimiento por medio del cual se logra la unión permanente de piezas de metal u otros materiales. La unión resultante debe ser tan resistente como el metal base. Hay varios procesos de soldadura, según los usos y aplicaciones. Las principales clases de procesos de soldadura por fusión utilizan diferentes métodos para aumentar la temperatura de los materiales a soldar. Dichos métodos son el calentamiento por arco eléctrico, por combustión de gases, por rayo láser, y por bombardeo con haz de electrones, entre otros. Además de la soldadura por fusión existen procesos de soldadura en estado sólido y procesos que no requieren la fusión de las piezas a unir.

- **Soldadura por fusión**

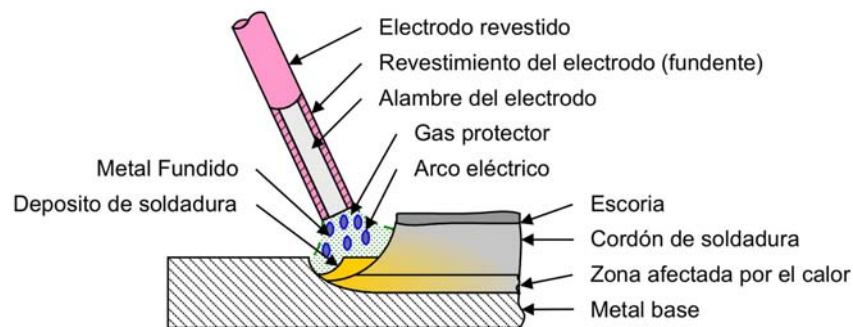
- **Soldadura con arco eléctrico:** La soldadura por arco es un procedimiento para la unión permanente de piezas de metal, produciendo una unión homogénea mediante la fusión entre sí de secciones adyacentes de piezas separadas. La unión resultante tiene una resistencia aproximadamente igual a la del metal base.

El arco eléctrico que salta entre una varilla o electrodo y la pieza de trabajo produce un calor muy intenso en la unión; la temperatura del arco alcanza 4400°C (8000°F). El electrodo es consumible en la mayoría de procesos; lo que significa que proporciona el metal de aporte para la soldadura. Para evitar la oxidación del metal fundido o caliente, se utiliza un fundente que se descompone con el calor de la soldadura y desprende un gas que protege el arco y el metal. El fundente también produce una capa de escoria protectora. Otro método es la utilización de un gas inerte o similar para formar

la envoltura protectora alrededor del arco y de la soldadura. Los gases más empleados son helio, argón y dióxido de carbono.

- **Soldadura por arco de metal o electrodo protegido:** Este proceso se realiza de forma manual o automatizada. El electrodo, que es una varilla de metal revestida con fundente, se consume debido al calor generado por el arco eléctrico. La varilla se constituye en el metal de aporte y el fundente brinda protección al proceso. Al enfriarse el metal fundido se logra la soldadura. En la figura 35 se ilustra este proceso.

Figura 35. Esquema del proceso de soldadura por arco con electrodo protegido.



Fuente: Autores del proyecto

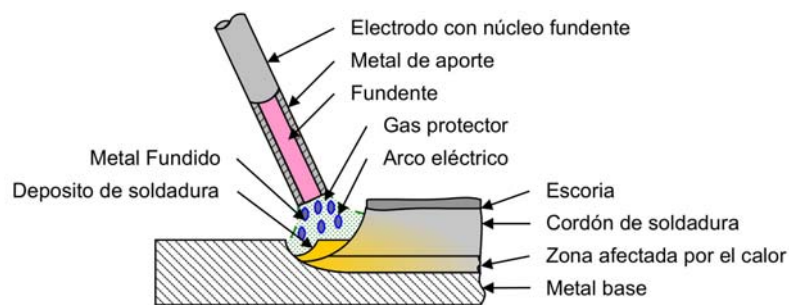
- **Soldadura por arco sumergido:** Este proceso utiliza fundente sólido en forma de granos, aplicado a manera de capa en la que se sumergen el extremo del electrodo, el arco y el depósito de soldadura con una porción de fundente. El electrodo es de alambre y es alimentado continuamente desde un carrete. La aplicación de fundente y el

movimiento de la pistola portaelectrodo generalmente son automáticos. El sobrante de granos de fundente se recolecta por vacío en forma automática.

El fundente puede ser neutro o contener elementos de aleación para enriquecer la soldadura. El método funciona con corriente alterna o directa, y está confinado a posiciones planas u horizontales.

- **Soldadura por arco con núcleo fundente:** Este proceso es similar a la soldadura por arco metálico, la diferencia esta en que el electrodo es de alimentación continua y tubular, el fundente está en su interior. El electrodo se consume debido al calor generado por el arco eléctrico fundiendo el material de la junta, al solidificarse se obtiene la soldadura. Figura 36

Figura 36. Esquema del proceso de soldadura por arco con núcleo fundente.

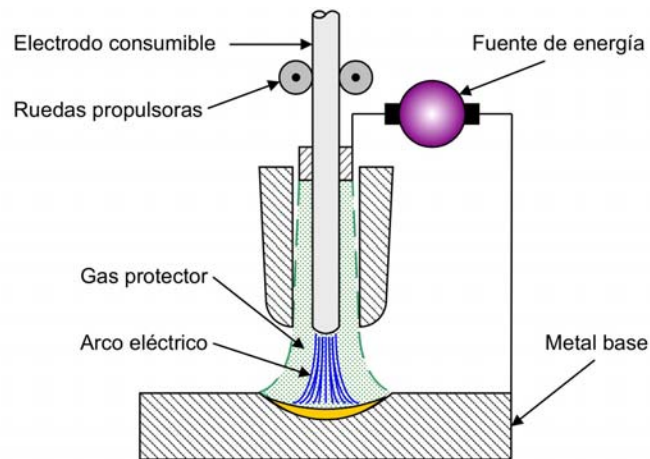


Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura por arco con metal y gas inerte (MIG):** Este proceso utiliza una protección de gas para evitar la contaminación de la soldadura por el aire del ambiente. El electrodo de alambre macizo desnudo, se

alimenta en forma continua a la soldadura con una rapidez constante desde bobinas o carretes. El alambre se consume durante el proceso y constituye el metal de aporte. El gas protector, que puede ser, argón, helio, dióxido de carbono o una mezcla de ellos, circula por la pistola soldadora. El proceso es rápido y evita las operaciones de cambio de electrodos y eliminación de escoria. Figura 37.

Figura 37. Esquema del proceso de soldadura por arco con metal y gas inerte (MIG).

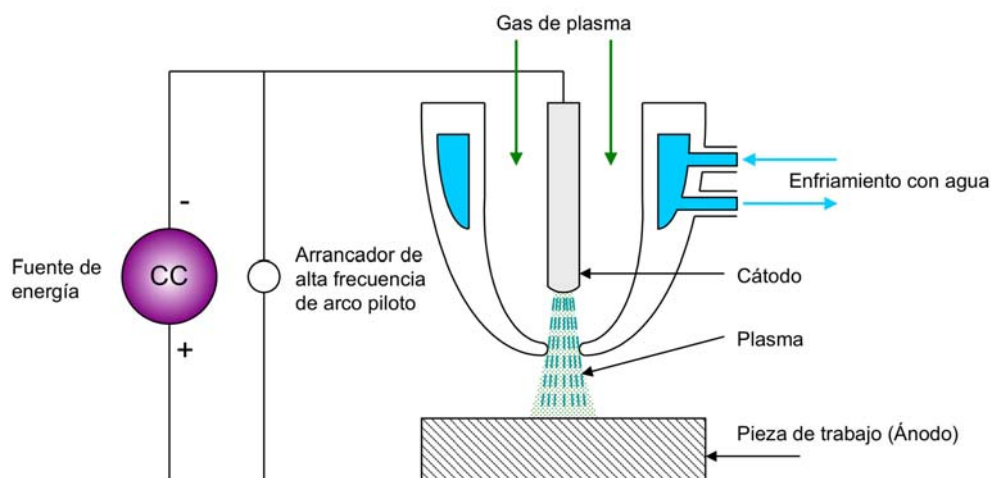


Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura por arco con tungsteno y gas inerte (TIG):** Al igual que en el proceso MIG se utiliza una protección de gas para evitar la contaminación de la soldadura. El electrodo de alambre macizo desnudo, no se consume y no produce metal de aporte. El gas protector, que puede ser, argón, helio, dióxido de carbono o una mezcla de ellos, circula por la pistola soldadora. El proceso es rápido y evita las operaciones de cambio de electrodos y eliminación de escoria. Si se necesita metal de aporte, se utiliza una varilla auxiliar.

- **Soldadura por arco con plasma:** Este proceso emplea electrodos no consumibles y una protección de gas para evitar la contaminación de la soldadura, puede haber un arco entre el electrodo y la pieza, y se produce el estado de plasma, o sea, una zona de gas ionizado alrededor del arco. La soldadura por arco de plasma tiene gran cantidad de gas ionizado que produce el calor para la soldadura. El plasma consiste en electrones libres, iones positivos y partículas neutras. Es de una temperatura más alta que el arco normal y se forma al restringir el orificio de salida del gas protector en el lugar donde se forma el arco. Figura 38

Figura 38. Esquema del proceso de soldadura por arco de plasma.



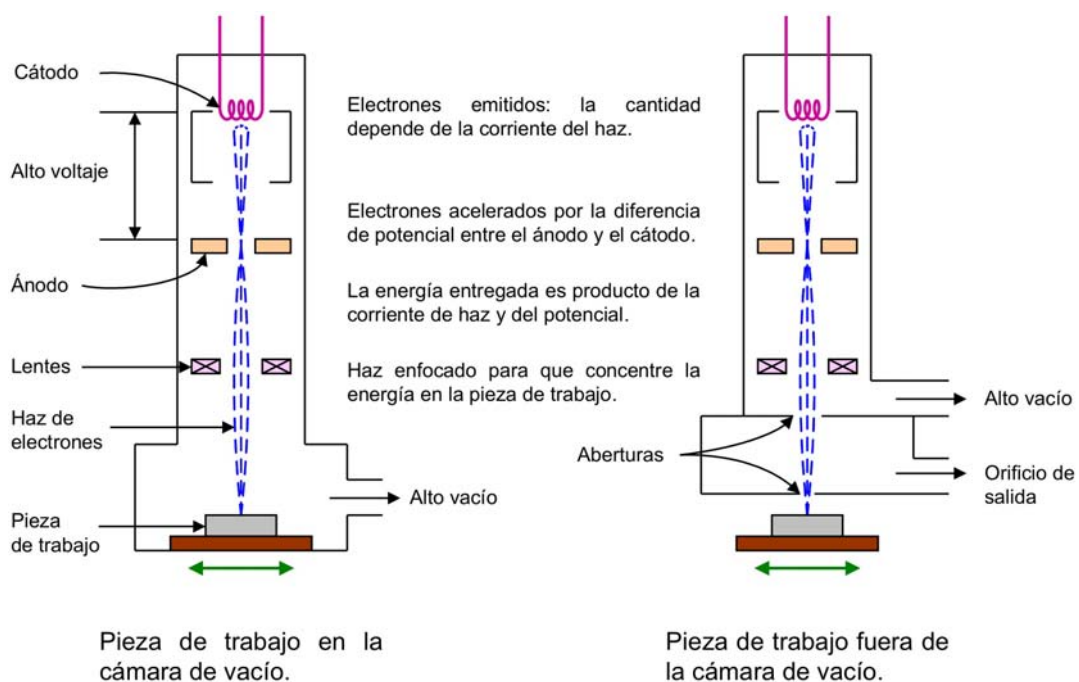
Fuente: Autores del proyecto

La denominación de la soldadura plasma cambia dependiendo de la intensidad; hasta 20A se denomina microplasma, de 20 a 100A se denomina plasma-mediano y después de 100A plasma.

- **Soldadura con haz de electrones:** Este proceso consiste en dirigir un haz de electrones estrecho a alta velocidad contra la unión, lo que ocasiona calentamiento y fusión localizados del metal que se va a soldar. Los electrones se emiten desde un cátodo caliente y se controla su aceleración y dirección con dispositivos electrostáticos y magnéticos.

La generación del haz de electrones debe efectuarse en el vacío, el proceso es más eficiente cuando la pieza está también en un alto vacío. Sin embargo, hay sistemas en los que no se emplea vacío. Figura 39

Figura 39. Esquema del proceso de soldadura por haz de electrones.



Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura con rayo láser:** Se utiliza la energía de un haz de luz coherente, monocromática, concentrado para fundir el metal que se va a soldar. Existen dos procesos principales de soldadura láser, por conducción y por penetración.
 - **Soldadura láser por conducción:** Se basa en la conductividad de los materiales a soldar. El haz de luz se concentra en una pequeña área de la junta, esto hace que los materiales se fundan y se mezclen, al solidificarse se obtiene la soldadura. Este método se emplea para soldadura por puntos, de costura y continúa.
 - **Soldadura láser por penetración:** Se produce calentando la región a soldar mas allá del punto de fusión, produciendo una cavidad dentro del metal, la cual, queda llena de gas metálico vaporizado, la energía acumulada se transfiere al material fundiéndolo, el gas metálico en estado de plasma empuja el material fundido en sentido contrario al del avance del haz, de forma que éste se solidifica según avanza el láser.

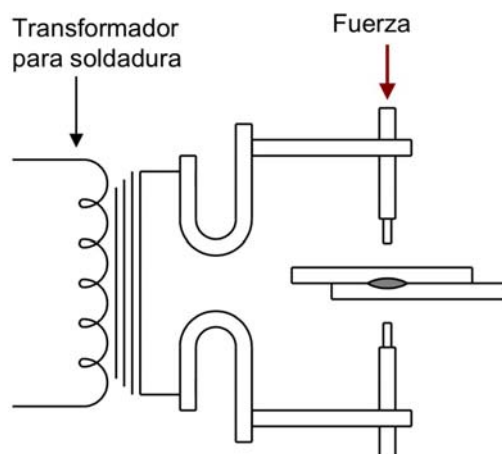
- **Soldadura por resistencia:** La soldadura por resistencia es un proceso que utiliza el calor inducido por la resistencia eléctrica propia del metal al paso de una corriente eléctrica intensa logrando así la unión por puntos localizados del metal. Los electrodos además de suministrar la corriente, también aplican presión en la zona que se va a unir. No hay fuente externa de calor, y no se necesita fundente ni metal de aporte.

Las operaciones de soldadura por resistencia principales son: soldadura por puntos o “punteado”, soldadura por costuras,

soldadura por proyección, soldadura a tope, soldadura por arco con presión.

- **Soldadura por puntos:** Se utilizan electrodos opuestos para aplicar presión a las piezas que se van a unir, para producir contacto con ellas y conducir la corriente. Una alta corriente con baja diferencia de potencial, se aplica en un punto localizado por las puntas de los electrodos y, con la presión empleada, se produce el punto de soldadura. Figura 40.

Figura 40. Esquema del proceso de soldadura por resistencia por puntos.

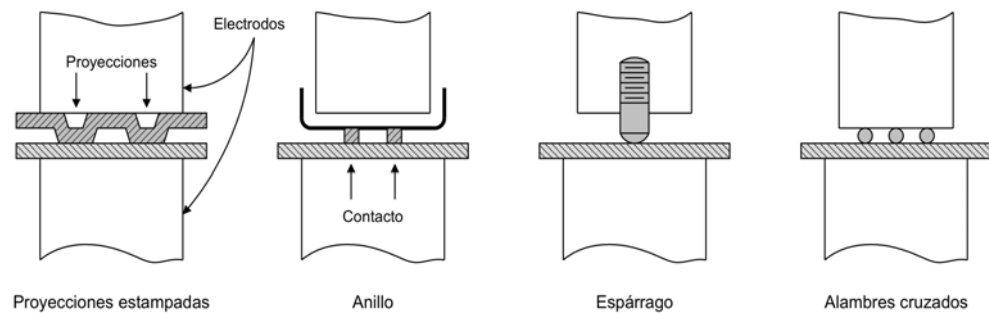


Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura de costura:** Se utilizan electrodos en forma de rueda, que oprimen las piezas entre sí y, conforme giran, conducen una corriente eléctrica de alto amperaje y bajo voltaje a la pieza de trabajo, lo cual produce puntos de soldadura traslapados que se convierten en una costura continua.

- **Soldadura por proyección:** Se utiliza para soldar las protuberancias o proyecciones de las piezas, en vez de utilizar electrodos separados estrechos, se concentra el paso de corriente de una pieza a la otra. El metal proyectado se calienta lo suficiente para ablandarlo y fundirlo con la otra pieza. Figura 41.

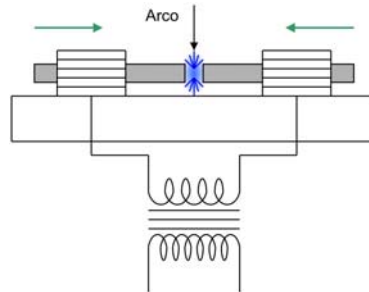
Figura 41. Tipos de soldadura por resistencia por proyección.



Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura por arco de presión:** Las piezas se juntan entre sí con una leve presión o ligeramente separadas. Los electrodos se sujetan a cada pieza y se hace pasar una corriente elevada por ellos. Los arcos ocurren cuando se juntan las piezas, toda la zona de los extremos se calienta a una alta temperatura, y luego, se aplica una presión alta a las dos piezas para forzarlas a unirse. Las piezas se fusionan entre sí cuando se interrumpe la corriente y se forma una rebaba delgada alrededor de la unión que contiene óxidos metálicos, pero en la soldadura queda el metal limpio.

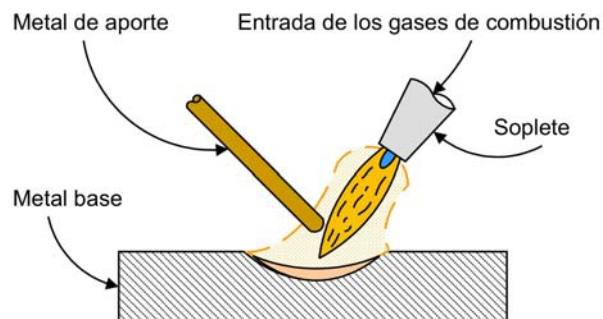
Figura 42. Esquema del proceso de soldadura a tope.



Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura a tope:** Se juntan con firmeza las dos piezas, y una corriente elevada que pasa por ambas piezas las une en forma permanente sin necesidad de forzarlas. Figura 42.
- **Soldadura con oxígeno y gas combustible:** Este proceso se conoce popularmente como soldadura oxiacetilénica. La soldadura por gas se realiza quemando un gas combustible con aire u oxígeno en una llama concentrada de alta temperatura, con el fin de fundir el metal base y el metal de aporte en la junta. Para lograr altas temperaturas, los gases combustibles deben quemarse con oxígeno puro.

Figura 43. Esquema del proceso de soldadura con gas.



Fuente: Autores del proyecto

El metal de aporte se aplica durante el proceso de soldadura en forma de varillas, además ayuda a controlar el impacto de la llama. También se emplea fundente en la soldadura de metales con el fin de reducir las impurezas, controlar la tensión superficial y proteger de la atmósfera. Generalmente el fundente esta en forma de pasta para impregnar la varilla. Figura 43.

Los gases de combustión más empleados son acetileno, propano, hidrogeno, butano, gas natural, y otras mezclas de gases, entre ellas, el MAPP (metilacetileno-propadieno).

- **Soldadura de estado sólido:** En la soldadura de estado sólido los metales se unen por enlaces entre sus átomos y cristales. Por tanto, las piezas se deben poner en contacto en la totalidad del área común para lograr uniones igual de fuertes al material base. Cuando se juntan las superficies sólo se tocan en algunos puntos, sin importar que sean muy lisas. Además, las superficies metálicas generalmente están cubiertas con películas de óxidos, gases absorbidos y vapor de agua, lo que las mantiene separadas una distancia “apreciable” incluso en los puntos más cercanos. Estas barreras se eliminan comprimiendo con suficiente fuerza las piezas de metal en frío unidas, debido al aplanamiento de las pequeñas salientes se logra aumentar el área de contacto entre ellas. Aplicando algo de calor, los óxidos se hacen más fluidos, el metal se hace más plástico y se necesita menos presión para la soldadura.
- **Soldadura por difusión:** La soldadura por difusión a presión consiste en comprimir dos piezas mientras se calientan hasta llegar a una temperatura abajo del punto de fusión, normalmente en el vacío o en una atmósfera de gas inerte. La soldadura tiene lugar después de cierto

tiempo debido a que el metal base se une por difusión interatómica. Primero se deben maquinar las superficies que se van a unir hasta que queden planas, luego se limpian completamente para asegurarse de que el contacto sea estrecho en toda el área. Pueden añadirse varias entrecapas metálicas o ayudas para la soldadura (algunas se funden en el proceso) con el fin de reducir la temperatura y presión necesarias, facilitar un contacto estrecho, eliminar las películas de óxido, llenar los huecos, apresurar la difusión o servir como capas de impedimento en las soldaduras selectivas.

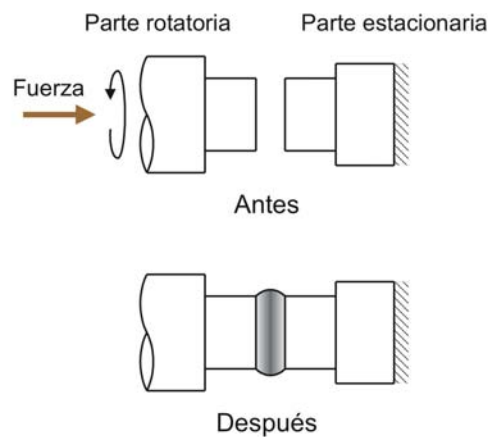
En la soldadura por difusión a presión no tiene lugar fusión y no se necesita metal de aporte o relleno. Así no se añade peso y la unión resulta tan fuerte y resistente a la temperatura como el metal base. No se introducen tensión residual, deformación excesiva, contaminación o cambios en los cristales excepto en los métodos de colaminación rigurosos o violentos.

- **Soldadura por fricción:** Hay diferentes formas de soldadura por fricción, en general se trata de unir dos materiales utilizando la fricción entre ellos como método de calentamiento, aquí se describen dos procesos empleados en la industria.

- **Soldadura por inercia:** En este tipo de soldadura por fricción, los extremos de las dos piezas se comprimen y se juntan, uno de ellos se mantiene inmóvil en tanto que el otro se hace girar. Con frecuencia, se utiliza un husillo impulsado por un volante para hacer girar la pieza. La fuerza de fricción desarrollada entre la superficie deslizante y la que se apoya genera calor para la soldadura, sin llegar al punto de fusión del metal, y añade un componente de fraguado al de la presión, que se

encuentra solo en otras operaciones de soldadura a tope. Durante el proceso no hay producción de luz brillante, ni chispas, humos o ruidos fuertes. Figura 44.

Figura 44. Esquema del proceso de soldadura por fricción por inercia.



Fuente: Autores del proyecto.

- o **Soldadura por fricción mediante batido:** Se puede considerar como un proceso de forjado y extrusión continuo. Los dos elementos a unir se mantienen estáticos mientras una herramienta rotatoria proporciona calor y ajuste.

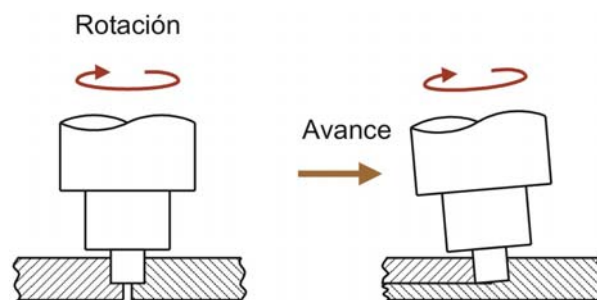
La fricción aumenta la temperatura de las piezas en las proximidades de la herramienta, justo hasta un valor por debajo de la temperatura de fusión de los componentes, lo que provoca la disminución de la resistencia de las piezas hasta tal punto que pasa a un estado plástico.

Debido a la rotación de la herramienta, el material “pastoso” se transporta alrededor suyo, por un “canal de extrusión” (región que se crea entre el material frío y aún sólido, y la herramienta rotatoria). Así, cuando empieza el

movimiento de avance de la herramienta, se produce la mezcla de los dos componentes a lo largo de la línea de unión.

Habitualmente, la herramienta suele estar inclinada hacia el lado contrario a la dirección de movimiento, facilitando así la presión del hombro y el flujo del material. Figura 45.

Figura 45. Esquema del proceso de soldadura por fricción mediante batido.



Fuente: Autores del proyecto

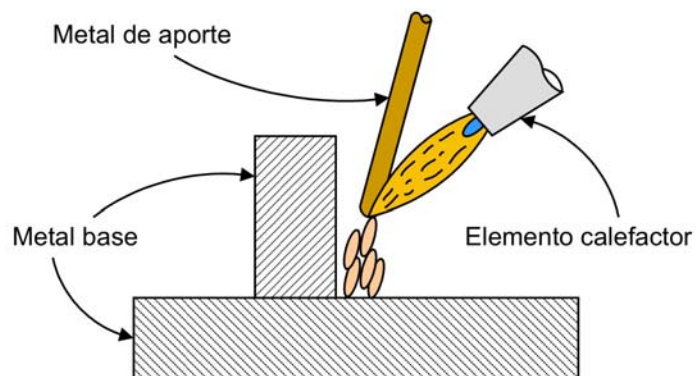
- **Soldadura ultrasónica:** El proceso consiste en unir dos piezas comprimiéndolas y haciéndolas vibrar a frecuencia ultrasónica, una sobre otra, paralelamente a la interfase de contacto. El transductor ultrasónico o “sonotrodo” opera perpendicularmente a la dirección de la presión. Las vibraciones barren la superficie de óxido y película y pueden atravesar la suciedad y los revestimientos de la superficie para entremezclar los metales incipientes. Las superficies se vuelven calientes y plásticas, sin alcanzar el punto de fusión, y se produce un enlace metalúrgico sólido.

El proceso de soldadura ultrasónica no necesita prelimpieza o metal de aporte y no se introduce o produce contaminación. La soldadura es tan fuerte como el metal base.

- **Otros procesos de soldadura y corte**

- **Soldadura fuerte y blanda:** Las soldaduras fuerte y blanda son procesos afines en los cuales se unen componentes metálicos por medio de un metal de relleno, el cual se funde por medio del calentamiento previo de la junta y se impregna por atracción capilar en las superficies que se van a unir. Figura 46.

Figura 46. Esquema del proceso de soldadura fuerte/blanda.



Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura blanda (soldering):** El metal de relleno o soldadura, debe tener el punto de fusión más bajo que el del metal base, generalmente 450°C (842°F). La soldadura blanda común es una aleación de estaño y plomo. La resistencia de la junta soldada con soldadura blanda depende de la superficie aleante y del enlace o liga mecánica entre las partes unidas

como el prensado. En general la soldadura blanda tiene baja resistencia, y esta limitada a temperaturas de operación inferiores a 150°C (300°F), se emplea comúnmente en el campo de la electrónica.

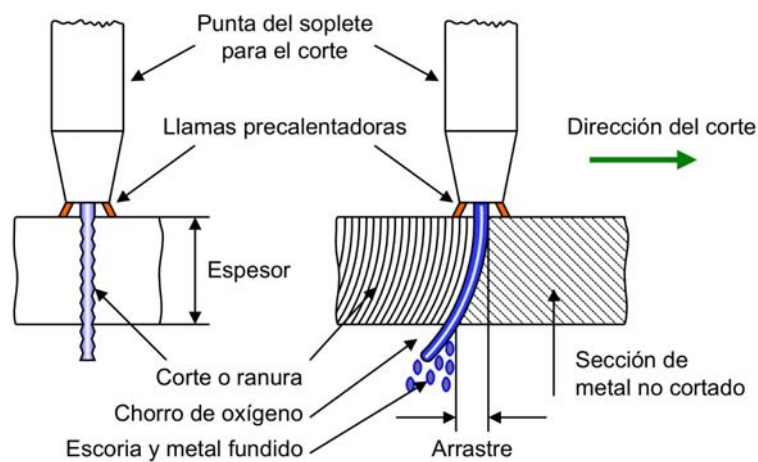
- **Soldadura fuerte (brazing):** El metal de relleno para soldadura fuerte tiene un punto de fusión superior a 450°C (842°F). Las aleaciones más comunes para soldadura fuerte son de plata o cobre. Aunque el aluminio, se suelda por medio de aleaciones de aluminio con punto de fusión ligeramente menor al del metal base. La resistencia de la soldadura fuerte es tan buena como la del metal base, además es dúctil, y resistente a la fatiga y a la corrosión.

- **Procesos de corte con arco eléctrico**
 - **Corte con arco-carbono aire:** Es un método por el cual se funde metal usando un arco que sale de un electrodo de grafito y en el que se dispersa el metal fundido soprándolo con un chorro de aire comprimido. Esto se hace durante el cortado o muescando las ranuras cuando el electrodo y el chorro de aire están inclinados para trabajar sobre la superficie.

 - **Corte con arco-oxígeno:** O corte con arco-metal, usa un tubo de acero cubierto con fundente como electrodo. El revestimiento aísla el electrodo de los lados del corte y aumenta la fluidez del metal. El arco del electrodo funde el metal que se quema y lo retira soprándolo con un chorro de oxígeno a través del tubo. Este método se desarrolló para el corte submarino pero también puede usarse al aire para cualquier grueso de metal; no da buena exactitud y acabado superficial.

- **Procesos de corte con oxígeno y gas combustible:** Este proceso se conoce también como corte con gas u oxicorte. Es un grupo de procesos de corte con los cuales se efectúa la eliminación de material por medio de la reacción química del oxígeno con el metal base a altas temperaturas. En el corte con oxígeno se precalienta una zona pequeña del material con oxígeno y un gas combustible hasta la temperatura de ignición del material base. Luego, se dirige una corriente de oxígeno puro hacia la zona calentada. El oxígeno produce la oxidación rápida del material en una sección estrecha (la ranura) cuando se remueven el óxido y el metal fundidos por acción de la corriente de oxígeno. La energía térmica generada por la oxidación es un factor importante en el avance del proceso. Figura 47

Figura 47. Esquema del proceso de corte con oxígeno y gas combustible.



Fuente: Autores del proyecto

- **Procesos de corte con plasma:** El plasma es el estado de la materia producido cuando se somete un gas a intensas fuerzas eléctricas, térmicas o ambas, lo cual ocasiona que las moléculas se desintegren en iones. La llama de plasma que sale del soplete choca contra la pieza de trabajo en forma de un chorro delgado, de alta energía. El metal que está en la trayectoria del chorro de plasma se funde o vaporiza y es arrastrado a lo largo de la ranura. Su aplicación principal es para materiales no ferrosos.

En este proceso se utiliza un soplete con una boquilla de manera similar al oxicorte. Es capaz de penetrar casi cualquier material que conduzca la electricidad y se usa en especial para aquellos metales en los que es difícil el corte con llama. En algunos casos el acabado superficial es mejor que el logrado con corte con gas, en general la exactitud no es buena, La radiación del arco es intensa y el equipo es costoso.

- **Pegado con adhesivos:** Los pegamentos o adhesivos son compuestos que pueden unir firmemente objetos entre sí, mediante atracción superficial. Las ligas con adhesivo generalmente son menos costosas, más fáciles de producir y más resistentes a la fatiga y a la corrosión que los sujetadores mecánicos o las soldaduras.

Las ligas se hacen aplicando una película de adhesivo entre las piezas, las cuales se deben inmovilizar hasta que el adhesivo se solidifica; el pegamento se puede aplicar en estado sólido o fundido como líquido puro o en solución. La obtención de la película final o curado puede requerir operaciones de calentamiento, enfriamiento, evaporación o una combinación de ellas. El curado puede demorar desde unos segundos hasta

días, pero, se puede acelerar aumentando la temperatura. La facilidad de ensamblaje está en relación directa con la técnica empleada para la aplicación y curado del adhesivo.

b) Ensamble mecánico: Este proceso consiste en unir una o más piezas dentro de otras o sobre otras con el fin de formar una pieza más compleja o un producto terminado. Generalmente los pasos para ensamble son acarreo, composición, verificación, y ajuste.

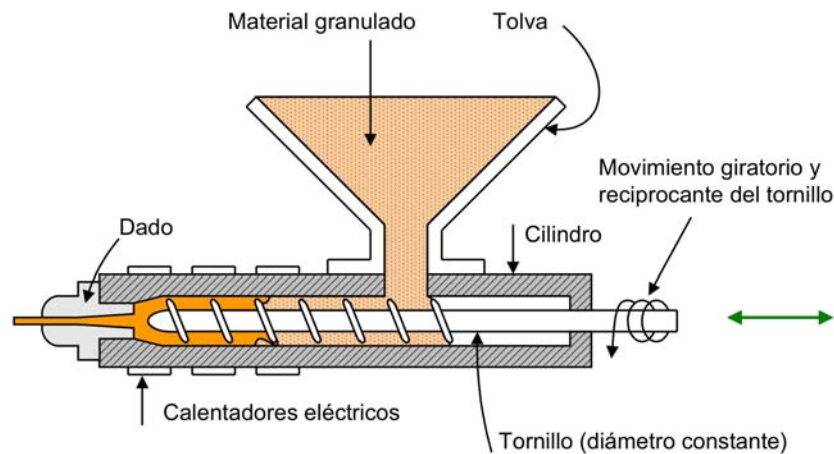
Los elementos mas usados en ensamble mecánico son sujetadores roscados, remaches, grapas y sellos, además del ajuste por presión y el ensamblaje automático.

2.4.3 Procesos para plásticos.

a) Extrusión de plásticos: La extrusión es un proceso de moldeo de materiales termoplásticos para convertirlos en láminas, tubos o formas con sección transversal generalmente constante. El material plástico, normalmente en forma de gránulos o polvo, se coloca en una tolva para alimentar una cámara calentada de manera controlada. Dentro de la cámara, un tornillo giratorio mezcla uniformemente el plástico, lo funde y lo obliga a pasar por el orificio de una matriz. A la salida, el material extrudido se hace pasar por un medio enfriador, aire o agua, mediante un mecanismo de tracción como un transportador. El material se solidifica tomando la forma de la sección transversal de la abertura del dado, y se retira de la matriz en un tiempo menor del que permaneció en ésta, después se estira para formar una sección transversal menor. Figura 48.

La tubería y otras secciones transversales huecas se hacen con matrices que tienen un corazón o mandril para formar el agujero.

Figura 48. Extrusión de plásticos.



Fuente: Autores del proyecto

Entre las operaciones adicionales típicas que se realizan después de la extrusión se encuentran el corte a la longitud deseada, la aplicación de películas decorativas o protectoras, grabados, formado, ensamblado y troquelado para tener agujeros especiales, ranuras o cortes que son imposibles de extrudir.

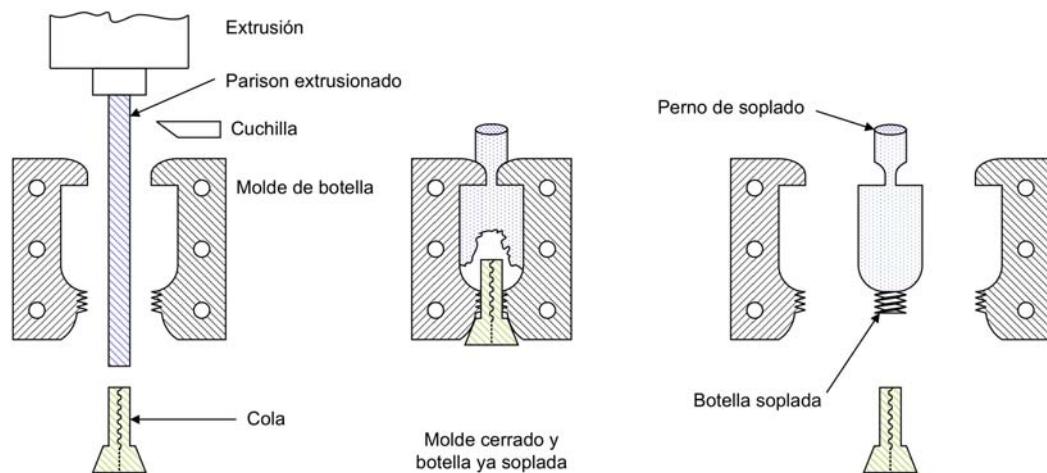
b) Moldeo de plásticos

- **Moldeo por soplado:** El objetivo del moldeo por soplado es formar objetos termoplásticos huecos. Se aplica aire a presión dentro de una pequeña pieza hueca de plástico calentado llamada parison inflándola y presionándola contra las paredes del molde, para tomar la forma de la

cavidad del molde donde se enfría y endurece. Luego el molde se abre y la pieza se expulsa.

- **Moldeo soplado por extrusión:** El parison se extruye como un tubo. Este se inserta en el molde de soplado con un extremo acoplado a un perno o aguja de soplado. Al cerrar el molde, el tubo se oprime en ambos extremos y se corta. Después de que el tubo se infla y la pieza se forma, se abre el molde, la pieza se expulsa y el exceso de material se elimina. La Figura 49 ilustra el proceso de moldeo soplado por extrusión.

Figura 49. Esquema del proceso de moldeo soplado por extrusión.



Fuente: Autores del proyecto

- **Moldeo soplado por inyección:** El parison se forma por moldeo de inyección en lugar de extrusión. Se moldea sobre un mandril para dar la forma hueca, y este mandril transfiere el parison caliente al molde de soplado y luego funciona como boquilla de soplado. Si la pieza a moldear por soplado tiene características como el cuello y la boca de una botella, que son más adecuados para la inyección que para el moldeo por

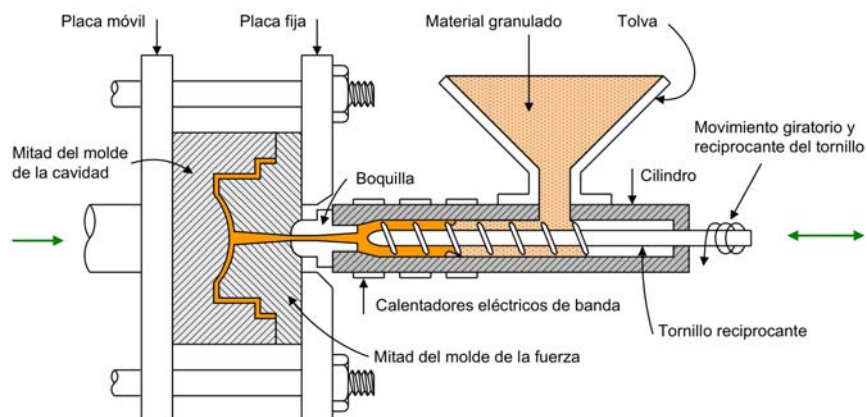
soplado, estas formas se pueden incluir en el molde de inyección del parison.

- **Moldeo rotacional:** El principio del proceso de moldeo por centrifugación, también llamado vaciado por centrifugación o rotación, es hacer girar sobre dos ejes un molde caliente de metal al cual se le ha cargado resina termoplástica líquida o en polvo. La resina cae por gravedad a la parte más baja del molde, recubre su pared y se funde al girar uniformemente el molde en dos planos.

c) **Moldeo de termofijos:** Los plásticos termofijos son materiales que están formados por una gran molécula en forma de red, con uniones muy fuertes entre moléculas, esto evita que se ablanden al calor una vez hayan sido transformados, por lo tanto no pueden moldearse nuevamente.

Cuando los materiales termofijos (termoendurecibles, termoestables) se someten a presión y calor dentro de un molde, se endurecen formando una pieza sólida.

Figura 50. Moldeo por inyección de termofijos.



Fuente: Autores del proyecto

- **Moldeo por inyección:** Es un proceso muy similar a la inyección de materiales termoplásticos, pero más difícil de realizar. El material en forma granular alimenta al cilindro previamente calentado. El termoplástico al calentarse en el cilindro, se suaviza, entonces se obliga a pasar del cilindro al molde donde se enfría y solidifica. El molde se abre y se extrae la pieza moldeada. Figura 50.
- **Moldeo por compresión:** El proceso es el siguiente. Se pone en el fondo de un molde previamente calentado, una cantidad fija de compuesto de moldeo llamada carga, se unen las mitades del molde para comprimir la carga y forzarla a tomar la forma de la cavidad, luego, se calienta la carga a través del molde para curar el material, transformándolo en una nueva pieza.

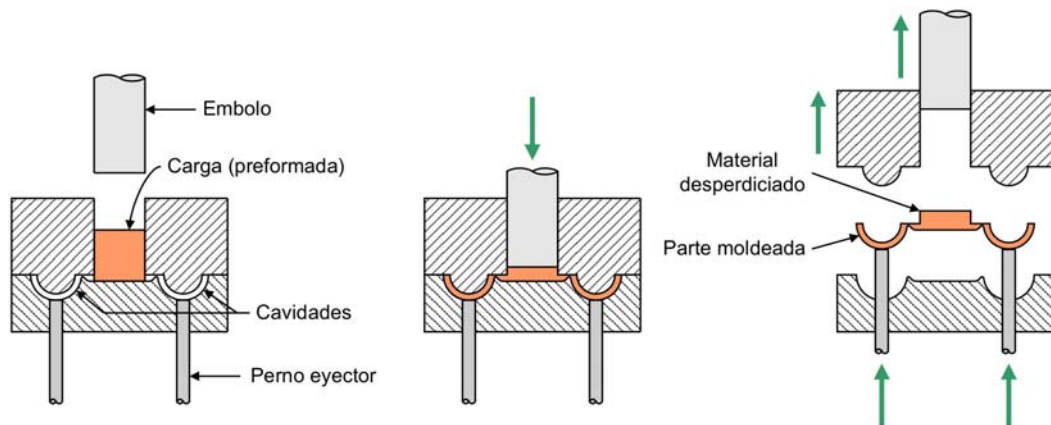
La carga inicial del compuesto de moldeo puede estar en forma de polvos, pelets, líquida, o partes preformadas. La cantidad de polímero debe controlarse cuidadosamente para obtener una consistencia uniforme en el producto moldeado.

- **Moldeo por transferencia:** El moldeo por transferencia es una combinación del moldeo por compresión e inyección. En donde el material cargado en una cámara se transfiere al interior del molde mediante la acción de un embolo.

En este proceso, se carga un termofijo preformado en una cámara seguida a la cavidad del molde, donde se calienta; se aplica entonces presión para forzar al polímero suavizado a fluir dentro del molde caliente, donde el polímero se cura. Hay dos variantes de este proceso

- **Moldeo con recipiente de transferencia:** La carga se inyecta de un recipiente a través de un canal vertical en la cavidad.
- **Moldeo con émbolo de transferencia:** Se inyecta la carga en la cavidad del molde por medio de un émbolo desde un depósito que se calienta a través de canales laterales. Figura 51.

Figura 51. Moldeo de termofijos (émbolo de transferencia).



Fuente: Autores del proyecto

- **Moldeo por inyección de termoplásticos:** Los materiales termoplásticos tienen la propiedad de ablandarse al calor y solidificarse al enfriarlos, esto puede hacerse infinitas veces sin que el material se degrade, lo que los hace adecuados para operaciones de moldeo.

Los materiales termoplásticos toman formas específicas cuando se calientan, se inyectan y se enfrían en un molde. El material plástico, generalmente en forma granular, se coloca en la tolva de una máquina de moldeo por inyección, de donde alimenta al cilindro previamente calentado. El plástico al irse calentando en el cilindro, se funde o plastifica. Un émbolo obliga al

material a pasar del cilindro al molde donde se enfría y solidifica. El molde, generalmente de acero, sujeto a la máquina se enfría con agua. Este se abre y se extrae la pieza moldeada con la colada unida.

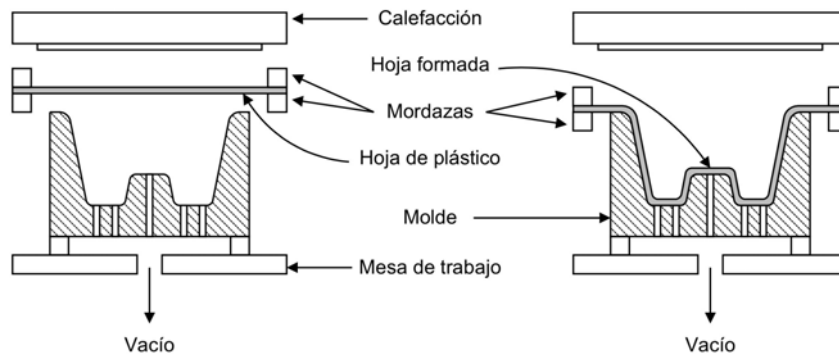
- **Moldeo con espuma estructural:** Las piezas moldeadas con espuma estructural tienen un revestimiento integral que encapsula un corazón celular. El revestimiento y el corazón son del mismo material y se forman durante la misma operación de moldeo.

Hay muchas variaciones de procesos de moldeo con espuma estructural. Sin embargo, la mayoría están incluidos en cuatro categorías principales:

- o Vaciado.
- o Moldeo por inyección a baja presión.
- o Moldeo por inyección a alta presión.
- o Moldeo por inyección con reacción.

c) Termoformado: El termoformado implica el formado por medio de calor de una hoja de termoplástico que entra en contacto con un molde. La hoja o película de plástico, se calienta hasta el punto de ablandamiento, se sujeta sobre el molde o entre sus partes y se jala hacia este por medio de vacío, presión de aire, gravedad, fuerza mecánica, o una combinación de esos métodos. Toma la forma del molde al enfriarse, entonces se saca y desbasta. Este proceso se llama normalmente formado al vacío porque el vacío creado entre el molde y la hoja, generalmente la empuja contra el molde. La Figura 52 muestra un esquema de este proceso.

Figura 52. Esquema del proceso de formado al vacío.



Fuente: Autores del proyecto

d) Fundición de plásticos: La colada o fundición de plásticos consiste verter el material en estado líquido dentro de un molde, donde fragua y se solidifica. Para lograr el estado líquido se puede emplear calor, solventes químicos, catalizadores, o estos elementos en combinación dependiendo del material a fundir. En este proceso no se obliga al material a tomar la forma del molde aplicando presión.

El calor se utiliza sólo para resinas en forma de polvo o granulados, la masa se calienta hasta que esté fluida y se vierte en el molde, luego se cura a temperaturas que varían según el plástico, después, la pieza se retira del molde.

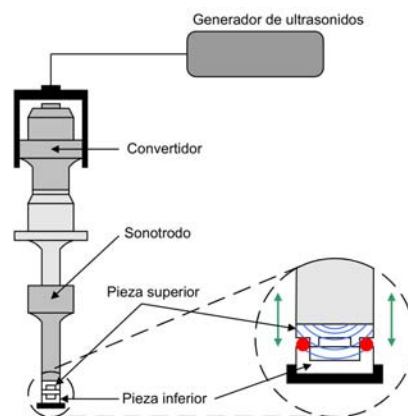
➤ **Colado de plásticos al vacío:** Se emplea para evitar la aparición de burbujas internas en las piezas fundidas. El proceso de colado al vacío consiste en la fundición de una resina, generalmente silicona, a través de un modelo maestro, el cual, una vez extraído permite tener un molde blando en el que se realizaran las nuevas piezas coladas en una cámara de vacío.

- **Fundición hueca:** Es una alternativa sobre el colado convencional. En la fundición hueca se vacía un plastisol líquido en la cavidad de un molde caliente, formándose una costra en la superficie del molde. Después de cierto tiempo, que depende del espesor deseado de la costra, se vacía el líquido excedente del molde; entonces este se abre para retirar la pieza.

e) Procesos de soldadura de plásticos

- **Soldadura ultrasónica:** La soldadura ultrasónica de piezas termoplásticas se hace aplicando vibraciones de frecuencia ultrasónica al ensamble. Esto produce un aumento de temperatura producto de la fricción superficial e intermolecular en la unión. Cuando la temperatura es suficiente para fundir la resina, el material fluye y produce una soldadura uniforme. Figura 53.

Figura 53. Esquema del proceso de soldadura ultrasónica para plásticos.

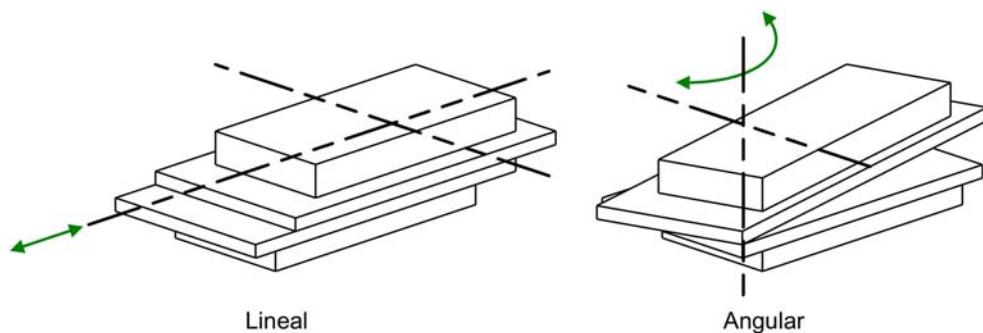


Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura por vibración:** También conocida como soldadura por fricción, la soldadura por vibración consiste en crear un movimiento

oscilante de baja frecuencia que aumenta la temperatura en la zona a soldar, de manera similar a la soldadura ultrasónica. Difiere de la soldadura ultrasónica en que la frecuencia de vibración es mucho más baja, la amplitud es mayor, y la dirección es paralela al plano de la unión en lugar de ser perpendicular. La vibración puede ser lineal o angular. Figura 54.

Figura 54. Movimiento de las piezas soldadas por vibración.

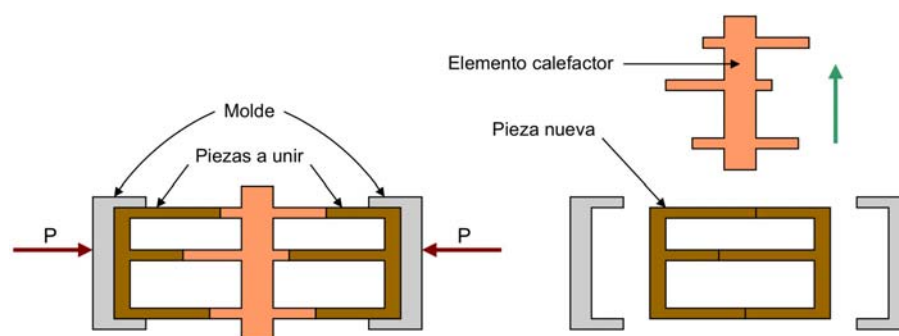


Fuente: Autores del proyecto

- **Soldadura por rotación:** La soldadura por rotación es una forma de soldadura por fricción utilizada para el ensamblaje de piezas termoplásticas que tienen una línea de unión circular. En la soldadura por rotación, una parte del conjunto gira a alta velocidad y presiona contra la parte estacionaria. Se genera calor de fricción y las superficies a unir se funden. Cuando cesa el movimiento giratorio, la presión se mantiene.
- **Soldadura con placa caliente:** La soldadura de plásticos con placa caliente o elemento calefactor consiste en calentar las superficies que se van a unir hasta su temperatura de fusión mediante un elemento calefactor, cuchilla

o placa, para luego unir las presionándolas una contra otra. El control exacto de calor, presión y tiempo es básico para la producción de juntas de calidad con una resistencia de 80 a 100% de los materiales unidos. Figura 55.

Figura 55. Esquema del proceso de soldadura por elemento calefactor.



Fuente: Autores del proyecto:

- **Soldadura por inducción:** La soldadura por inducción, o electromagnética, requiere la colocación de material adicional entre las superficies que se van a unir. Esta capa electromagnética especial debe ser compatible con el termoplástico que se está uniendo, y tiene disperso en su interior partículas metálicas de tamaño micrométrico. El conjunto que se va a soldar se coloca dentro o en la proximidad de una bobina de inducción, a través de la cual se pasa una corriente eléctrica alterna de alta frecuencia. El campo magnético alternante que resulta genera calor en las partículas metálicas debido a corrientes parásitas y efectos de histéresis. Las partículas metálicas calientes funden el aglutinante termoplástico y, a su vez, las superficies de las partes que se van a unir.

- **Soldadura con gas caliente:** La soldadura con gas caliente es un método de unir termoplásticos similar a la soldadura con gas para metales. El calor de un soplete manual de aire o gas caliente se aplica directamente a la junta. Una varilla de soldadura del mismo material termoplástico se calienta y se presiona dentro de la junta reblandecida para formar la unión. Las superficies no se calientan hasta una fusión líquida como en la soldadura de metal, pero se ablandan lo suficiente para permitir la adhesión con la presión de la varilla de soldadura.

2.4.4. Proceso para materiales compuestos con matriz polimérica (PMC). El moldeo de piezas de plástico reforzado y compuesto (PRC) implica, esencialmente, embeber un material de refuerzo como fibra de vidrio, asbesto, o fibras de carbono; en una matriz polimérica solidificada como poliéster, epoxi, o polipropileno. Para los plásticos termofijos, la solidificación se efectúa mediante catalizadores y calor. Mientras que, en el caso de resinas termoplásticas solamente se enfría el plástico fundido a una temperatura inferior a la de su punto de fusión. La elección del método de moldeo a emplear se determina por la forma y el tamaño de la pieza y la cantidad de producción.

Existen varios procesos empleados para moldear piezas de plástico reforzado y compuesto, la mayoría de ellos son los mismos o muy similares a los procesos comúnmente empleados para materiales plásticos.

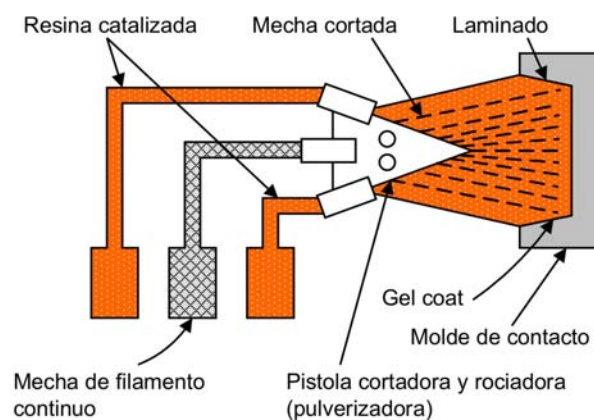
a) Métodos de moldeo curados a temperatura ambiente

- **Moldeo manual de piezas de PMC:** O laminado manual, en un molde preparado con película y gelcoat, se coloca la colchoneta o lámina de fibra de vidrio, se cataliza la resina para luego aplicarla con brocha al molde. Se

puede seguir colocando láminas y resina, antes de que fragüe la resina, hay que pasar un rodillo de aluminio para sacar las burbujas y compactar al molde. Se deben cortar los sobrantes antes de que la resina cure totalmente.

- **Proceso de rocío (pulverización):** O aspersión, con el equipo de aspersión, se coloca el hilo de fibra de vidrio o “roving” en las guías del equipo y se aplica la fibra de vidrio con la resina ya catalizada; hasta conseguir una capa inicial de fibra de vidrio completa a todo el molde, se debe pasar un rodillo para compactar bien la fibra de vidrio con el molde. Este proceso se repite hasta llegar al espesor deseado. Figura 56.

Figura 56. Moldeo de rocío o pulverización.

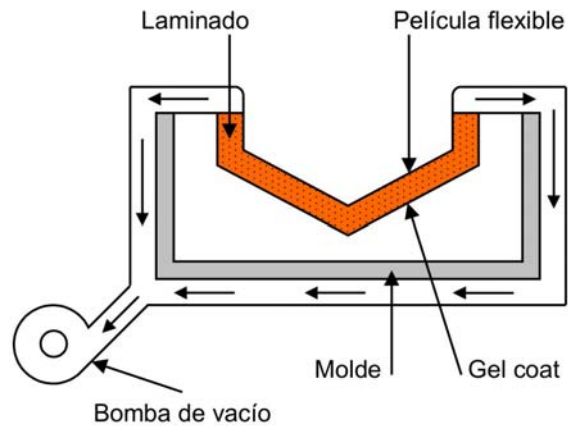


Fuente: Autores del proyecto

- **Moldeo con bolsa de vacío:** La característica de este proceso es que no requiere molde macho, la película flexible empleada lo reemplaza; además se pueden usar los moldes para moldeo abierto. El proceso consiste en colocar el molde preparado y con el “gel coat”, sellar las

entradas de aire, y efectuar el vacío. La lámina flexible toma la forma del molde. Figura 57.

Figura 57. Moldeo con bolsa de vacío.



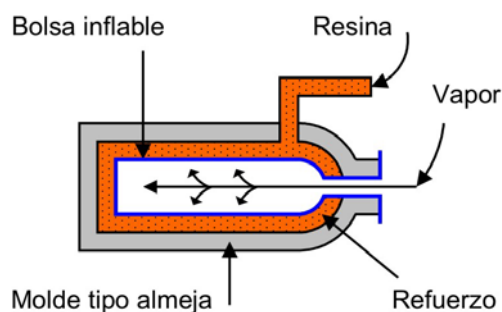
Fuente: Autores del proyecto

- **Moldeo con prensa fría:** El proceso se lleva a cabo en un molde cerrado con una de prensa, al preparar el laminado, la resina se cataliza para conseguir que la pieza fragüe, y después entra en acción la prensa. Al retirar la pieza del molde se deben lijar las orillas.
- **Vaciado:** Se vierte la cantidad adecuada de resina junto con el refuerzo en un molde abierto y se deja curar a temperatura ambiente, después de cierto tiempo se procede a retirar la pieza del molde. Una variante de este procedimiento es el encapsulado, en el, se debe poner el objeto a encapsular, previamente mojado con la resina para evitar burbujas, dentro del molde lleno hasta una altura determinada, después de colocar el objeto a encapsular, se termina de llenar el molde.

b) Procesos que requieren presión

- **Moldeo por compresión:** En este proceso se usan moldes de acero maquinado y pulido y una prensa de hasta 3.5 a 35 kg/cm² (100 a 500 lb/pulg²) con sistema de calentamiento del molde, generalmente, resistencias eléctricas. El proceso consiste en cortar la fibra de vidrio al tamaño del molde en varias capas hasta dar el espesor requerido, después se aplica la resina pigmentada, luego se cierra la prensa; y en un tiempo aproximado de 3 minutos se obtiene la pieza. La pieza obtenida solamente requiere un lijado suave en los bordes.
- **Moldeo con bolsa a presión:** Este método requiere de una cámara o molde en dos secciones, generalmente fabricada de vinilo, que tiene la forma de la pieza a obtener. Se coloca el material de refuerzo en las dos secciones del molde, generalmente colchoneta, así como la resina para el laminado. Después se pone una bolsa, la cual, se infla con aire o vapor hasta alcanzar una presión aproximada de 1.5 - 3.5kg/cm² (20 - 50psi), dicha presión debe mantenerse hasta lograr el curado de la resina; luego se retira la presión y se desmolda la nueva pieza. Figura 58.

Figura 58. Moldeo con bolsa a presión.



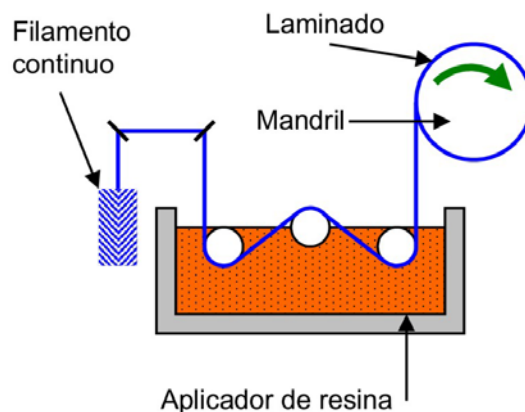
Fuente: Autores del proyecto

- **Vaciado por centrifugación:** Los refuerzos empleados y la resina, son introducidos en un molde de metal rotativo y cilíndrico. La resina impregna el refuerzo bajo el efecto de la fuerza centrífuga y forma después de la polimerización, una estructura cilíndrica. Después que los materiales hayan sido introducidos al molde, la velocidad de rotación aumenta hasta su valor de moldeado. Este depende de factores como la cantidad y naturaleza del refuerzo, el espesor y diámetro de la pieza y la viscosidad de la resina.

c) Procesos de fabricación continua

- **Bobinado de filamento:** Este procedimiento consiste en enrollar el material de refuerzo o “roving”, previamente tensado, a un eje o mandril que hace las veces de molde. El material de refuerzo y el recipiente que contiene la resina y un catalizador, se encuentran colocados en una plataforma desplazada paralelamente al mandril. Figura 59.

Figura 59. Bobinado de filamento.



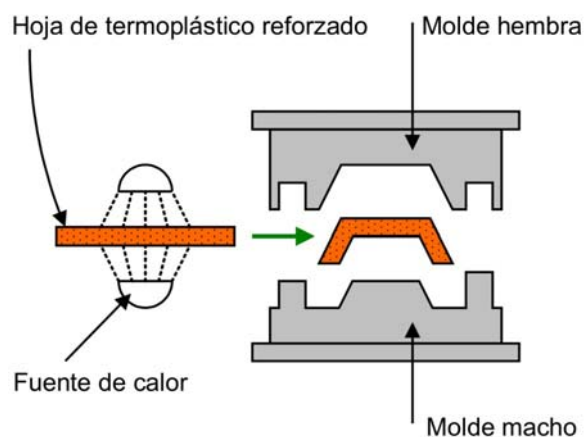
Fuente: Autores del proyecto

- **Pultrusión continua:** Es un proceso empleado para crear perfiles de diversas formas reforzados de vidrio hueco. Las guías entre la estantería y el molde permiten preformar y colocar cada refuerzo en el lugar correcto. El vidrio se impregna antes del molde, generalmente se emplea un sistema de baño abierto; luego se introducen elementos adicionales en la resina para obtener la forma y las propiedades deseadas, ello ocurre dentro del molde. Luego el perfil sólido pultruido se sujeta y tracciona por un cinturón continuo. El último paso es cortar el perfil al largo deseado. La velocidad típica de la pultrusión con resina termofija es de 0.5 a 2m/min.
- **Laminación continua:** Este proceso consiste en hacer pasar el material de refuerzo por estaciones diferentes. En la primera sección se coloca el material de refuerzo sobre una película de celofán o “maylar”. Posteriormente, en la segunda estación, se aplica la resina poliéster preparada según las necesidades de tiempo y temperatura procediendo a cubrir la pieza con una última película de maylar. El Sándwich obtenido, se pasa a través de una serie de rodillos que ayuda a impregnar el material de refuerzo, a extraer el aire y calibrar el espesor pasando posteriormente a un horno de curado, que mantiene la temperatura en un rango de 90 a 110°C. La longitud del horno es de 15 a 30m. La velocidad de producción varía de 1 a 3m/min. y depende de la temperatura de curado y de la cantidad de catalizador de la resina en la última estación. Posteriormente se cortan las láminas. Este proceso se realiza en equipo automatizado.

d) Procesos de moldeo

- **Moldeo por inyección:** Este proceso consiste en llenar la cavidad del molde, rígido y cerrado, inyectando el compuesto de resina y refuerzo por medio de un tornillo o embolo, de manera similar al proceso de moldeo por inyección de termoplásticos. El curado de la resina ocurre dentro del molde, después del curado se retira la pieza.
- **Moldeo por centrifugación:** Consiste en un molde cerrado donde se pone resina con carga y catalizador, posteriormente el molde gira a velocidad media por no más de 3min. En este tiempo la resina hace reacción, se abre el molde y se saca la pieza.
- **Estampado en frío:** Es la obtención de piezas de plástico reforzado y compuesto mediante la aplicación de fuerza a una lámina previamente calentada de dicho material, la operación emplea una prensa con sus respectivos moldes. Figura 60.

Figura 60. Estampado en frío.



Fuente: Autores del proyecto

3. DISEÑO DEL MULTIMEDIA

3.1 ENTORNO DE DISEÑO

3.1.1 Objetivo poblacional. Estudiantes de pregrado de Ingeniería Mecánica y afines, especialmente aquellos que cursan materias relacionadas con el diseño de partes.

3.1.2 Contenido. El multimedia se estructuro en tres módulos: proceso para materiales metálicos, procesos para materiales plásticos, y procesos para materiales compuestos con matriz polimérica.

3.1.3 Requisitos de usuario. El usuario del multimedia debe estar familiarizado con el uso del computador como medio de consulta y estudio.

3.1.4 Requisitos computacionales. Las características mínimas para el correcto funcionamiento de la herramienta multimedia son.

- Hardware: Procesador de 500Mz, Memoria RAM de 64Mb, espacio en el disco duro para copia de 700Mb, unidad lectora de CD ROM de 16X, tarjeta de video.
- Software: Sistema operativo WINDOWS XP, INTERNET EXPLORER 5.5, PLUGIN FLASH PLAYER PARA INERNET EXPLORER.

3.2 DISEÑO COMUNICACIONAL

Este comprende el diseño de la interfase grafica de usuario, la cual permite la interacción entre el usuario y la herramienta multimedia. Figura 61

Figura 61. Interfaz grafica de navegación.



Fuente: Autores del proyecto

3.2.1 Dispositivos de entrada y salida. Puesto que la herramienta multimedia se diseño para ejecutarse sobre plataforma WINDOWS los dispositivos de entrada y salida seleccionados para una completa interacción con ella son:

- Dispositivos de entrada.

- Mouse: Este dispositivo permite al usuario acceder a las diferentes secciones del contenido de la herramienta multimedia.
- Dispositivos de salida.
 - Monitor: Permite observar los elementos visuales que tiene la herramienta multimedia.
 - Parlantes: Permiten escuchar el material multimedia incluido en la herramienta multimedia.
 - Impresora: Permite imprimir información contenida en el multimedia.

3.3 DISEÑO DE LAS ZONAS DE COMUNICACIÓN

Son las zonas de pantalla que permiten al usuario la interacción con la herramienta multimedia.

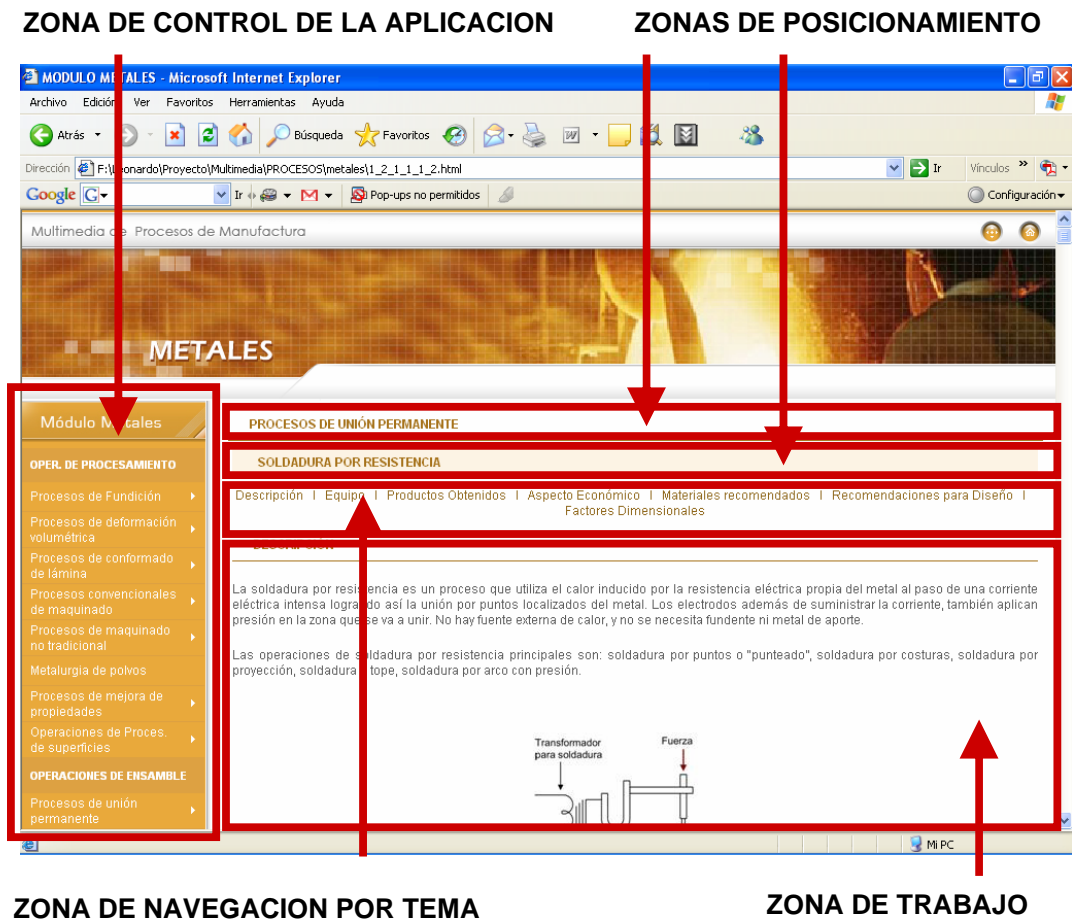
3.3.1 Zona de control de programa. Son zonas de pantalla que permiten al usuario controlar el acceso al contenido de la herramienta multimedia.

3.3.2 Zona de navegación por tema. Esta zona permite al usuario el acceso directo a los temas tratados para cada proceso de manufactura contenido en la herramienta multimedia.

3.3.3 Zona de trabajo. Zona donde se muestra la información por medio de texto, gráficas, tablas e imágenes.

3.3.4 Zona de posicionamiento. Permite al usuario saber en que parte del contenido se encuentra, mostrando el tema que está navegando.

Figura 62. Zonas de comunicación.



Fuente: Autores del proyecto

3.4 DISEÑO COMPUTACIONAL

La facilidad de uso y un ambiente ameno para el usuario, son los lineamientos que se emplearon en el diseño de la herramienta multimedia. Para lograr rapidez y efectividad al acceder a los contenidos de la aplicación, se creo un entorno gráfico que hace de su uso una experiencia agradable.

Se emplearon varias herramientas incluidas en la suite de MACROMEDIA FLASH MX 2004, para la creación de los menús y demás elementos de manejo de la herramienta multimedia.

Todo el contenido fue integrado en DREAMWEAVER para obtener una aplicación HTML

3.5 ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA

3.5.1 Hardware. Para el desarrollo de la herramienta multimedia se utilizó un equipo con las siguientes características:

- o Procesador Pentium Intel 4 de 3Ghz.
- o Disco duro de 120Gb.
- o Memoria RAM de 512Mb.
- o Unidad CD RW de 52X.
- o Tarjeta de video de 128Mb.
- o Mouse y teclado.
- o Monitor de 17in, pantalla plana.
- o Scanner.

3.5.2 Software. Las herramientas de software empleadas en el desarrollo del entorno grafico, y de la multimedia propiamente dicha son:

- o Sistema operativo Windows XP Profesional SP2
- o Macromedia Flash MX 2004
- o Microsoft Office 2003
- o Corel Draw 12
- o Dreamweaver MX 2004
- o Adobe Professional 7.0

4. ESTRUCTURA DEL CONTENIDO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA

La herramienta multimedia ofrece información sobre aspectos de los procesos de manufactura, como: descripción del proceso, equipo utilizado en su aplicación o ejecución, diferentes productos obtenidos, el aspecto económico, materiales mas usados, recomendaciones para diseño, y factores dimensionales.

La información contenida en la herramienta multimedia esta presentada de tal manera que no es necesario seguir un orden específico para su consulta, permitiendo así una rápida ubicación de los temas buscados por el usuario.

La pantalla principal muestra las siguientes opciones:

- a) Procesos para Metales
- b) Procesos para Plásticos
- c) Procesos para materiales Compuestos
- d) Directorio de Empresas
- e) Selección de Procesos
- f) Mapa del sitio
- g) Referencia bibliográfica

Mediante los primeros tres enlaces (**a, b y c**), el usuario podrá acceder a la información correspondiente a determinado proceso de manufactura, estableciendo primero el tipo de material a utilizar en la fabricación del producto. Para el caso, el usuario podrá elegir entre: materiales metálicos,

plásticos y compuestos. Al seleccionar cualquiera de los materiales mostrados, aparecerá en cada caso una clasificación general de los procesos de manufactura involucrados en la fabricación de productos con el respectivo material. El usuario podrá acceder a la información colocando el cursor sobre el recuadro correspondiente al tipo de proceso de consulta y pulsando en la casilla correspondiente así:

- Para los procesos generales, es decir aquellos que implican una clasificación posterior, el usuario podrá conocer las características generales del proceso al pulsar el enlace correspondiente; o seguir la búsqueda de un proceso más específico. La clasificación de un proceso general se conocerá con sólo señalar es decir, ubicar el cursor sobre el proceso correspondiente de esta manera, se despliega inmediatamente la clasificación correspondiente.

- Para los procesos específicos (aquellos que no tienen una clasificación posterior), la información mostrada es mucho más detallada ya que incluye:
 - **Descripción del proceso:** se presentan en forma resumida pero completa, los principios básicos del proceso, su funcionamiento y capacidad, así como sus ventajas y limitaciones. Estos conceptos le permitirán al usuario, determinar si el proceso es aplicable o no a la producción de una determinada pieza.

En lo posible, para mayor claridad, se incluye una representación gráfica de la operación. El documento final incluye también algunos videos y animaciones, que muestran la realización de varios de los procesos incluidos.

- **Equipo utilizado:** se explican a groso modo, las características y particularidades del equipo utilizado para el desarrollo del proceso. En muchos casos se presentan gráficas y esquemas de estos equipos para mayor entendimiento del tema.
- **Características y aplicaciones usuales:** se describen las piezas comunes producidas con este proceso, señalando sus características y propiedades. El documento incluye en lo posible, la ilustración de piezas y aplicaciones usuales, con el fin de que el usuario pueda conocer los alcances del proceso en cuestión.
- **Aspecto económico:** por medio de la información presentada en esta parte, el usuario puede saber cuáles son los volúmenes de producción adecuados con los cuales se obtiene una mayor economía y costo en la aplicación del respectivo proceso.

Esta información es bastante útil ya que muestra al usuario si el proceso es adecuado no sólo para la configuración de la pieza sino también para el volumen esperado de manufactura y el costo de la operación.

- **Materiales recomendados:** se dan a conocer los materiales adecuados en la práctica del proceso, es decir, aquellos que producen resultados funcionales satisfactorios y máxima facilidad de procesamiento. En algunas oportunidades se incluyen tablas de los materiales adecuados o de empleo común, en donde se podrán conocer otras propiedades y comentarios acerca de las aplicaciones comunes de cada uno.

- **Recomendaciones para diseño:** se incluyen desde los principales factores que los diseñadores deben tener en cuenta para perfeccionar la facilidad de manufactura de sus diseños, hasta numerosas sugerencias específicas para ayudar a crear los diseños de más fácil producción con cada proceso. Muchas de estas recomendaciones aparecerán ilustradas.
- **Factores dimensionales y tolerancias recomendadas:** la información contenida en esta parte, muestra al usuario los mejores datos dimensionales posibles para las aplicaciones normales. Para algunos procesos, el documento final incluye también una breve descripción de los factores dimensionales que influyen en las dimensiones finales.

Por medio del siguiente vínculo "**Directorio de empresas**" el usuario podrá conocer un listado de empresas nacionales que realizan algunos de los procesos más sofisticados o que presentan condiciones de operación poco comunes.

El enlace "**selección de procesos**" le permite al usuario conocer algunos de los aspectos principales para la selección óptima de un determinado proceso de manufactura de acuerdo a las condiciones y parámetros en que se realiza.

Por medio del enlace "**Mapa de sitio**" el usuario podrá acceder a un listado de todos los procesos referidos en la herramienta multimedia, permitiendo un método de búsqueda rápida de información con solo pulsar en el nombre del proceso que se quiere consultar.

La clasificación general de los procesos de manufactura incluidos en la herramienta multimedia es la siguiente:

- Materiales metálicos
 - Operaciones de procesamiento
 - Procesos de fundición
 - Procesos de deformación volumétrica
 - Procesos de conformado de lámina
 - Procesos convencionales de maquinado
 - Procesos de maquinado no convencional
 - Metalurgia de polvos
 - Procesos de mejora de propiedades
 - Operaciones de procesamiento de superficies
 - Operaciones de ensamble
 - Procesos de unión permanente
 - Ensamble mecánico
- Materiales Plásticos
 - Extrusión
 - Moldeo
 - Termoformado
 - Fundición
 - Soldadura
- Materiales compuestos
 - Moldeo
 - Proceso de rocío
 - Vaciado
 - Bobinado de filamento
 - Laminación

- Estampado con prensa

Finalmente, aparece un vínculo “Referencia bibliográfica” en donde se dan a conocer las principales fuentes de donde se sustrajo el contenido de la herramienta multimedia.

5. EJEMPLO DE USO DE LA HERRAMIENTA MULTIMEDIA

Si se quiere consultar información sobre un proceso de manufactura específico se debe seguir el siguiente procedimiento.

Como el CD es auto ejecutable, aparecerá una breve presentación y la pantalla siguiente. Figura 63

Figura 63. Pantallazo inicial de la herramienta multimedia.



Fuente: Autores del proyecto

Después hay que hacer click sobre el botón de Procesos para Materiales Metálicos, inmediatamente aparece un listado de procesos de manufactura, junto con el área de trabajo así (figura 64)

Figura 64. Listado de procesos y área de trabajo de la herramienta multimedia.

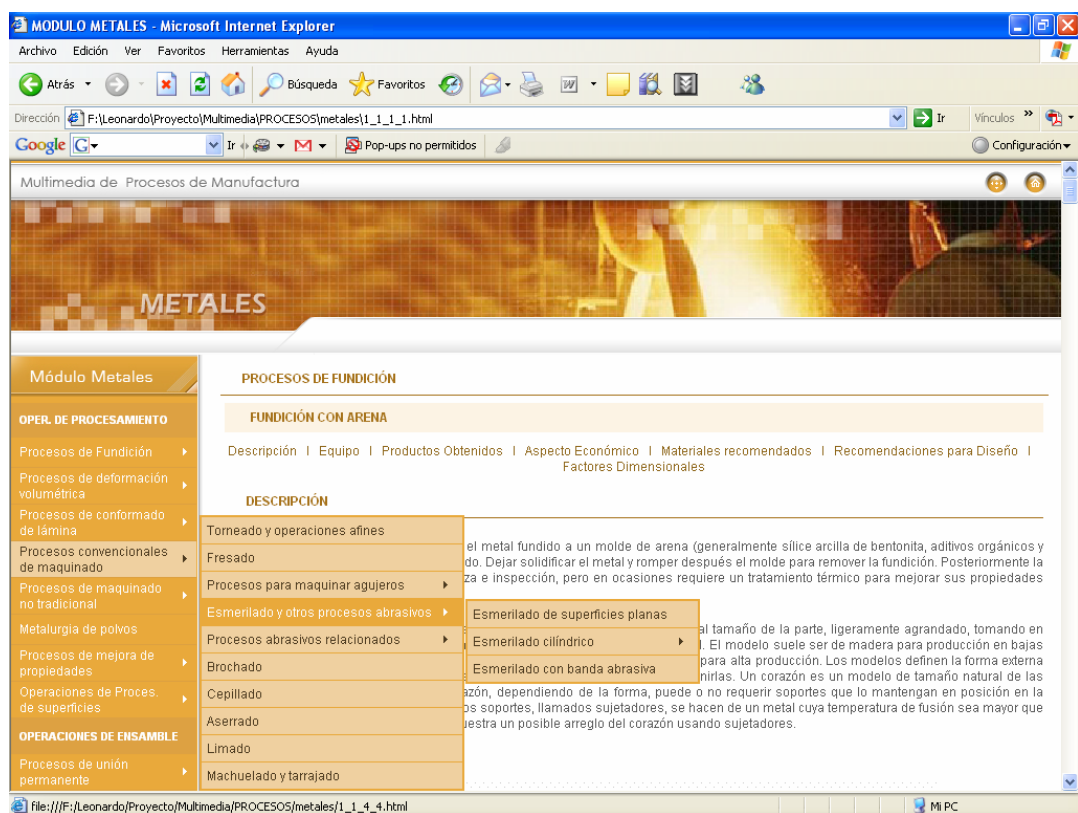


Fuente: Autores del proyecto

Al desplazar el puntero sobre el listado de procesos aparece un menú desplegable, el cual debe recorrerse hasta encontrar el proceso buscado (figura 65).

Una vez se clickea sobre el nombre del proceso, se tiene acceso a la información contenida en la herramienta multimedia, si se desea consultar otro proceso, se puede volver a inicio y repetir el proceso, o desplazar el puntero nuevamente por el listado de procesos.

Figura 65. Menú desplegable sobre el listado de procesos de manufactura.



Fuente: Autores del proyecto

CONCLUSIONES

Existen diversas formas de clasificar los procesos de manufactura, la clasificación utilizada para la elaboración del proyecto que se presenta puede diferir con la encontrada en otras fuentes. Por otro lado, es habitual utilizar varios nombres para un mismo proceso; e inclusive y aunque no es común, se presentan casos en que dos procesos de manufactura diferentes son conocidos con un mismo término, es decir que en últimas, fuentes diferentes terminan utilizando el mismo nombre para identificar procesos diferentes.

Al analizar varios procesos, se puede observar que cada uno tiene sus capacidades y limitaciones particulares. Un proceso de manufactura puede ser utilizado para obtener determinado producto. Sin embargo, una selección adecuada del proceso debe tener en cuenta además de los atributos del producto, el volumen de producción, el tipo de equipo utilizado y en general, todos los aspectos de orden técnico y económico que implica el diseño para manufacturabilidad.

Un avance en lo concerniente al diseño y fabricación de un determinado producto, implica lo que es la ingeniería concurrente, la cual pretende que los desarrolladores, desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto. De este modo, no es extraño que como resultado de un análisis económico, una pieza se vuelva a diseñar por completo, o que varias piezas que forman un ensamble se conviertan en una sola unidad.

La implementación de sistemas modernos de manufactura, implica la adopción de nuevas herramientas que permitan obtener conocimientos

tempranos del producto y sus procesos de manufactura en 3D, incorporación y prueba de los procesos de fabricación antes de implementarlos en el campo, evaluación de alternativas del producto y procesos de manufactura. Los sistemas de CAD-CAE-CAM pueden ser una buena alternativa.

En nuestro país se habla ya en bastantes ocasiones de que se trabaja utilizando la ingeniería concurrente. La verdad es que es muy escasa la utilización de equipos de diseño multifuncional amplios; así como de las distintas tecnologías y metodologías de estudio y análisis. Quizás solo pueda destacarse una amplia utilización del CAD pero en aplicaciones de ingeniería clásica.

Aún cuando el propósito central de este proyecto no se alcanzara; es decir, que no se pudiera crear en nuestra Escuela ese programa de formación profesional especializada, para el cual se ha elaborado como material de aprendizaje la herramienta presentada. Es claro, que ésta resulta ser una fuente de consulta y aprendizaje de gran utilidad para el estudiante y egresado interesado en profundizar sus conocimientos en el tema.

RECOMENDACIONES

El proyecto presentado se basa en un tema general de bastante trascendencia y aplicación a lo largo de los años como son los procesos de manufactura; analizados desde una concepción más moderna y que implica algunos parámetros de estudio que generalmente las fuentes tradicionales no incluyen. Sin embargo, esta visión por parte de los sistemas modernos de manufactura apenas se está desarrollando y es apenas lógico que sigan surgiendo cambios en el tema de análisis. Sería recomendable seguir consultando cada tema específico según las exigencias y novedades del medio para poder tener en cualquier momento una herramienta de consulta actualizada.

BIBLIOGRAFÍA

ALCAIDE, Jorge; Diego Más, José y Artacho Ramírez, Miguel. Diseño de Producto. Métodos y Técnicas. Alfaomega. 2005.

ASKELAND, Donald R. Ciencia e ingeniería de los materiales. International Thomson Editores. 1999.

BRALLA, James G. Manual de Diseño de Producto para Manufactura, Guía Práctica para Producción a bajo costo. McGraw Hill. 1993.

Cultural de Ediciones S.A. Mecánica de taller. Cultural S. A. 1994.

DEGARMO, Paul. Materiales y procesos de fabricación. Reverté S. A.

DOYLE, Lawrence E; Keysler, Carl A; Leach, James L. Materiales y procesos de Manufactura para ingenieros. Prentice Hall.

GROOVER, Mikell P. Fundamentos de Manufactura Moderna. Prentice hall. 1997.

JEFFUS, Larry. Welding: Principles and Applications. Delmar Publishers. 1999.

KALPAKJIAN SEROPE; Schmid Steen R.. Manufacturing Processes for Engineering Materials. Pearson Educacion de Mexico S.A. de C.V. 2003

KIBBE, Richard R; Nelly, John E; Meyer, Roland O y White, Warren T. Manual de las Máquinas Herramientas. Limusa. 1997.

KRAR, Steve F.; Check, Albert F. Tecnología de las Máquinas Herramienta. Alfaomega. 2003.

MOLERA, Pere Solá. Eletromecanizado, electroerosión y mecanizado electroquímico. Marcombo. S. A. Editores

Documento PDF. Disponible en Internet. De la Universidad Mayor de San Simón-Facultad de Ciencias y tecnología. Ing. Mecánica.

Documento PDF. Disponible en Internet. Bedford Reinforced Plastics Inc. "Design Guide".

Documento PDF. Disponible en Internet. Thermadyne. "Air Carbon-Arc Guide".

Artículo disponible en Internet. De la Hemeroteca de Metal Univers, correspondiente a la fecha del 26 de octubre del 2004. "Máquinas multifunción, más precisas y flexibles"

Artículo disponible en Internet. De la Universidad de Nebraska-Lincoln. "prototipado rápido"

Artículo disponible en Internet. De la Hemeroteca de Metal Univers. "Corte de chapa por láser" Publicado el 5 de marzo del 2202.

Documento PDF. Disponible en Internet. De la Universidad Tecnológica de México. "Maquinado Hidrodinámico"

The new edge. International magazine for the Seco Thools Group. Disponible en Internet.

Página Internet empresas: ABREMAQ, ACCELERON INC., BOHLER, BRANSON ULTRASONICS, BYSTRONIC, CARBORUNDUM CO., COGSDILL PRODUCTS INC., COOPER., DISA, ESAB, (Precision Metal Forming) INDUSTRIES, Inc., MATTISON MACHINA WORKS, OERLIKON, SECO, SINTOBRATOR, LTD., STORE VECO., TECNOCROM, TWI (The Welding Institute), ROSLER., TRUMPF INC.

Direcciones de internet:

www.bedfordplastics.com/pdf/BRP_Design-Guide-s.pdf

www.esab.com

www.twi.co.uk

www.oerlikon.es

www.gluemachinery.com/pdf/eliminate-stringing.pdf

www.thermadyne.com/uplFiles/prodSpotlight/89_250_008.pdf

<http://www.nd.edu/~manufact/powerpoint/mpemch05.ppt>

<http://www.bransonultrasonics.com/>

www.ateliermecanique.ch

http://www.premio.terniumsiderar.com/files/JC_2006_Procesos.pdf#search=%22piezas%20estampadas%20%22

http://fabetsia.dmpa.upm.es/solo_alumnos/sp1/Apuntes_sp1/Mecanizado%20r03%20passw.pdf#search=%22mecanizado%20titanio%20filetype%3Apdf%22

[http://educ2.educ.udec.cl/ETP_AHurtado_MecInd.nsf/da230b32c4fc40f784256fda007ec78c/743eee7ca52393428425705f004dee7f/\\$FILE/andres%20s%20%20%20s%20d%20f%20g%20h%20jh%20h%20%20j.ppt#278,23,](http://educ2.educ.udec.cl/ETP_AHurtado_MecInd.nsf/da230b32c4fc40f784256fda007ec78c/743eee7ca52393428425705f004dee7f/$FILE/andres%20s%20%20%20s%20d%20f%20g%20h%20jh%20h%20%20j.ppt#278,23)

<http://lim.ii.udc.es/docencia/iin-tecmec/docs/TemaV.pdf#search=%22taladro%20de%20husillos%20m%C3%BAltiples%22>

<http://www.nd.edu/~manufact/powerpoint/mpemch08.ppt>

http://www.flowgmbh.com/pdf/flyer/DWJ_SP_1004.pdf#search=%22corte%20con%20chorro%20de%20agua%20filetype%3Apdf%22

http://www.dimeg.unipd.it/didattica/tecme4/8_Non_conventional.pdf?PHPESSID=38155213209be79aa4be87653d1e0fdd#search=%22abrasive%20jet%20machining%20AJM%22

ANEXOS

ANEXO A.

Disco compacto con la herramienta multimedia

ANEXO B.

Listado de los procesos de manufactura incluidos en la herramienta multimedia.

1. Metales.

1.1. Operaciones de procesamiento.

1.1.1. Procesos de fundición.

- Fundición con arena.
- Fundición en molde permanente.
- Fundición por centrifugación.
- Fundición en molde de yeso.
- Fundición en molde de cerámica.
- Fundición a presión.

1.1.2. Procesos de deformación volumétrica.

- Estirado.
- Forjado.
 - Forjado en matriz abierta.
 - Forjado en matriz de impresión y matriz cerrada.
- Otras operaciones de forja y relacionadas.
 - Recalcado en frío.
 - Estampado por rotación.
- Laminado.
- Extrusión.

- Extrusión en caliente.
- Extrusión en frío.
- Doblado de tubos y perfiles.

1.1.3. Procesos de conformado de lámina.

- Troquelado.
 - Troquelado convencional.
 - Punzonado.
 - Doblado.
 - Embutido.
 - Estampado.
 - Acuñaado.
 - Repujado.
 - Troquelado convencional “métodos para bajos volúmenes de producción”.
 - Troquelado fino.
 - Operaciones con láminas metálicas no realizadas en prensas.
 - Rechazado.
 - Formado por alta velocidad de energía.
 - Formado por explosión.
 - Formado electrohidráulico.
 - Formado electromagnético.

1.1.4. Procesos convencionales de maquinado.

- Torneado y operaciones afines.
- Fresado.
- Procesos para maquinar agujeros.
 - Taladrado.

- Rimado.
- Ensanchado.
- Esmerilado y otros procesos abrasivos.
 - Esmerilado de superficies planas.
 - Esmerilado cilíndrico.
 - Esmerilado interno.
 - Esmerilado externo.
 - Esmerilado con centros.
 - Esmerilado sin centros.
 - Esmerilado con banda abrasiva.
- Procesos abrasivos relacionados.
 - Pulido.
 - Lapeado.
 - Superacabado.
 - Bruñido.
- Brochado.
- Cepillado.
- Aserrado.
- Limado.
- Machuelado y tarrajado.

1.1.5. Procesos de maquinado no tradicional.

- Procesos de energía mecánica.
 - Maquinado ultrasónico.
 - Procesos con chorro de agua.
 - Procesos con chorro de abrasivo.
- Procesos de energía térmica.

- Maquinado por electrodescarga.
- Maquinado con haz de electrones.
- Maquinado con rayo láser.
- Maquinado químico.
 - Fresado químico.
 - Grabado químico.
 - Punzonado fotoquímico.
 - Rebabeado químico.
- Procesos electroquímicos de maquinado.
 - Maquinado electroquímico.
 - Rectificado electroquímico.

1.1.6. Metalurgia de polvos.

- Consolidación de polvos.
- Sinterización.

1.1.7. Procesos de mejora de propiedades.

- Tratamientos térmicos.
 - Tratamiento térmico del acero.
 - Procesos para ablandar.
 - Procesos para endurecimiento.
 - Tratamiento térmico del hierro fundido.
 - Tratamiento térmico de aceros inoxidable.
 - Tratamiento térmico de metales no ferrosos.

1.1.8. Operaciones de procesamiento de superficies.

- Limpieza y tratamiento de superficies.

- Limpieza química.
- Limpieza mecánica.
- Limpieza electroquímica.
- Recubrimiento y procesos de deposición.
 - Electrodeposición.
 - Electroformado.
 - Recalcado con perdigones.
 - Deposición sin electricidad.
 - Otros revestimientos metálicos.
 - Revestimientos metálicos por inmersión en caliente.
 - Revestimientos por aspersion en caliente.
 - Superficies metalizadas al vacío.
 - Recubrimientos orgánicos.

1.2. Operaciones de ensamble.

1.2.1. Procesos de unión permanente.

- Procesos de soldadura.
 - Soldadura por fusión.
 - Soldadura con arco eléctrico.
 - Soldadura por arco de metal o electrodo protegido.
 - Soldadura por arco sumergido.
 - Soldadura por arco con núcleo fundente.
 - Soldadura por arco con metal y gas inerte (MIG).
 - Soldadura por arco con tungsteno y gas inerte (TIG).
 - Soldadura por arco con plasma.
 - Soldadura con haz de electrones.
 - Soldadura con rayo láser.

- Soldadura por resistencia.
 - Soldadura con oxígeno y gas combustible.
- Soldadura de estado sólido.
 - Soldadura por difusión.
 - Soldadura por fricción.
 - Soldadura ultrasónica.
- Otros procesos de soldadura y corte.
 - Soldadura fuerte y blanda.
 - Procesos de corte con arco eléctrico.
 - Procesos de corte con oxígeno y gas combustible.
 - Procesos de corte con plasma.
- Pegado con adhesivos.

1.2.2. Ensamble mecánico.

- Sujetadores roscados.
- Remaches.
- Engrapado.
- Juntas y sellos.
- Ajustes por presión.
- Ensamblaje automático.

2. Plásticos.

2.1. Extrusión de plásticos.

2.2. Moldeo de plásticos.

2.2.1. Moldeo por soplado.

- 2.2.2. Moldeo rotacional.
- 2.2.3. Moldeo de termofijos.
- 2.2.4. Moldeo por inyección en termoplásticos.
- 2.2.5. Moldeo por transferencia.
- 2.2.6. Moldeo con espuma estructural.

2.3. Termoformado.

2.4. Fundición de plásticos.

2.5. Procesos de soldadura de plásticos.

- 2.5.1. Soldadura ultrasónica.
- 2.5.2. Soldadura por vibración.
- 2.5.3. Soldadura por rotación.
- 2.5.4. Soldadura con placa caliente.
- 2.5.5. Soldadura por inducción.
- 2.5.6. Soldadura con gas caliente.

3. Materiales compuestos con matriz polimérica (PMC).

3.1. Moldeo manual de piezas de PMC.

3.2. Proceso de rocío (Pulverización).

3.3. Moldeo con bolsa de vacío.

3.4. Moldeo con prensa fría.

3.5. Vaciado.

3.6. Moldeo por compresión.

3.7. Moldeo con bolsa a presión.

3.8. Vaciado por centrifugación.

3.9. Bobinado de filamento.

3.10. Pultrusión continua.

3.11. Laminación continua.

3.12. Moldeo por inyección.

3.13. Moldeo por centrifugación.

3.14. Estampado en frío.